



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement  
International Institute for Water and Environmental Engineering

**CARACTERISATION D'HUILES VEGETALES BRUTES ISSUES  
D'OLEAGINEUX DE L'AFRIQUE DE L'OUEST COMME  
CARBURANT**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION D'UN MASTER SPECIALISE EN  
ENERGETIQUE, GENIE ELECTRIQUE ET ENERGIES  
RENOUVELABLES OPTION : ENERGIES RENOUVELABLES ET  
ENERGIES DANS L'INDUSTRIE**

Présenté et soutenu publiquement le 16/09/2010 par:

Mouhamadou Lamine Cisse

**Travaux dirigés par : Dr. Joël BLIN**

**Ing. Madi Kabore**

UTER GENIE ELECTRIQUE ET INDUSTRIEL GEI

LABORATOIRE BIOMASSE-ENERGIE ET BIOCARBURANTS (LBEB)

***Jury d'évaluation :***

Président : Dr. Joël BLIN

Membre 1 : Dr. Christel BRUNSCHWIG

Membre 2: Ing. Sayon SIDIBE

Membre 3: Ing. Madi KABORE

Promotion 2009/2010





## CITATIONS

« EXPERIENCE EST LE NOM DONT LES HOMMES BAPTISENT SOUVENT LEURS ERREURS » [**HENRY FORD**]

« LES GRANDS HOMMES, NE NAISSENT PAS DANS LA GRANDEUR MAIS ILS GRANDISSENT » [**Mario Puzo**]

## DEDICACES

*A Allah le Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

*A mon Prophète Mohamed (PSL)*

*A mon Père Ibrahima Cissé*

*A ma Mère Bousso Diop*

*A mes Sœurs Yacine, Fatima, séné, Rokhaya*

*A mon Frère Abdallah*

*Vous êtes ce que j'ai de plus cher dans ce bas-monde*

*Vous êtes ma famille, ma vie, ma seule raison d'être*

*Que Dieu vous accorde longue vie avec beaucoup de bienfaits*

*A ma grand-mère maternelle feu Rokhaya Kane*

*A mon grand-père maternel feu Mor bineta Diop*

*A mon grand-père paternel feu Abdoulaye Cissé*

*A mes grand-mères Mame Marianne et Mame Yacine*

*A mes tantes*

*Aux familles Cissé, Diop, Ndoye*

*A mes compatriotes, collègues de promotion*

*A tous ce qui m'ont soutenu*

*Je vous remercie pour vos prières, sans le quel je ne serais pas arrivé à bout de ce travail.*

*Je puise en vous tout mon énergie*

*Vous croyez en ma réussite, j'en suis conscient*

*Que Dieu m'accorde longue vie et meilleure santé*

## **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions tous ceux qui ont contribué à ce mémoire particulièrement :*

- ⇒ Mes encadreurs Monsieur Joël Blin et Monsieur Madi Kabore qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite du mémoire.*
- ⇒ Monsieur Alpha Aliou Baba Diallo responsable du laboratoire de la SONABHY qui a beaucoup contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

*Monsieur Yézouma Coulibaly chef d'UTER Génie Energétique et Industriel GEI pour ses cours particulièrement intéressants et ses qualités humaines exceptionnelles .Mon père Monsieur Ibrahima Cissé et ma mère Madame Bousso Diop, qui m'ont toujours apporté aide, soutien et conseils ; je leur dois tout. Ma tante Anta qui m'a aussi beaucoup aidé lors de mon séjour. Mr Sébastien Djenontin pour sa contribution dans ce travail. Mes collègues de promotion MGE 2010 pour les bons moments passés ensemble. Les familles Diop, Ndoye, Cissé, mes parents, frères et sœurs, oncles, tantes, amis pour leur soutien. L'ensemble du personnel du laboratoire de la SONABHY. Enfin nous remercions toute l'équipe de recherche du LBEB Constituée de : Mr Blin Joël (Enseignant-chercheur, 2iE-Cirad, responsable du laboratoire), Mme Sido-Pabyam Mariam (Enseignant-chercheur) Mr Azoumah Yao (Enseignant-chercheur), Mme Christel (chercheur), Mr Collard F.X. (Doctorant), Mr Sidibé Sayon (Doctorant), Mr Wilfried (Doctorant), Mr Mbaye guéye (Doctorant) qui est un grand-frère.*

*A tous, je réitère ma gratitude et ma reconnaissance*

## **RESUME**

L'étude réalisée dans ce mémoire a permis de caractériser les huiles végétales brutes afin d'estimer leur qualité comme carburant. Pour effectuer cette caractérisation nous avons adapté des protocoles d'analyses utilisant des normes françaises et allemandes au contrôle qualité carburant. Et pour valider cette caractérisation nous avons procédé à la comparaison des résultats obtenues aux seuils donnés par la prénorme allemande, seul existant pour l'heure. A l'issue de cette comparaison nous pouvons dire que nos huiles brutes ( jatropha , tournesol ) présentent de bons profils comme carburant car la plupart des tests réalisés donnent des résultats conformes aux valeurs donnés par la prénorme .Néanmoins le seul problème de ces huiles réside au niveau de l'acidité souvent ( $> 2$  % max toléré ) avec des valeurs comprises entre (6,234 - 3,236 ) % pour la jatropha et 4,086 % pour le tournesol mais au niveau de la teneur en eau ( $> 0,075$ % max toléré) qui est dans l'intervalle (0,131 -0,081) % pour la jatropha et 0,112% pour le tournesol , le même phénomène est observé pour le taux de sédiments ( $> 0,0024$  % max toléré ). L'acidité et la teneur en eau pouvant facilement être réduite par l'amélioration des conditions de stockage (acidité, teneur en eau dépendante de l'huile mais aussi de la graine).Notons une diminution de la teneur en eau après filtration des huiles brutes avec des valeurs passant de (0,131 à 0,056 ) % pour l'un des échantillons de jatropha et (0,081 à 0,067) % pour l'autre . Ces valeurs demeurent élevées par rapport à la norme contrairement à l'huile de coton qui a une bonne acidité 0,07 % . Pour les sédiments, on obtient des valeurs élevées pour les huiles brutes. En définitif ce travail a permis non seulement de caractériser les huiles végétales brutes, d'estimer la qualité des huiles brutes comme carburant mais aussi par la suite d'identifier les paramètres à améliorer pour augmenter cette qualité .Ce qui jette les premiers bases d'un projet de norme en Afrique. Ceci participera à réduire considérablement la crise énergétique en favorisant l'utilisation des huiles dans le moteur.

Mots clés : Caractérisation, Qualité, Carburant, huile végétale brute, Norme

## **ABSTRACT**

The study conducted in this paper allowed us to characterize the crude vegetable oils in order to assess their quality as fuel. We have adapted the protocols using German and French norms for characterize this oils .To validate this characterization we have to compare the results obtained for the thresholds given by the German pre-standard, existing only for the time. Following this comparison we can say that our crude oils (Jatropha, sunflower) have good profiles as fuel because most tests give results consistent with the values given by the pre-standard. But the only problem with these oils is level of acidity often ( $> 2\%$  maximum allowed) with values ranging from (6.234 to 3.236) % for jatropha and 4.086% for sunflower, but the level of water content ( $> 0.075\%$  max allowed) that is in the interval (0.131 -0.081) % to 0.112% for jatropha and sunflower, the same phenomenon is observed for the rate of sediment ( $> 0.0024\%$  max allowed). They can easily be reduced by improved storage conditions (acidity, moisture dependent but also oil from the seed). Noted a decrease in these parameters after filtration of crude oils with values of acidity increases from (4.565 to 2.605) % for first jatropha (3.236 to 2.902) % and for second jatropha. Also the values of water content from (0.131 to 0.056) % for first jatropha (0.081 to 0.067) % for second jatropha. These values remain high compared to the standard unlike cottonseed oil that has good acidity 0.07%. The sediment, we obtain high values for crude oils. In this definitive work has enabled us not only to characterize crude vegetable oils, to assess the quality of crude oils as fuel but also subsequently to identify the parameters to increase this to improve quality. This lays the groundwork first a draft standard in Africa. This will contribute significantly to reducing the energy crisis by promoting the use of oil in the engine.

Keywords: Characterization, Quality, Fuel, Vegetable Oil, Standard



## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**BIODIESEL:** Biocarburant Obtenu Par Estérification De L'huile Végétale

**CIRAD :** Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**HVP :** Huile Végétale Pure

**2iE:** Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

**J/kg :** Joule par kilogramme (unité du pouvoir calorifique)

**KOH :** Hydroxyde de Potassium

**LBEB :** Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants

**PPM :** Partie par million

**PCI :** Pouvoir Calorifique Inférieur

**PCS :** Pouvoir Calorifique Supérieur

**UTER GEI :** Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche Génie Energétique et Industriel

**SONABHY :** Société Nationale Burkinabé des Hydrocarbures

**SN-CITEC :** Société Nouvelle Huileries et Savonneries CITEC

**TEP :** Tonne Equivalent-Pétrole

**PE :** Prise d'Essai

## **TABLE DES MATIERES**

<b>CITATIONS</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICACES</b> .....	<b>iii</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>viii</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<i>Contexte et Problématique</i> .....	<b>2</b>
<i>Objectifs de ce travail</i> .....	<b>3</b>
<i>Méthodologie de travail</i> .....	<b>3</b>
<b>CHAPITRE I : Revue bibliographique</b> .....	<b>4</b>
<i>I-Généralités sur les biocarburants</i> .....	<b>5</b>
<i>I-1- Enjeux énergétiques dans le monde</i> .....	<b>5</b>
<i>I-2-Etat des lieux en Afrique</i> .....	<b>6</b>
<i>II-Généralités sur les huiles végétales pures carburant</i> .....	<b>7</b>
<i>II-1-Composition chimique des huiles végétales</i> .....	<b>7</b>
<i>I-2-La production de l'huile végétale</i> .....	<b>8</b>
<i>III-Utilisation de l'huile végétale</i> .....	<b>12</b>
<i>III-1-Production de biodiesel</i> .....	<b>12</b>
<i>III-2-Mélange huile-gazole</i> .....	<b>12</b>
<i>III-3- HVP comme carburant</i> .....	<b>13</b>
<i>III-4-Les contraintes de qualité sur les huiles</i> .....	<b>13</b>
<i>IV-Paramètres physico-chimiques d'analyse des huiles</i> .....	<b>13</b>
<i>IV-1-Paramètres physiques</i> .....	<b>14</b>
<i>IV-2-Paramètres chimiques</i> .....	<b>14</b>
<i>V-Critères de spécifications d'huiles végétales comme carburant</i> .....	<b>16</b>
<i>VI-Description des oléagineux sélectionnés pour l'étude</i> .....	<b>17</b>

<b>CHAPITRE II: Matériels et Méthodes</b> .....	19
<i>I-Matériel végétal</i> .....	20
<i>II-Méthodes d'analyses physico-chimiques pour le contrôle de qualité des huiles végétales carburants.</i> .....	21
<i>II-1- Méthode de détermination de la teneur en eau et matières volatiles</i> .....	21
<i>II-2-Méthode de détermination de l'acidité</i> .....	21
<i>II-3-Méthode de détermination de l'indice d'iode</i> .....	22
<i>II-4-Méthode de détermination du pouvoir calorifique inférieur</i> .....	22
<i>II-5-Méthode de détermination de l'indice de saponification</i> .....	22
<i>II-6-Méthode de détermination du taux de sédiments</i> .....	23
<i>II-7-Méthode de détermination de la viscosité</i> .....	24
<i>II-8-Méthode de détermination des points d'écoulement, éclair et de fusion</i> .....	24
<b>CHAPITRE III: Résultats Et Discussions</b> .....	26
<i>I-Résultats Caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants</i> .....	27
<i>II-Résultats Caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées et filtrées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants</i> .....	31
<i>III-Résultats Caractéristiques physicochimiques des huiles pures de Jatropha, tournesol et coton comparées aux spécifications d'huiles carburants</i> .....	32
<i>IV-Résultats Taux de sédiments des huiles décantées filtrées (jatropha, Tournesol) et des huiles Belweet, Coton comparées aux spécifications d'huiles carburants</i> .....	33
<b>Conclusions et Perspectives</b> .....	34
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	34
<b>ANNEXES</b> .....	34

## **LISTE DES FIGURES**

<i>Figure 1 : Décomposition des triglycérides .....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 : Illustration de la filière HVP .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3 : Vue interne d'une presse à Barreaux [16].....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 4 : Vue interne d'une presse à vis [16] .....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : huiles de jatropha filtrées .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 6 : Appareil d'extraction pour la détermination de la teneur en sédiment .....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 7: Viscosimètre plongé dans le bain Thermostaté, labo de la SONABHY .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 8 : un densimètre de la SONABHY.....</i>	<i>25</i>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<i>Tableau 1: Prénorme allemande DIN 51605 .....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 2 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants (1).....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 3 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants (suite) .....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 4 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées et filtrées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants. (1) .....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 5 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles pures de Jatropha, tournesol et coton comparées aux spécifications d'huiles carburants (1).....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 6 : Résultats des Taux de sédiments des huiles décantées filtrées (jatropha, Tournesol) et des huiles Belweet, Coton comparées aux spécifications d'huiles carburants. ....</i>	<i>33</i>

## **Introduction générale**

## Contexte et Problématique

Depuis les dix dernières décennies, l'humanité est devenue totalement dépendante des ressources fossiles non seulement pour les besoins énergétiques (transport, chauffage), mais aussi pour l'approvisionnement en matières premières pour les industries. Les réserves pétrolières mondiales qui constituent l'essentiel de la matière première des industries chimiques seront épuisées dans les cinq ou dix prochaines décennies [1]. Cela engendre des crises énergétiques dans presque tous les pays et notamment en Afrique.

L'une des solutions face à cette crise est la promotion des biocarburants de première génération dans plusieurs pays. Par exemple, la canne à sucre et la betterave (Brésil), le maïs (Etats-Unis), les racines et tubercules pour la production du bioéthanol comme substitut de l'essence, les huiles végétales pures comme substitut du gazole. Les graines oléagineuses de ricin, de colza, du tournesol (Europe), du soja (Brésil, Etats-Unis), du palmier à huile (Malaisie, Inde, Congo), de l'arachide et de *Jatropha curcas* etc. sont utilisées pour produire de l'huile végétale pure comme substitut du gazole [2].

Les pays africains tropicaux disposent d'un potentiel en graines oléagineuses comme celles de *Jatropha curcas*, de coton, de tournesol et de soja, dont ils peuvent disposer en permanence de milliers d'hectares. L'expérience du Mali, de la Guinée, de Madagascar et tout dernièrement du Sénégal et bien d'autres pays en matière d'utilisation d'huiles végétales pures comme carburant est édifiante [3]. Des raisons écologiques et agro-économiques ont ainsi suscité leur intérêt afin de réduire les factures de consommation électrique et pour produire d'énergie avec un faible impact environnemental au niveau décentralisé [4].

Les huiles végétales pures constituent une solution possible aux problèmes de la motorisation agricole dans les pays en voie de développement [5]. Malheureusement, il n'existe actuellement pas en Afrique de normes pour attester de la qualité d'huiles végétales destinées à la carburation. Les producteurs comme les utilisateurs ne possèdent pas de moyens d'attester de la qualité du carburant, ce qui est un facteur limitant pour l'utilisation des huiles végétales dans des moteurs thermiques sans risque. Il est alors essentiel pour la promotion des HVP comme carburant de développer, de mettre au point ou d'adapter des protocoles d'analyses et des normes qui garantissent la qualité des huiles d'où l'intérêt de ce mémoire de Master.

## **Objectifs de ce travail**

L'objectif principal de ce travail de mémoire est la caractérisation d'huiles végétales brutes comme carburant.

Comme objectifs spécifiques, il s'agira de :

- Déterminer les analyses à mener pour attester de la qualité carburant d'une HVP.
- Déterminer les spécifications (seuil) des huiles végétales pures comme carburant,
- Mettre en place et tester les normes de contrôle de qualité des huiles végétales pures comme carburant.

## **Méthodologie de travail**

D'un point de vue méthodologique, nous allons procéder dans un premier temps à une revue bibliographique sur les normes de caractérisation et les spécifications des HVP comme carburant ;

Ensuite à une mise au point au laboratoire de protocoles qui permettent d'estimer la qualité des huiles végétales pures comme carburant (acidité, indice d'iode, densité, viscosité, point éclair et point d'écoulement, teneurs en sédiments, cendre, gommes et eau...)

Enfin à une analyse d'échantillons d'huiles végétales de *Jatropha curcas*, coton, tournesol de différents niveaux de purification (décantées, filtrées, pures). Les résultats obtenus sont comparés aux tables de spécification afin d'estimer leurs qualités comme carburants.

Le présent travail, se propose ainsi de combler le vide de données analytiques sur les huiles végétales pures comme carburants. Il comporte une introduction générale, une revue bibliographique ; les matériels et méthodes utilisés; les résultats obtenus et leurs discussions ; enfin une conclusion et les recommandations et perspectives.



## **CHAPITRE I : Revue bibliographique**

## **I-Généralités sur les biocarburants**

### **I-1- Enjeux énergétiques dans le monde**

Les sources majeures d'énergie dans le monde sont le pétrole, le charbon et les gaz naturels qui sont tous des énergies fossiles. Le monde dépend fortement du pétrole : principale source d'énergie pour le milieu rural et urbain. Cependant la pénurie de pétrole traditionnel alimente un grand débat et constitue une réelle préoccupation des nations, à cela s'ajoute les émissions croissantes de polluants produits lors de la combustion de ces énergies dites fossiles à l'origine des changements climatiques suite à leurs actions nocifs à l'environnement et leurs coûts instables pouvant atteindre des valeurs élevées , ce qui ont rendu les sources d'énergies renouvelables plus attirants . Les réserves du pétrole mondiales sont en voie de disparition .Ainsi une étude récente de l'Union européenne (UE) prévoit un taux de dépendance de vingt cinq ans pour les approvisionnements énergétiques pourrait atteindre 70% vers 2030 et 90% en 2050 alors qu'elle ne serait que de 50% en 2010. On assiste de plus en plus à la désertification de nos campagnes. Les huiles végétales constituent une alternative face à tous ces questions problématiques. En effet beaucoup de pays émergents ou en voie de développement verront accroître leur autosuffisance alimentaire réduisant leurs exportations en provenance des pays industrialisés qui à l'inverse verront s'accroître très fortement leur dépendance pour les matières premières notamment dans le secteur énergétique .Les huiles végétales sont considérées comme les premières possibilités pour la motorisation future, car leur technologie de production a été déjà lancée ; elles sont bien connues et économiquement viables. Aussi, leur utilisation est à la fois sécuritaire et a un impact un environnemental positif (diminution de la pollution et de l'effet de serre) pour notre terre (sols et atmosphère) qui devient de plus en plus polluée. En plus, leur combustion ne dégage que la quantité de gaz carbonique que la plante a consommée pendant sa croissance alors que celle des carburants fossiles en dégage des quantités énormes jusqu'alors stockées sous une autre forme. La faisabilité des techniques utilisées a été prouvée par des tests à court terme pour certains mélanges de carburants et de sous-produits d'huiles végétales .En plus les huiles végétales pures ont un point d'inflammation élevé ce qui permet d'avoir des mesures sécuritaires dans le transport de ces huiles .Enfin il présente des applications diverses en milieu rural et permettra de booster le développement de ce milieu où le problème d'accessibilité du pétrole se pose fortement.

## I-2-Etat des lieux en Afrique

En Afrique il existe une réelle volonté de développement de cette filière par certains pays comme (le Sénégal, le Mali, le Burkina Faso, le Bénin etc. ..) .Ces derniers ont mis en place une politique de promotion des biocarburants. Il faut noter que le Mali est en avance par rapport aux autres pays africains avec la production et la commercialisation du biodiesel obtenue à partir de la jatropha. Pour ce pays seulement on a environ 10000 km de haies de jatropha d'où un potentiel de 1700000 litres d'huile par an. La longueur totale des haies de jatropha est estimée à environ 75000 km en Afrique tropicale soit 60000 tonnes de graines par an (Mali, Burkina, Tanzanie, Malawi, Zambie etc..) .Le prix des graines diffère selon les localités mais il faudra s'attendre qu'il monte dans les années futures. Ceci du fait de l'intérêt suscité par la filière biocarburant. Parmi les plantes, la jatropha est la plus utilisée. En Afrique de l'ouest dans son ensemble (pays membres de la CEDEAO), les superficies cultivées en oléagineux annuels représentaient, à la fin des années 90, environ 12 millions d'hectares. On note l'existence dans cette partie du continent d'une unité biomasse énergie placé sous la tutelle du CIRAD avec plusieurs axes de recherche notamment :

- la valorisation des biocarburants de première génération avec l'utilisation des huiles végétales dans les moteurs diesel statiques ce qui passe d'une part par une adaptation du moteur et d'autre part par une amélioration de la qualité de ces huiles utilisées comme carburant mais aussi avec la production du biodiesel obtenus par transestérification.
- La valorisation par procédés thermochimiques (pyrolyse-gazéification) de la biomasse.
- L'élaboration d'une stratégie d'émergence de la filière biomasse-énergie, ceci passe par l'analyse de la faisabilité technico-économique, sociale des projets et le développement d'outils qualitatifs et quantitatifs en vue d'estimer l'impact de ces projets.

De nombreux pays membres de l'UEMOA commencent à mettre en place leurs options en matière de bioénergies sur la base de leurs ressources locales. Si elles sont exploitées de manière durable, ces ressources peuvent réduire les importations de produits pétroliers et créer de nouveaux débouchés pour les producteurs locaux. Certains d'entre cherchent à définir des politiques de production de biocarburants. La plupart des investisseurs désirent se lancer dans des plantations de matières premières avec une approche qui n'est pas nécessairement la meilleure. Une économie régionale basée sur la bioénergie sera créée par des politiques publiques favorisant les biocarburants, ciblant les matières premières existantes et potentielles, les ressources forestières disponibles. Une telle économie soutiendra les objectifs de

développement des zones rurales en augmentant les quantités des unités d'énergie produite localement.

## II-Généralités sur les huiles végétales pures carburant

### II-1-Composition chimique des huiles végétales

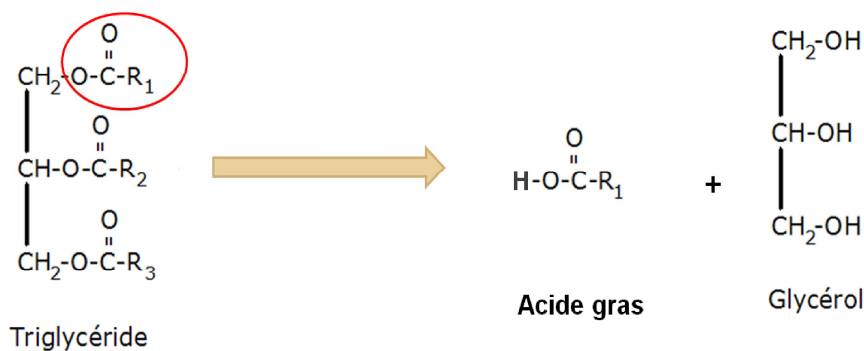
L'huile végétale est constituée essentiellement de lipides qui constituent les matières grasses

Parmi celles-ci on distingue:

- Les lipides simples;
- les lipides complexes.

#### II-1-1-Les lipides simples

Ils sont constitués essentiellement de triglycérides (addition d'acides gras et de glycérol) [6]. Les acides gras libres sont les produits de l'hydrolyse des triacylglycérols [7]. Ces composés dérivés peuvent être obtenus aussi par action d'enzymes (lipases) sur les phospholipides. Il faut noter aussi la présence de diglycérides et monoglycérides dans l'huile.



*Figure 1 : Décomposition des triglycérides*

#### II-I-2-Les lipides complexes

Ce sont des lipides qui en plus du carbone, de l'hydrogène, et de l'oxygène présentent en plus, soit du soufre, soit du phosphore, soit de l'oxygène. Celles présentant du phosphore sont appelées phospholipides. Ce sont de grosses molécules contrairement aux acides gras libres de petites tailles.

### **II-I-3-La partie insaponifiable**

Ce sont les composés présentes en solution après action du corps gras sur une base (KOH par exemple), plus précisément la partie hydrophobe des phospholipides appelées phosphatides. On peut citer les cires, les stérols. Ces derniers étant présents en faible quantité dans les huiles végétales pures

### **I-2-La production de l'huile végétale**

Concernant la filière huile végétale pure .Elle consiste essentiellement à la production de :

- L'huile végétale brute ou pure (filière traditionnelle)
- L'huile végétale pure raffinée (filière industrielle)

### **II-2-1-Filière traditionnelle, et artisanale**

#### **▪ Filière traditionnelle**

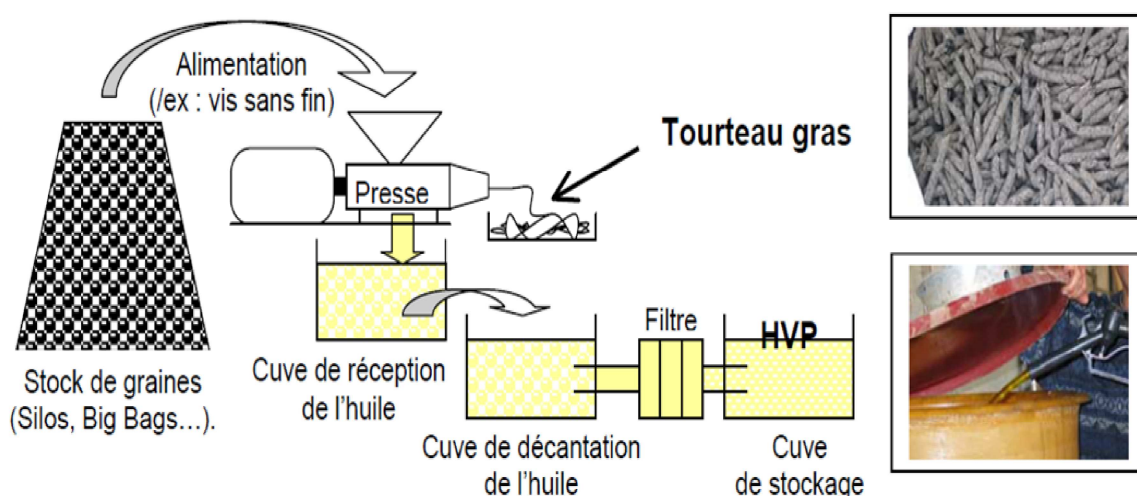
Les graines oléagineuses sont triées puis décortiquées. Le décorticage est l'opération permettant de séparer l'amande de la coque. Cette opération a pour objectif de diminuer la friction, d'améliorer la qualité de l'huile [8]. Puis elles sont réduites à pâte avant d'être chauffée à une certaine température. La cuisson est une étape de préparation des graines très importante sur la qualité des huiles. Elle est menée dans des cuiseurs verticaux ou horizontaux continus, à température inférieure à 100°C et sans perte d'humidité (88°C et 8 à 9% d'eau dans le cas des graines de tournesol) [9]. Ensuite l'huile qui surnage au dessus est recueillie .Ce procédé d'obtention des huiles à un faible rendement, il demande beaucoup d'effort humain .L'huile est ensuite décantée et filtrée afin d'éliminer ces impuretés.

**-La décantation** : Il consiste à laisser l'huile dans un bocal pendant un certain temps ce qui entraîne les dépôts des matières solides lourdes au fond du bocal. C'est un procédé très simple mais son inconvénient est qu'il ya des pertes d'huile dans le sédiment ce qui diminue le rendement d'huile à la fin du processus.

**-La filtration** : Dans ce cas l'huile est filtrée à l'aide d'un papier filtre d'une certaine porosité qui retient certains composants et diminue la teneur en sédiments et certains déchets. Ceci est très important avant toute utilisation de cette huile dans le moteur. Ce procédé permet d'améliorer la qualité de l'huile obtenue.

#### **▪ Filière artisanale**

C'est la filière la plus visible, les graines sont pressées à l'aide de presse mécanique. Ce qui permet de recueillir d'une part l'huile et d'autre part les tourteaux après cela l'huile brute est décantée puis filtrée comme pour la filière traditionnelle afin d'obtenir l'huile végétale pure. Comparé à la filière citée précédemment à savoir celle traditionnelle, celle-ci produit une quantité d'huile plus importante.



*Figure 2 : Illustration de la filière HVP (Chambre agriculture Lot et Garonne Huile Végétale pure, production et valorisations à la ferme et IFHVP)*

### I-2-2-Filière industrielle

L'huile obtenue est raffinée. Le raffinage des huiles brutes est obligatoire pour fournir un produit d'aspect engageant, neutre de goût, résistant à l'oxydation, adapté à l'emploi désiré et débarrassé de ses substances toxiques ou nocives [10]. Il se fait en plusieurs étapes :

**-Le dégomme :** le dégomme à l'eau est conduit par addition d'eau chaude ou de vapeur d'eau pour précipiter les "gommes". Les gommes sont alors séparées de l'huile par centrifugation continue [11]. Les gommes étant constituées de phospholipides plus précisément des de la partie hydrophile de celles-ci sensible à l'eau.

**-La neutralisation :** Il consiste à éliminer les acides gras libres dans l'huile par action d'hydroxyde de potassium. Les acides gras étant à l'origine de l'acidité de l'huile qui diminue sa

qualité. Dans les cas des huiles de tournesol, la solution NaOH est utilisée avec 0.3 à 0.5% d'excès [12].

**-La décoloration :** Cette opération vise à éliminer les pigments colorés présentes après neutralisation. Le principe est basé sur un phénomène physique : l'adsorption sur des terres décolorantes, du charbon actif, des silices spéciales ou des combinaisons de ces substances [13].

#### **-La désodorisation**

Les huiles présentent des composés odorantes qui sont issues de l'oxydation des acides gras. Cette étape vise à enlever ces composés odorants, en injectant de la vapeur sèche dans l'huile maintenue sous vide (260 à 800 Pa) à haute température (220 à 275°C) pendant un temps donnée. Il s'agira alors d'entraîner à la vapeur des substances odorantes qui sont plus volatiles que l'huile [14].

#### **I-2-3-Les méthodes d'extraction des huiles végétales.**

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

- soit par pressage mécanique
- Soit par extraction à l'aide d'un solvant

#### **-Extraction par presse mécanique**

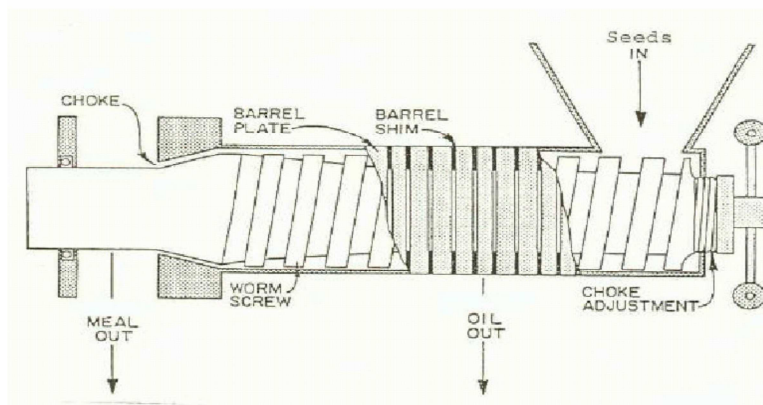
Toutes les presses sont équipées d'une vis, mais selon la cage de presse et la forme de la vis. On distingue :

-Les presses à barreaux

-Les presses à vis.

#### **-Presse à barreaux**

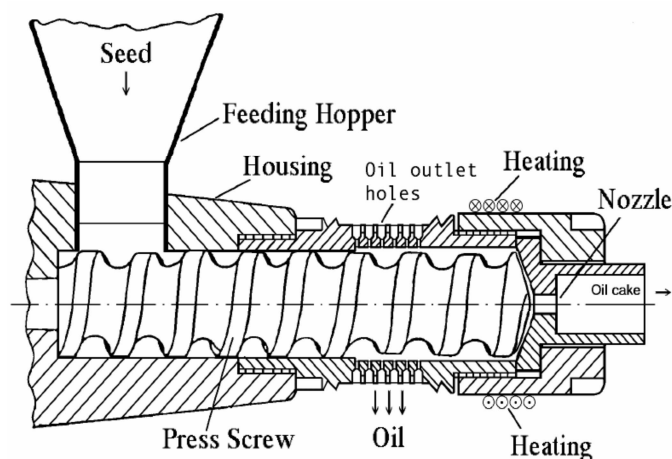
L'huile passe à travers des barreaux ou des anneaux dont l'espacement peut être réglé suivant le type de graines à presser. Les tourteaux sortent sous la forme de plaquettes ou écailles. La vitesse de pressage est de 40kg/h à plus de 2 000 kg/h pour les grandes productions d'huiles végétales brutes [15].



**Figure 3 : Vue interne d'une presse à Barreaux [16]**

**-Presse à vis.**

Le corps de la presse est percé pour permettre l'écoulement de l'huile au fur et à mesure du pressage. La vis présente un diamètre croissant pour augmenter la pression en fin de parcours des graines. Les tourteaux passent dans des buses interchangeables dont ils épousent la forme. Les tourteaux sortent sous forme de granulés. La vitesse de pressage est de (< 50 kg/h) pour les faibles productions d'huiles.



**Figure 4 : Vue interne d'une presse à vis [16]**

Il faut privilégier une pression à basse température (à froid). On ne dispose pas d'étude comparative précise sur les différences d'élévation de températures de l'huile selon les deux systèmes [15].



## **Extraction par solvant**

L'extraction par solvant a été développée pour le traitement des graines oléagineuses à faible teneur en huile. Aujourd'hui, la combinaison d'une presse à vis et de l'extraction par solvant est la technique industrielle développée même pour les graines riches en huile [17]. Les propriétés recherchées pour les solvants sont une forte solubilité de l'huile, une faible solubilité de l'eau, une absence de toxicité pour les applications alimentaires [18]. Actuellement, la majorité des procédés d'extraction utilise l'hexane comme solvant [19]. Elle présente un bon rendement d'extraction mais elle est coûteuse.

## **III-Utilisation de l'huile végétale**

De nos jours l'huile végétale est utilisée à des fins alimentaires mais aussi pour la production des biocarburants. Pour la production des biocarburants il existe trois possibilités: La production du biodiesel issue de la transestérification, l'utilisation des mélanges Huile/Gazole, et l'utilisation des huiles végétales comme carburants.

### **III-1-Production de biodiesel**

C'est un procédé permettant de modifier les propriétés physiques d'une huile végétale afin de le rapprocher le plus de celui d'un combustible diesel. Il consiste à modifier sa composition chimique pour la transformer en ester. Cette réaction est appelée transestérification. Elle consiste à faire réagir l'huile avec un alcool en présence de catalyseur. L'objectif d'une telle étude est l'utilisation des esters obtenus comme carburant diesel. Ce dernier est plus connu sous le nom de biodiesel. Ainsi lors de cette transformation on assistera à l'élimination de la glycérine, à la diminution du point d'ébullition de l'huile, de celui du point éclair. La glycérine sera utilisée dans l'industrie chimique, et les sous produits dans l'industrie du savon et des détergents [20]. Le biodiesel obtenue est directement utilisable sur le moteur et contrairement au gazole, il ne présente aucun danger pour l'environnement. Cependant ce procédé coûte cher et nécessite une technologie importante.

### **III-2-Mélange huile-gazole**

Les propriétés physiques des huiles végétales peuvent être améliorées quand les huiles sont mélangées avec le carburant diesel. La dissolution doit être complète afin qu'il n'y ait pas de séparation de phases. Les propriétés des mélanges sont généralement intermédiaires entre celles du gazole et des huiles végétales [20]. L'adjonction du gazole assure la fluidité du carburant mais aussi le rinçage régulier du système d'injection [21].

C'est un moyen de réduction de la consommation en gazole mais la dépendance énergétique demeure. A cela s'ajoute les conséquences environnementales avec l'utilisation du gazole dans le mélange même en faible quantité.

### **III-3- HVP comme carburant**

La filière HVP renforce la place de l'agriculture et répond aux attentes de la société [22]. Elle offre une solution aux problèmes énergétiques et environnementaux du monde agricole au moyen d'une filière courte maîtrisée par le paysan. Néanmoins pour tourner aux huiles végétales, il est nécessaire non seulement de changer les propriétés physico-chimiques des huiles afin de les rendre comparables au gazole, mais aussi d'adapter les moteurs. Cette adaptation peut se faire soit en modifiant la physionomie du moteur comme l'intégration par exemple d'une chambre de préchauffage pour rendre l'huile plus fluide soit en utilisant la bicarburant pour les huiles végétales dans le moteur. Ces procédés permettent l'utilisation d'huiles végétales directement dans le moteur. Ceci qui présente plusieurs avantages. D'abord l'huile végétale est accessible au milieu rural, on peut l'avoir à faible coût. Enfin son utilisation dans le long terme permet de faire disparaître la dépendance énergétique et est beaucoup plus écologique que le biodiesel [23]. Cependant il est nécessaire de vérifier certains paramètres attestant de sa qualité avant son injection sur le moteur.

### **III-4- Les contraintes de qualité sur les huiles**

On peut noter la viscosité qui pose problème. En effet plusieurs chercheurs ont rapporté que les huiles végétales causent des dépôts de carbone durs sur les têtes de cylindres, les soupapes, les nez d'injecteurs, les têtes de pistons. Ces dépôts sont essentiellement dus à une mauvaise pulvérisation (elle même due à la viscosité élevée des huiles végétales) lors de l'injection [24]. La jatropha a une viscosité de  $17,1 \text{ mm}^2/\text{s}$  à  $20 \text{ C}$  [25] par rapport au gazole qui a une viscosité à  $20^\circ\text{C}$  de  $2,5$  à  $5,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Ensuite l'encrassement du moteur due à la présence élevée des phospholipides qui vont entraîner des dépôts de gommages dans la chambre de combustion. Ainsi [26] rapportent que l'utilisation continue d'huiles végétales comme carburant dans un moteur diesel à injection directe non modifié peut bloquer les injecteurs, ce qui peut conduire à une usure prématurée du moteur.

### **IV- Paramètres physico-chimiques d'analyse des huiles**

Les différentes méthodes d'analyse portent sur la connaissance des paramètres physico-chimiques suivants : La viscosité, point éclair, PCI, indice de cétane, indice d'iode, indice d'acide, taux de sédiments, teneur en eau, teneur en phosphore, indice de saponification.

#### IV-1-Paramètres physiques

**La viscosité** est la caractéristique d'être plus ou moins fluide de l'huile ou en d'autres termes. Sa résistance au pompage ou au passage au travers d'une orifice. La température exerce une grande influence sur la viscosité. Si la température de l'huile augmente, celle-ci devient plus fluide et la viscosité diminue ceci a été confirmé par les travaux de K. Pramanik qui montre que la viscosité de l'huile de Jatropha diminue rapidement avec l'augmentation de la température, et elle devient proche de celle du gasoil à des températures supérieures à 75°C.

**Le point éclair** est la température à laquelle un fluide émet suffisamment de vapeurs pour qu'elles puissent s'enflammer au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Plus le point éclair est élevé plus son stockage et son transport sont sécuritaires. L'huile végétale a un point éclair beaucoup plus élevé que celle du gazole. Il se trouve entre 81-84°C pour le gazole et 295-320°C pour le jatropha [27].

**Pouvoir calorifique** inférieur représente la quantité de chaleur par unité de masse cédée par le carburant. Les valeurs de PCI de ces huiles végétales sont de l'ordre de 36-40 MJ /kg et celui du gasoil est supérieur à 40 MJ / kg.

**Point d'écoulement** : c'est la température à laquelle l'huile ne coule plus. Elle est de l'ordre de 3°C pour la jatropha dans la littérature. Il donne une idée sur la capacité de circulation de l'huile à froid

**Point trouble** : C'est la température d'apparition des premiers cristaux de paraffine.

**Indice de cétane** mesure la capacité à l'auto inflammation. L'indice de cétane est l'un des principaux indicateurs de qualité du carburant diesel. Il caractérise le délai d'allumage du carburant au moment de son injection dans la chambre de combustion. Plus le délai d'allumage est court, plus l'indice de cétane est élevé et vis-versa [28]. L'indice de cétane des huiles végétales est compris entre 28,3 et 41,5 tandis que pour le gazole la valeur minimale est 40 [29].

**Densité** : Il est de l'ordre de 0,9 pour les huiles végétales qui sont plus lourdes que le gasoil autour de 0,8

#### IV-2-Paramètres chimiques

**Indice d'iode** est le degré d'insaturation d'un acide gras. C'est une évaluation de sa facilité à rancir puisque plus il contiendra d'insaturations, plus il sera sensible à l'O<sub>2</sub>. L'indice d'iode représente le nombre de grammes d'halogène fixé par 100 g de produit exprimé en mg d'iode.

L'iode joue le rôle de l'oxygène lors du rancissement. La connaissance de l'indice d'iode (quantité d'iode susceptible de réagir sur les liaisons des acides gras) permet de porter un premier jugement sur l'aptitude à la combustion de l'huile : plus l'indice est élevé plus la combustion peut poser problèmes [30].

**Indice d'acide** permet d'évaluer la quantité d'acides libres. Ces acides sont responsables plus d'une grande facilité au rancissement. L'indice d'acide est le nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser l'acidité libre d'un gramme de corps gras. [28].

**Indice de peroxyde** donne une évaluation sur la quantité de peroxyde présent dans le corps. C'est ce qui indique en fait la quantité d'acides gras déjà rance. L'indice de peroxyde est le nombre de  $\mu\text{g}$  actif de peroxyde contenu dans un gramme de produit et oxydant l'iodure de potassium entraînant la libération d'iode [28]. Le processus d'auto-oxydation qui, par exemple, met en jeu une réaction en chaîne radicalaire, qui entraîne l'oxydation des acides gras insaturés de l'huile. Cette oxydation conduit à une diminution de la valeur nutritionnelle de l'huile par dégradation des acides gras essentiels (acide linoléique). En outre, elle aboutit à la formation de divers produits de décomposition qui lui confèrent une odeur et un goût indésirable, voire vraisemblablement une certaine toxicité [30]. La peroxydation lipidique peut être évaluée par la mesure de la disparition des acides gras polyinsaturés, la consommation d'oxygène.

**Taux de sédiments** donne une idée sur la quantité de sels inorganiques contenus dans les huiles. Ces derniers étant à l'origine de dépôts d'imbrulés au niveau de chambre de combustion. Plus sa valeur est importante, moins l'huile est de bonne qualité.

**Teneur en eau** désigne le pourcentage d'eau contenue dans l'huile. Il est responsable de la corrosion au niveau de la chambre de combustion.

**Teneur en phosphore** traduit la quantité de phospholipides contenue dans l'huile. Plus elle est élevée, plus il y aura possibilité des dépôts de gommes lors de la combustion dans les moteurs. Il faut éviter la présence des phospholipides (par un pressage à froid plutôt qu'un procédé industriel à chaud) pour empêcher des dépôts dans le moteur [15].

**Indice de saponification** indique la teneur en acides gras (estérifiés et libres) contenue dans l'huile. Une valeur élevée peut orienter cette huile vers la fabrication du savon [31]. C'est aussi un moyen d'évaluer la longueur des chaînes grasses d'une huile. Et d'évaluer la masse molaire.

### V-Critères de spécifications d'huiles végétales comme carburant.

Pour les huiles végétales ils n'existent pas de normes pour son utilisation comme carburant. Cependant on peut trouver dans la littérature des limites qui varient suivant les auteurs mais la spécification la plus utilisée actuellement est la prénorme allemande DIN 51605 (juin 2005). La comparaison de ces spécifications aux caractéristiques physico-chimiques de l'huile donne une idée sur sa qualité comme carburants. Cette prénorme a été établie à partir des propriétés physico-chimiques de l'huile de colza. Il donne une valeur maximale et une valeur minimale pour chaque paramètre physico-chimique. Les valeurs sont circonscrites dans le tableau suivant. Plus la valeur trouvée se rapproche des spécifications, plus le potentiel comme carburant de l'huile est importante.

**Tableau 1: Prénorme allemande DIN 51605 [32]**

Propriétés physico-chimiques	Unités	Valeurs limites	
		Min	Max
Propriétés caractéristiques de l'huile de colza			
Densité (15°C)	Kg/m <sup>3</sup>	900,0	930,0
Point éclair	°C	200,0	-
viscosité cinématique à 40C	mm <sup>2</sup> /s	-	36,0
Pouvoir calorifique	kJ/kg	36.000	-
Indice de cétane	-	39	-
carbone résiduel	%	-	0,40
Indice d' iode	g /100g	95	125
Contenu en soufre	mg/kg	-	10
Teneur en particules	mg/kg	-	24
Acidité	mg KOH/g	-	2,0
Stabilité à l'oxydation (110°C)	h	6,0	-
Contenu en phosphore	mg/kg	-	12
Contenu en calcium et magnésium	mg/kg	-	20
Contenu en cendres	%	-	0,01
Contenu en eau	%	-	0,075

## **VI-Description des oléagineux sélectionnés pour l'étude**

L'étude portant sur la caractérisation des huiles brutes .Il a fallu choisir au moins deux huiles brutes .Ainsi notre choix s'est porté sur l'huile de jatropha qui présente un bon potentiel carburant , et une capacité de production importante en Afrique .Pour le second on a pris l'huile Tournesol aussi très utilisé .Enfin dans le but de mieux estimer la qualité carburant de ces huiles brutes , l'huile de coton raffinée et l'huile végétale pure obtenus industriellement ont été sélectionnés pour effectuer la comparaison.

### **▪ Jatropha**

La jatropha est un arbuste de la famille des Euphorbiacées avec 5 à 9 m de haut. Les plantes issues de graines sont plus résistantes à la sécheresse que celle cultivées à partir de boutures car elles développent une racine pivotante [33]. La durée entre la maturité et la floraison est environ de 80-100 jours .La durée de vie est de 30 à 50 années .Le rendement à l'hectare est de 5 tonnes/ha à la 5ème années soit un équivalent de 1,6 -2,0 tonnes d'huiles avec 3,0-3,4 tonnes de tourteau. La graine pressée fournit de l'huile et le tourteau est un bon fertilisant. La jatropha provient d'Amérique Centrale, présente dans des climats tropicaux semi-arides et subtropicaux. Elle peut résister aux sécheresses jusqu'à 7 mois et pousse dans les sols dégradées .Elle est le plus utilisé pour des applications carburants.

### **▪ Coton**

Le coton est une fibre naturelle et plus particulièrement végétale. Il est constitué de cellulose naturelle, plus ou moins pure, formée par des fibres et est classé dans la famille des malvacées. Le cotonnier peut mesurer jusqu'à dix mètres, toutefois sa taille est limitée à un ou deux mètres en culture de façon à en faciliter la récolte. Il pousse dans les régions tropicales et subtropicales arides. Il peut vivre une dizaine d'années, toutefois, lorsqu'il fait l'objet d'une culture organisée, il est souvent exploité sous la forme de plante annuelle. Ses graines sont aussi utilisées pour l'obtention d'huiles brutes par pressage .Mais il est le plus utilisé pour la production d'huile alimentaire qui est l'huile raffinée de coton à l'échelle industrielle.

### **▪ Tournesol**

Le tournesol est une plante oléagineuse annuelle. Le tournesol est sans doute l'une des plus anciennes espèces, endémique dans le sud de l'Amérique du Nord. Une coque de la graine de tournesol constitue 18 à 35% du poids total de la graine [34] .L'augmentation de l'intérêt pour

cette variété provient de ces applications en friture et des recommandations de consommation d'acides gras mono insaturés pour limiter le cholestérol. Notons que d'autres applications dans le domaine non alimentaire commencent à voir le jour.

## **CHAPITRE II: Matériels et Méthodes**



## I-Matériel végétal

Les huiles utilisés dans l'étude varient suivant leur provenance et leur méthode d'obtention. On peut citer : Deux qui proviennent du Mali (Cercle de Yorosso), l'une est obtenue par presse à vis 64°C (jatropha 2), l'autre par mélange d'huile en entrée (64°C) et sortie de presse (96°C) à vis (jatropha 1). Enfin le dernier provenant du LBEB est obtenue par presse hydraulique (ADMGA) (jatropha 3). L'huile Belweet (HVP-B) provenant du Burkina Faso plus précisément des plantations de jatropha du Laarlé Naaba sis à kamboincé obtenue par presse à vis. L'huile tournesol fournit par la structure agropol. L'huile de Coton Savor produit par la SN-SITEC. C'est une huile déjà raffinée.

Ainsi dans notre étude on a : les huiles (jatropha 1, jatropha 2, jatropha 3, Tournesol) qui sont des huiles brutes, l'huile végétale pure (HVP-B) et l'huile de coton (huile raffinée). Les huiles (jatropha 1, jatropha 2, jatropha 3) et l'huile tournesol ont été par la suite décantées puis filtrées. Ce qui nous fait un total de 10 échantillons d'huiles :

- 4 huiles brutes décantées (jatropha, tournesol)
- 4 huiles brutes décantées et filtrées (jatropha, tournesol)



*Figure 5 : huiles de jatropha filtrées*

- Une huile végétale pure (HVP-B)
- Une huile raffinée (Coton)

Ceci nous permettra d'avoir une plage plus importante de discussion à l'issue du travail.

## **II-Méthodes d'analyses physico-chimiques pour le contrôle de qualité de l'huile végétale carburant.**

### **II-1- Méthode de détermination de la teneur en eau et matières volatiles**

La méthode utilisée est adaptée de la norme NF T 60-201 de novembre 1984 et destinée aux corps gras. La vase contenant la prise d'essai environ 5 g est mise durant 24h dans l'étuve réglée à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ensuite on laisse refroidir dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante et on pèse à 0.001g près. Les opérations de chauffage, de refroidissement et de pesée sont répétées tous les 30minutes jusqu'à ce que la perte de masse entre deux pesées successives ne dépasse pas 2 ou 4 mg, selon la masse de la prise d'essai. Le résultat donne la valeur de la teneur en eau et matières volatiles. Les matières volatiles étant négligeables et même nulles pour l'huile qui se décompose à  $300^\circ\text{C}$  environ d'où la teneur en eau et matières volatiles donne directement la valeur de la teneur en eau.

La teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse, est égale:

$$[(m_1 - m_2) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

Deux essais sont effectués pour chaque mesure

### **II-2-Méthode de détermination de l'acidité**

La méthode utilisée est la norme française NF T60-204 de décembre 1985. L'acidité d'un corps gras mesure le pourcentage d'acides gras libres contenu dans celui-ci. La méthode consiste à un dosage acide-base en présence d'indicateur basique qui est la phénolphtaléine jusqu'à neutralisation complète de l'acide correspondant à la coloration rose de la solution. On dissout la prise d'essai environ 2g dans environ 40 ml du mélange oxyde diéthylique / éthanol puis on ajoute 3 gouttes de la solution de phénolphtaléine. La quantité de solvant pourra varier en fonction de la coloration du corps gras. On titre, en agitant sur agitateur magnétique avec la solution d'hydroxyde de potassium jusqu'au virage de l'indicateur (coloration rose persistante durant au moins 10 secondes). Soit V (ml) le volume de la solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. Parallèlement et simultanément on effectue sans corps gras un essai à blanc. Soit  $V_0$  (ml) le volume de la solution éthanolique d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation de la même quantité oxyde diéthylique /éthanol utilisé lors du titrage du corps gras.

L'acidité, exprimée en pourcentage en masse est égale à :

$$A = (V - V_0) * N * M / 1000 * 100 / PE = (V - V_0) * N * M / (10 * PE)$$

Deux essais sont effectués pour chaque mesure s'il y'a pas répétition on fait un troisième essai

### **II-3-Méthode de détermination de l'indice d'iode**

La méthode utilisée est la norme Française NF ISO 3961 du 20 juillet 1999.

On dose le corps gras par du thiosulfate de sodium après avoir mélangée préalablement ce dernier par une solution d'iodure de potassium en présence de réactifs et d'indicateur. Ce qui permet le titrage de l'iode libéré. En effet on utilise un réactif appelée réactif de Wijs et un solvant qui est l'éthanol. On introduit la prise d'essai environ 0,2 g dans un ballon rodé de 250mL. On ajoute 15mL de solvant pour dissoudre la matière grasse. Puis on ajoute exactement 25mL de réactif de Wijs. On bouche le ballon, et on agite doucement et on le place à l'obscurité pendant au moins 1 heure (2 heures pour les indices d'iode présumés supérieur à 150). Notons qu'il faut préparer un essai à blanc de la même façon avec le solvant et le réactif mais sans la prise d'essai. Après ce temps, on ajoute 20mL de la solution d'iodure de potassium et 150mL d'eau dans chaque ballon. On ajoute un peu d'indicateur d'iode. On titre avec la solution titrée de thiosulfate de sodium jusqu'à décoloration du mélange.

L'indice d'iode est donné par l'équation :

$$\frac{12.69. c . (V1 - V2)}{m}$$

Deux essais sont effectués pour chaque mesure s'il y'a pas répétition on fait un troisième essai

### **II-4-Méthode de détermination du pouvoir calorifique inférieur**

Cette méthode est décrite par la norme NF M 03-005 « Détermination du pouvoir calorifique supérieur et calcul du pouvoir calorifique inférieur ». L'huile avec la capsule est introduite dans la bombe et le tout est mis dans la vase calorimétrique. Après équilibre de température entre la vase calorimétrique et l'enceinte où se trouve la bombe on lance la combustion .A la fin de celle-ci le fil d'allumage restant est mesuré. .Ce qui permet d'estimer par calcul le pouvoir calorifique inférieur.

### **II-5-Méthode de détermination de l'indice de saponification**

La méthode utilisée est normalisée (NF T 60-206, 1990). L'indice de saponification est la quantité de potasse nécessaire pour transformer en savons les acides gras libres ou estérifiés présents dans une huile. La détermination de cette quantité est donc un moyen d'évaluer la longueur des chaînes grasses d'une huile ou d'une graisse. Le principe est un dosage en présence d'indicateur (phénolphtaléine) du corps gras par une solution d'acide chlorhydrique HCL. On pèse, à 5mg près, environ 2g d'échantillon pour essai dans un ballon rôdé. On ajoute à la prise d'essai 25 ml de la solution éthanolique d'hydroxyde de potassium et quelques pierres ponce, et

on fait bouillir doucement au reflux, en agitant de temps en temps, pendant 60mn, on ajoute à la solution, chaude, 1ml de la solution de phénolphaléine (solution à 10g/L dans l'éthanol à 95% (v/v) et on titre avec la solution titrée d'acide chlorhydrique (HCl = 0,5mol/L) jusqu'à ce que la couleur rose de l'indicateur disparaisse. Un essai à blanc est effectué parallèlement en suivant le même mode opératoire. Deux essais sont effectués sur le même échantillon pour essai. L'indice de saponification  $I_s$  est donné par la formule.

$$I_s = [(V_o - V_1) \times C \times 56, 1] / m$$

Deux essais sont effectués pour chaque mesure s'il y'a pas répétition on fait un troisième essai

## II-6-Méthode de détermination du taux de sédiments

La Méthode utilisée est la Norme internationale (NF EN ISO 3735) .le taux de sédiments permettant d'estimer la quantité de sels inorganiques. Cette méthode consiste à extraire ces sédiments contenus dans l'huile à l'aide d'un solvant qui est le toluène. En effet on chauffe l'erenmeyer à une température de 270°C contenant le solvant .Il s'ensuit l'évaporation du solvant qui se condense à l'aide d'un réfrigérant puis se déverse dans la cartouche contenant l'huile .L'extraction dure 1h puis une fois terminée la cartouche est mis à l'étuve à 105°C pendant une heure .Enfin elle est refroidit dans le dessiccateur durant une heure de temps avant d'être pesée. La cartouche pesée contenant les sédiments .Deux extractions successives sont effectuées afin de valider le résultat pour chaque huile.



**Figure 6 : Appareil d'extraction pour la détermination de la teneur en sédiment**

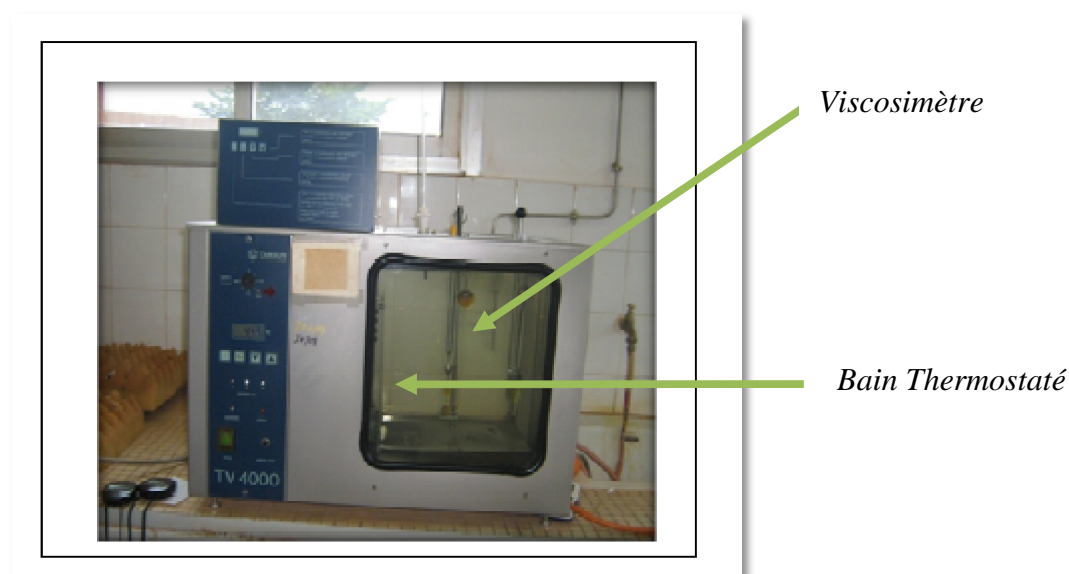
Deux essais sont effectués pour chaque mesure

### II-7-Méthode de détermination de la viscosité

La méthode utilisée est la norme européenne ISO 3104 Octobre 1994.

Il caractérise la résistance à l'écoulement de l'huile. On mesure le temps d'écoulement par gravité d'une fraction d'huile à travers un viscosimètre à capillaire contenue dans un bain à une température donnée.

Le principe est simple on pompe l'huile jusqu'à une certaine hauteur définie de la colonne .Puis on la laisse couler tout en déclenchant le chronomètre .Ce dernier est arrêté dès que l'huile atteint une autre hauteur moindre .La valeur de la viscosité à une température donnée est donnée par la formule suivante  $V= C \times T$ , C peut être défini comme étant la constante du viscosimètre directement liée à sa capillarité et T est le temps au bout duquel l'huile traverse la colonne. L'huile étant plus visqueux que le gazole, des viscosimètres de plus grande capillarité sont utilisées comparées à celle utilisées pour le gazole.



*Figure 7: Viscosimètre plongé dans le bain Thermostaté, labo de la SONABHY*

Deux essais sont effectués pour chaque mesure

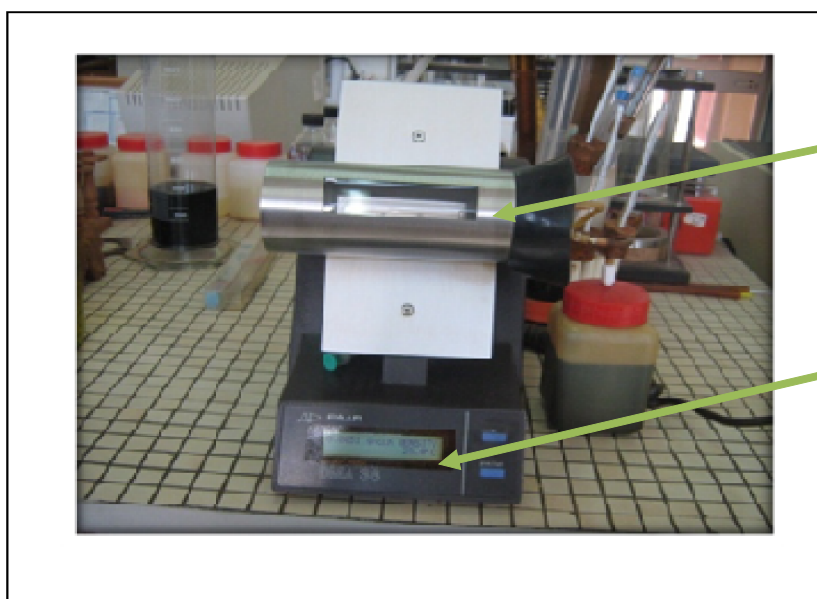
### II-8-Méthode de détermination des points d'écoulement, éclair et de fusion

**Point trouble :** La méthode utilisée est la norme NF-EN 23015 septembre 1994. Le point trouble correspond au point où apparaît les premiers cristaux de paraffine lorsque le produit est refroidit .le procédé consiste à introduire dans un tube à essai de l'huile .Puis ce tube est introduit dans un bain réfrigérant qui le refroidit .Notons que la température est examiné tous les 3°C.

**Point d'écoulement :** La méthode utilisée est la norme française NF T 60-105 Décembre 1996. C'est la température à la quelle l'huile coule encore. On refroidit l'huile puis on note la température à des intervalles de 3°C. Le point d'écoulement correspond à la dernière température à la quelle l'huile coule encore. Cette température est déterminée en ajoutant plus 3C à la température lue après que l'huile ne bouge plus en inclinant le tube.

**Point éclair :** La méthode utilisée est la norme internationale 2719. La prise d'essai est placée dans le vase d'un appareil Pensky-Martens, puis chauffée de manière à produire un accroissement constant de sa température, ceci sous agitation continue. Une source d'inflammation est dirigée à travers une ouverture du couvercle du vase d'essai à des intervalles de température réguliers avec interruption simultanée de l'agitation. La température la plus basse à laquelle l'application de la source d'inflammation provoque l'inflammation des vapeurs émises par la prise d'essai avec propagation de la flamme sur toute l'étendue de la surface du liquide est notée comme étant le point d'éclair à la pression barométrique ambiante.

**Densité :** La méthode utilisée est la norme internationale 12185 de juin 1996. Il consiste à mesurer la densité à l'aide d'un densimètre à une température mesurée .Ce densimètre est à tube oscillant en U. on injecte à l'aide d'une seringue de l'huile dans l'appareil .Il faudra s'assurer qu'il n'ait pas de bulbes d'air à l'intérieur du tube .Enfin on note la valeur affichée sur l'appareil après stabilisation. C'est un procédé très simple qui est utilisée. L'appareil donne la densité à la température de 25°C.



*Tube oscillant  
en U*

*Valeur  
affichée*

**Figure 8 : Un densimètre de la SONABHY**

## **CHAPITRE III: Résultats Et Discussions**

## I-Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants

*Tableau 2 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants (1)*

Paramètres	Huile jatropha 1	Huile jatropha 2	Huile jatropha 3	Huile Tournesol décantée	Spécifications DIN et ASTM
Teneur en eau (% , m/m)	0,119±0,011	0,131±0,009	0,081±0,018	0,112±0,007	0,075
Acidité (% , m/m)	6,264±0,008	4,56±0,004	3,23±0,006	4,086±0,001	max 2
Indice d'iode (mg I <sub>2</sub> /100g)	97,104±0,316	99,041± 0,401	95 ,427±0,316	99,768±0,133	100-120
PCI (KJ/Kg)	36303±225	36766±414	36558±473	36132±904	36000
Indice de saponification	194,845±0,199	191,504± 0,197	190,182±1,447	194,845±0,419	-

### ➤ Acidité

D'après les résultats obtenus au (Tableau 2) on voit que les différentes huiles obtenues après décantations présentent une acidité élevée. Ce qui confirme les travaux antérieurs de [31]. Ainsi comparées aux normes de spécifications aucune de ces huiles ne respectent la norme. Cependant on peut noter une acidité largement plus élevée pour l'huile jatropha 1 (6,264%) par rapport à l'huile jatropha 3 (3,236%). Ceci étant dû aux conditions de stockage des huiles et de récolte des graines. Quant à l'huile tournesol le même problème se pose, son acidité n'est pas loin de celle obtenue pour la jatropha. L'acidité élevée entraîne des problèmes de corrosion des organes en amont de la chambre de combustion (joint, durite, etc..) du moteur.

### ➤ Indice iode



Les valeurs obtenues pour les huiles de jatropha (Tableau 2) compris entre (94-99 mg I<sub>2</sub>/g) sont proches de la norme (100-120 mg I<sub>2</sub>/g). la valeur trouvée pour jatropha 1 est identique à celle donnée dans [35] qui donne (97 mg I<sub>2</sub>/g) et elle est proche (103-124) mg I<sub>2</sub>/g donnée pour l'huile tournesol. Néanmoins les valeurs les plus élevées sont donnés par jatropha 2 (99,041 mg I<sub>2</sub>/g) et l'huile tournesol (99,738 mg I<sub>2</sub>/g). les données obtenues traduisent l'insaturation moyenne de ces huiles qui suite à leur acidité élevé (d'où une prédominance de l'acide oléique qui est un acide gras libre insaturé) auront tendance alors à s'oxyder au contact de l'air et la formation de peroxydes suite à la fixation l'oxygène sur les doubles liaisons. Ce qui laisse prévoir un indice de peroxyde élevé avec comme incidence directe le rancissement de ces huiles diminuant les chances d'utiliser ces huiles à des fins alimentaires. Pour les applications carburant, notons qu'à une température très élevée il y'a des risques de polymérisation dans la chambre avec la formation de grosses molécules à l'origine à la fin de la combustion d'imbrulés qui en plus du cendres, de la gomme participe à l'encrassement du moteur.

#### ➤ PCI

Les valeurs sont jugés normales, mieux ils sont supérieurs à la norme qui fixe un minimum de 36000 kJ/kg. Le PCI tourne autour de 36000 kJ/kg pour la jatropha donnée dans [35], ceci est en parfait adéquation avec les résultats. Les huiles restent moins énergétiques que le gazole d'où il va falloir utiliser une grande quantité d'huile équivalente à une quantité faible de gazole. Cependant la valeur trouvée montre que l'huile constitue une alternative au gazole car possédant un potentiel non négligeable d'énergie.

#### ➤ Teneur en eau

Les résultats ont été obtenus par une méthode normalisée (NF T 60-201 de novembre 1984) de détermination de la teneur en eau des huiles. Ces derniers valeurs sont circonscrits dans le (Tableau 2). Ensuite ces huiles ont été testées par la méthode de Karl Fisher aussi normalisée. Les premières valeurs obtenues avec cette méthode tournant autour de 0,12 %-0,13% confirmées nos résultats. Preuve que nos résultats sont fiables. Par rapport aux résultats obtenus avec la méthode normalisée, on voit que les huiles décantées (jatropha 1 0,119%, d'une part et jatropha 2 0,131 %) ne respectent pas la spécification d'huiles pures comme carburant qui donne un maxi de 0,075 %. Seul jatropha 3 présente une valeur proche 0,081%. Il faut noter que la teneur en eau dépend nécessairement de l'humidité des graines oléagineuses. Plus les graines sont humides, plus il y aura possibilité d'observer une teneur en eau élevé. Ainsi un bon séchage des graines et un bon stockage contribuerait à diminuer cette valeur.

➤ Indice de saponification

Les valeurs obtenues pour l'indice de saponification sont très élevées ce qui suggère l'utilisation de ces huiles pour la production du savons ceci diminue ces qualités comme carburant .Cependant on trouve les mêmes valeurs dans les travaux de [31] qui donne des indices de saponification comprises entre (196-208 mg KOH/g) pour l'huile de jatropha .Même constatations pour l'huile de tournesol qui une indice de 194,84 mg KOH /g confirmé dans [12] : indices variant pour le tournesol de (188-194 mg KOH /g).

**Tableau 3 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants (suite)**

Paramètres	Huile jatropha 1	Huile jatropha 2	Huile jatropha 3	Huile Tournesol décantée	Spécifications DIN et ASTM
Viscosité à 40C (mm <sup>2</sup> /s)	34,558±0,011	29,224±0,046	34,736±0,196	35,429±0,017	Max 38
Point d'écoulement (°C)	-3°C	-3°C	-3°C	-9°C	Min -5°C
Point trouble (°C)	-	-	-	-	-
Densité à 25°C (Sonabhy)	0,9115	0,911	0,911	0,911	0,910-0,930
Point éclair (°C)	-	-	-	-	220° C

➤ Viscosité

Les valeurs de viscosité obtenues satisfont à la norme qui impose une valeur maximale de 38 mm<sup>2</sup>/s. les viscosités obtenues étant inférieurs à ce point maxi.les huiles de jatropha et de tournesol étant plus visqueux que le gasoil .Cela oblige une adaptation du moteur avant son utilisation une fois qu'elle est considérée comme de bonne qualité. Il faudra nécessairement

préchauffée ces huiles à une certaine température autour de 80°C pour le rendre plus fluide et faciliter son injection dans la chambre de combustion.

➤ Point d'écoulement

La spécification donne une valeur minimale (-5°C). Pour la jatropha la valeur obtenue correspond à celle que l'on trouve dans la littérature (-3°C), elle est jugée acceptable. Pour le tournesol il a une valeur plus faible (-9°C) qui est en dessous de la norme donc pas conforme. Enfin pour l'huile de coton il a une valeur (0°C) qui satisfait aussi à la spécification. En effet le point d'écoulement permet de prévoir la capacité des huiles à la circulation dans le moteur. Globalement ces huiles ont des valeurs de point d'écoulement élevées par rapport au gazole ce qui constitue un handicap à la circulation à travers les conduites du moteur.

➤ Point Trouble

Les points troubles des huiles n'ont pas été déterminés du fait que pour les huiles. Il est difficile à détecter à cause de leurs caractères sombres. Leurs connaissances ne feraient que confirmer les valeurs du point d'écoulement à la quelle il est étroitement lié. Le point trouble vient juste avant le point d'écoulement. Elle correspond à l'apparition des premiers cristaux de paraffine.

➤ Point éclair

Le point éclair des huiles de jatropha n'a pu être déterminé à cause de sa valeur élevée. La norme pétrolière semble inadaptée pour les huiles. Il y a pas eut d'inflammation des huiles à plus de 300°C contrairement au gazole où le point éclair se trouve aux alentours de 70°C. Ce qui est compréhensif car à un certaine température (élevé) l'huile se dégrade. Le point éclair constitue un handicap pour les huiles qui s'enflamment difficilement ce qui pose vraiment un problème de démarrage à froid du moteur en huile végétale. Il va falloir démarrer en gazole et basculer en huile végétale D'où l'intérêt du kit de bicarburation. La norme pétrolière utilisant la méthode par distillation.

➤ Densité

Les huiles étant en général lourds ici ils se trouvent dans la plage autorisée (0,910-0,930). Mais leurs valeurs dépassent celui du gasoil qui est inférieur à 0,9. Ce dernier obéissant à la norme pétrolière ASTM. La densité est liée à la viscosité des huiles. Ces valeurs confirment ceux donnés dans [35]. En effet il donne une densité pour l'huile tournesol de 0,9115 à 25°C identique

à celle trouvée et (0,907-0,908) pour la jatropha page 90-91) proches de la valeur trouvée 0,9110. Ainsi plus l'huile est dense, plus elle est visqueuse.

Les mêmes observations sont notées pour les huiles filtrées (Tableau 4 annexe 1), l'huile de coton et l'huile Belweet (Tableau 6 annexe 2).

### I-Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées et filtrées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants

**Tableau 4 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles décantées et filtrées obtenues comparées aux spécifications d'huiles carburants. (1)**

Paramètres	Huile jatropha 1 filtrée	Huile jatropha 2 filtrée	Huile jatropha 3 filtrée	Huile Tournesol décantée et filtrée	Spécificati DIN et ASTM
Teneur en eau (% , m/m)	0,083±0,011	0,056±0,008	0,067±0,003	0,088±0,007	0,075
Acidité (% , m/m)	6,689±0,001	2,605± 0,000	2,920±0,036	3,599±0,214	Max 2
Indice d' iode (mg I <sub>2</sub> /100g)	96,884±0,268	99,037±0,84	94,467±0,564	94,668±0,245	100-120
PCI (KJ/Kg)	36327±33	36439±60	36652±387	36533±220	36000
Indice de saponification	196,320±1,320	199,216±0,700	198,769±1,424	197,497±0,795	-

Après filtration, on observe le même phénomène (Tableau 4 ) que pour les huiles décantées .La filtration n'ayant pas trop influencé les résultats .Ici aussi les mêmes problèmes citées en haut sont constatés. Néanmoins on observe une diminution de l'acidité pour jatropha 2 et 3 qui se rapprochent des spécifications et d'autre part une augmentation de celle-ci pour jatropha 1. L'acidité demeurant indépendante de l'opération de filtration .On constate aussi une teneur en eau plus faible pour toutes les huiles de jatropha (1,2,3) ,de même que pour l'huile tournesol après filtration .Cette diminution étant dû au caractère hygroscopique du filtre\* utilisé ,ce dernier absorbe une certaine quantité d'eau .Ce qui entraîne que les teneurs en eau se rapprochent de la norme.Notons qu'au cours de la filtration il y'a nécessairement des pertes d'huiles qui peuvent influencer légèrement les résultats car la quantité initiale n'étant pas totalement récupéré.Ce qui veut dire que la filtration constitue aussi un moyen de réduction de la

teneur en eau des huiles , après un meilleur séchage des graines oléagineuses d'où provient les huiles comme énoncées précédemment pour les huiles décantées.

\*Filtre commercial couramment utilisé dans les laboratoires (Voir annexe 7).

### III-Résultats des caractéristiques physicochimiques des huiles pures de *Jatropha*, tournesol et coton comparées aux spécifications d'huiles carburants.

*Tableau 5 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des huiles pures de Jatropha, tournesol et coton comparées aux spécifications d'huiles carburants (1)*

Paramètres	Huile Coton	Huile Belweet	Spécifications DIN et ASTM
Teneur en eau (% m/m)	0,177±0,029	0,1139±0,014	0,075
Acidité (% m/m)	0,07±0,001	2,60±0,033	Max 2
Indice d'iode (mg I <sub>2</sub> /100g)	112,306±1,830	99,834±0,685	100-120
PCI (KJ/Kg)	35666±877	37028±421	36000
Indice de saponification	191,879±0,803	190,016±1,695	-

D'après le (Tableau 5) on peut dire que l'huile de coton présente une acidité faible (0,07%) ceci était prévisible, ce dernier ayant subit une opération de neutralisation des acides gras libres par de la potasse contrairement à l'huile Belweet pure (2,60%) qui n'a subit aucune transformation entraînant qu'il n'obéit pas aux normes. Cependant ces deux huiles présentent les meilleurs profils d'acidité que l'huile de *jatropha* et celle de tournesol. Les indices d'iodes obtenus montrent le caractère moyennement insaturé de ces huiles. En résumé elles sont jugées acceptables par rapport à la norme. Concernant l'indice d'iode de l'huile de coton et l'huile Belweet (Tableau 5), ils sont dans la plage mais ont un degré d'insaturation beaucoup plus élevé que les huiles de *jatropha* et tournesol ceci constitue un désavantage car une valeur trop élevée (au-delà des valeurs de *jatropha* et tournesol jugées moyennement insaturé) augmente encore

plus les risques de polymérisation citées précédemment. Pour la teneur en eau tous les deux huiles ne respectent pas la spécification et présentent des valeurs élevés par rapport à la norme.

#### IV-Résultats des Taux de sédiments des huiles décantées filtrées (jatropha, Tournesol) et des huiles Belweet, Coton comparées aux spécifications d'huiles carburants

**Tableau 6 : Résultats des Taux de sédiments des huiles décantées filtrées (jatropha, Tournesol) et des huiles Belweet, Coton comparées aux spécifications d'huiles carburants.**

Huiles végétales	Taux de sédiments	Spécifications DIN et ASTM
<b>Jatropha 1 filtrée</b>	0,264± 0,114 %	0,0024 %
<b>Jatropha 3 filtrée</b>	2,193± 0,268 %	
<b>HVP-B</b>	0,236± 0,017 %	
<b>Tournesol filtrée</b>	4,488± 0,163 %	
<b>Coton</b>	0,185± 0,092 %	

Le taux de sédiments des différentes huiles utilisés dans l'étude demeure élevé et ne sont pas conformes aux spécifications d'huiles végétales carburant (0,0024 %). Ces huiles réceptionnées comportent donc trop de sédiments .Cependant la valeur obtenue pour jatropha 1 (0,264 % ) et celle obtenue pour HVP-B (0,236 %) reste moins élevé , de même que celle obtenue pour l'huile de coton (0,185%) contrairement au tournesol (4,488 %) et jatropha 3 (2,193 %) qui demeure très élevé .Pour l'huile de coton sa valeur faible par rapport aux autres peut s'expliquer par les différents étapes de traitement qu'il a subit .Concernant l'huile de jatropha ,la valeur obtenue est dû au filtre utilisé mais aussi à la qualité de l'huile comparé aux résultats obtenues dans [36] avec une valeur de (0,068 % ) pour la jatropha .Enfin pour l'huile de Tournesol ceci était prévisible car à sa réception il y avait beaucoup d'impuretés présentes dans l'huile brute ,les moyens d'obtention semble mauvaises .

Globalement on gagnerait à réduire le taux de sédiments de nos huiles, ce dernier vient s'ajouter à l'acidité et à la teneur en eau car étant à l'origine de dépôts dans le moteur .Cette réduction passe par une filtration plus affinée afin de retenir au maximum ces sédiments mais aussi une amélioration des conditions d'obtention de l'huile. En effet le filtre utilisé lors de cette étude étant un filtre commercial d'une grande porosité (Voir annexe 7) semble trop épais pour retenir les sédiments. Tandis que la norme donne la valeur max (0,0024 %) avec l'utilisation d'un filtre de 0,8 µm.

## *Conclusions et Perspectives*

Ce travail de mémoire a permis de caractériser un certain nombre d'huiles végétales brutes. Notons qu'il a nécessité beaucoup de patience, d'engagement et de sérénité devant les résultats à cela s'ajoute une recherche bibliographique importante, et un respect strict des protocoles qui exigent souvent des heures de manipulation afin d'arriver aux résultats escomptés. Ainsi il ressort de cette caractérisation des différentes huiles brutes et raffinées que ces dernières sont conformes aux spécifications d'huiles végétales carburant en considérant plusieurs tests à savoir (l'indice d'iode, le PCI, la viscosité, Le point d'écoulement, l'indice de saponification). Cependant le problème réside d'abord au niveau de l'acidité très élevée pour les huiles brutes (jatropha, tournesol). Ceci est dû d'abord à l'acidité des graines oléagineuses après récolte, aux conditions de stockage de celle-ci, et au conditionnement des huiles. Les teneurs en eau sont aussi très élevées pour les huiles, cette dernière réduite par filtration est fonction de l'humidité des graines utilisées. Enfin il y'a le taux de sédiment également lié à la filtration et à la provenance des huiles brutes. Ainsi seul l'huile de coton qui a subi un prétraitement obéit à ce test (acidité) avec un taux de sédiments et une teneur en eau un peu élevée. Au vue des résultats cette huile répond le plus aux spécifications. Les huiles brutes présentent donc de bons profils pour l'utilisation comme carburant car l'acidité même s'il constitue un obstacle à cette utilisation (étant à l'origine de la corrosion des moteurs). Il peut être facilement réduite en optimisant les facteurs cités précédemment (stockage des graines, conditionnement des huiles). Pour la teneur en eau, liée directement à l'humidité des graines il faudrait alors bien sécher ces graines puis bien les stockées. Ce qui a comme incidence directe l'augmentation du pouvoir calorifique inférieur déjà acceptable. Et pour le taux de sédiments il faudrait une filtration plus affinée (filtres de porosité plus faible) des huiles tout en améliorant les conditions d'obtention. En quelques mots ce travail a permis d'estimer la qualité de nos huiles comme carburant, et d'identifier les facteurs à améliorer afin d'augmenter cette qualité. Mais surtout d'arriver à la conclusion que le potentiel carburant de nos huiles est énorme, ceci pose les premières bases d'une norme à l'échelle locale (africaine). Pour la suite du travail il faudra :

- Agrandir ces tests plus précisément l'acidité et le taux de sédiments à d'autres variétés d'huiles végétales brutes. L'acidité et le taux de sédiments constituant au vue des résultats les paramètres les plus importants pour les applications carburants.
- Effectuer les tests de phosphore sur les huiles afin d'estimer la quantité de phospholipides très important pour l'utilisation comme carburant (à l'origine des dépôts de gommages sur le moteur).
- Faire des essais sur le banc moteur pour les huiles brutes déjà testées.



- Définir un seuil final d'utilisation d'huiles végétales comme carburant pouvant être proposées comme projet de norme en Afrique.
  
- En résumé au cours de ce travail fastidieux la caractérisation des huiles et l'étude comparative avec la prénorme allemande préexistante permet de poser les premières bases d'un projet de norme future (locale) .Ceci constituant notre objectif de départ prédéfinis au début de ce mémoire .Néanmoins il reste encore beaucoup à faire pour aboutir à cela. Il faudrait maintenant continuer le chemin déjà tracé menant sûrement à la norme tant attendu dans un contexte de crise énergétique .Cette norme permettrait l'utilisation de l'huile végétale en toute sécurité dans le moteur en effectuant bien sûr soit la bicarburation, soit une adaptation du moteur avec la mise en place d'une chambre de préchauffage. Ce qui constituerait une alternative au gazole surtout en milieu rural, avec comme conséquence directe le développement du milieu rural.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1]. **DERKSEN J. T., MUSSE G.F., CUPERUS P. 1994** : Processing of Nobel oil crops and seeds oils
- [2]. **HIS, S. 2005** : Le Point Sur Les Biocarburants Dans Le Monde Ifp- Diffusion Des Connaissances
- [3]. **MEYER, 2004** : huile végétale, le carburant renouvelable pour un marché de niche
- [4]. **CONNEMAN, 1994** production biodiesel of waste oil
- [5]. **HENNING, 2005** le manuel jatropha : guide pour l'exploitation intégrée de la plante jatropha à Madagascar
- [6]. **GUSTONE, HARWOOD, PADLEY, 1986**: The Lipid Handbook, London New York Chapman and Hall P 25-4
- [7]. **MOHAMED GARGOURI ET AL, 2007** : voie de la lipoxygénase : valorisation des huiles végétales et biosynthèse des flaveurs
- [8]. **ISOBE, S., ZUBER, F., UEMURA K., NOGUCHI, A., 1992**, A new twin-screw press design for oil extraction of dehulled sunflower seeds, J. Am. Oil Chem. Soc., 69
- [9]. **WILLIAMS, M.A., 1997**: Extraction of Lipids from Natural Sources, dans Gustone, F.D.(Ed.), Lipid Technologies and Applications, Marcel Dekker, Inc, New York
- [10]. **KARLESKIND, GIBBON ET TRIVIAUX, 1998** Chromatographic analysis of unsaponifiable compounds of olive oils and fat-containing foods
- [11]. **SNAPE, J.B., NAKAJIMA, M., 1996**, : Processing of agricultural fats and oils using membrane technology, journal of food engineering, 30: 1-41
- [12]. **CAMPBELL, E.J., 1983** : Sunflower Oil, J. Am. Oil Chem. Soc., 60: 387-392
- [13]. **Baranowsky Et Al. 2001** Use of Domestic Minerals for Vegetable Oil Bleaching master of science
- [14]. **KARLESKIND, A., WOLFF, J.P., 1992** : Manuel des corps gras, Lavoisier tec & doc, paris
- [15]. **PERSPECTIVES D'UTILISATION DES HVP (HORS CARBURANT)** : Débat/Cirad, Juin 2006
- [16]. **THESE TECHNIQUES DE PRESSE**: Screw-Pressing of Jatropha Seeds for Fuelling Purposes in Less Developed Countries.
- [17]. **KIRK-OTHMER, 1992**, Encyclopedia of chemical technology Vol. 10, John Wiley and Sons, New York
- [18]. **JOHNSON, L.A., LUSAS, E.W., 1983**, Comparison of alternative solvents for oils extractions, J. Am. Oil Chem.

- [19]. **PROCTOR, A., BOWEN, D.J., 1996**, Ambient-temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol, J. Am. Oil Chem. Soc., 73
- [20]. **HADARA ,1996** : Valorisation Huile Tropicale : Huile De Jatropha Québec (Canada), Université De Sherbrooke
- [21]. **VAITILINGOM, 1986** : Proposition d'opération : utilisation de l'huile de Pourghère comme carburant en milieu rural
- [22]. **XIAOHU , KALMAN BJORN, REDELIUS PER, 2008** A new test method for determination of wax content in crude oils, residues and bitumens
- [23]. **BRUWER ET COLL. 1980** Use of raw vegetable oils as diesel fuel replacements
- [24]. **CULOT, 2006**, Les Biocarburants En Afrique .Les Rapports Icdes , P 25
- [25]. **AKINTAYO, 2004** Characterization and composition of parkia biglobosa and jatropha curcas oils and cakes .Bioressource technology
- [26]. **QUICK ET CULL 1980** Presence of opportunistic oil-degrading microorganisms operating at the initial steps of oil extraction and handling
- [27]. **BARTHELEMY DE THEUX** : Utilisation De L'huile De Palme Comme Combustible Dans Les Moteurs Diesel, Travail De Fin D'études, Institut Supérieur Industriel- Haute Ecole
- [28]. **MARTY, 2005** : De la graine au pot d'échappement ; les huiles végétales un carburant vert
- [29]. **VAITILINGOM 1992** : Utilisation de l'huile de Pourghère comme carburant en milieu rural africain Antony, CIRAD-CEEMAT p21
- [30]. **CHIMI H. RAHMANI, CILLARD J, CILLARD P. 1990** : Auto-Oxydation Des Huiles D'olives : Rôle Des Composés Phénoliques
- [31]. **KPOVIESSI, 2004** Jatropha Curcas Propriétés Physico-chimiques Et Composition De L'huile Non Conventiennelle De Pourghère De Différentes Régions Du Benin
- [32]. **PIERRE, BERTRAND**. Huile végétale un vrai biocarburant. 2007 .
- [33]. **PELLET, 2007** Jatropha Curcas, Le Meilleur Des Biocarburants. Lausanne, Favre P63
- [34]. **KARLESKIND, A., 1996**, Oils and fats manual Vol. 1, Lavoisier TEC & DOC, Paris
- [35]. **GUIDE TECHNIQUE** : Utilisation énergétiques huiles végétales pures
- [36]. **MEMOIRE D'INGENIEUR 2IE** : Momath 2009



**ANNEXES**

## ANNEXES

<i>ANNEXE 1 : PARAMETRES PHYSIQUES DES HUILES FILTRES</i> .....	42
<i>ANNEXE 2 : PARAMETRES PHYSIQUES DES HUILES DE COTON ET BELWEET</i> .....	43
<i>ANNEXE 3 : METHODES CARACTERISTIQUES RESULTATS SPECIFICATIONS</i> .....	44
<i>ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'ACIDITE</i> .....	45
<i>ANNEXE 5 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'IODE</i> .....	46
<i>ANNEXE 6 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'INCIDE DE SAPONIFICATION</i> .....	48
<i>ANNEXE 7 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DU TAUX DE SEDIMENTS</i> .....	50
<i>ANNEXE 8 : DETERMINATION DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR ET CALCUL DU POUVOIR CALORIFIQUE INFERIEUR</i> .....	52
<i>ANNEXE 9 : PAPIER FILTRE UTILISE</i> .....	55
<i>ANNEXE 10 : PHOTOS ECHANTILLONS</i> .....	57

**ANNEXE 1: PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES FILTRES (SUITE)**

Paramètres	Huile Jatropha 1 filtrée	Huile jatropha 2 filtrée	Huile jatropha 3 filtrée	Huile Tournesol décantée et filtrée	Spécifications DIN et ASTM
Viscosité à 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	36,291±0,051	34,205±0,048	35,752±0,238	34,980±0,018	Max 38
Point d'écoulement (°C)	-3°C	-3°C	-3°C	-6°C	Min -5°C
Point trouble (°C)	–	–	–	–	–
Densité à 25°C (Sonabhy)	0,911	0,9115	0,911	0,9115	0,910-0,930
Point éclair (°C)	–	–	–	–	220°C



**ANNEXE 2: PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES DE COTON ET BELWEET (SUITE)**

Paramètres	Huile Coton	Huile Belweet	Spécifications DIN et ASTM
Viscosité à 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	34,919±0,031	36,846±0,018	Max 38
Point d'écoulement (°C)	0°C	-3°C	Min -5°C
Point trouble (°C)	-	-	-
Densité à 25°C (Sonabhy)	0,9145	0,913	0,910-0,930
Point éclair (°C)	-	-	220°C

**ANNEXE 3: METHODES CARACTERISTIQUES ET RESULTATS SPECIFICATIONS**

<b>ASTM D 1298</b>	<b>Masse volumique à 15°C kg/l Mini 0,820, Maxi 0,890</b>
<b>NF T60 100</b>	Viscosité Cinématique à 37,8C cSt Mini 1,6, Maxi 5,9
<b>NF T60 105</b>	Point de trouble C Maxi +5
<b>NF T60 104</b>	Couleurs Maxi +5
<b>ASTM D 86-123</b>	Distillations Auto D106
<b>Point initial C</b>	Distillé à 357°C %vol Mini 90 Distillé à 362°C %vol Mini 90
<b>CALCUL</b>	Indice de cétane Mini 45
<b>NF M07 019</b>	Point d'éclair Mini 61

## ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'ACIDITE

La méthode adaptée est la norme française NF T60-204 de décembre 1985.

La teneur en acide gras libres des huiles et graisses peut-être exprimée sous deux formes: l'indice d'acide (IA) et le pourcentage en acides gras libres (% AGL), ou acidité oléique (% acide oléique).

Défini comme le nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides gras libres dans un gramme d'échantillon d'huile, l'indice d'acide révèle l'état de conservation de l'huile.

### Réactifs

Eau distillée

Hydroxyde de potassium

Oxyde diéthylique (éther diéthylique)

Ethanol absolu

Phénolphtaléine

Hydrogénophthalate de potassium séché à l'étuve (103C au moins 1heure)

### Matériels

-Balance numérique (précision 0.1 mg)

-Erlenmeyer ou bécher de 100ml

-Burette à robinet de 10ml à 0.02 ml

-Agitateur magnétique et barreau aimanté

### Mode opératoire

Dans un Erlenmeyer de 100ml peser (PE) exactement environ 2g de corps gras homogénéisé, dissoudre la prise d'essai dans environ 40ml du mélange oxyde diéthylique/ éthanol, ajouter 3 gouttes de la solution phénolphtaléine. Titrer, en agitant sur agitateur magnétique avec la solution d'hydroxyde de potassium

jusqu'au virage de l'indicateur (coloration rose persistante durant au moins 10 secondes). Parallèlement et sans corps gras effectuer un essai à blanc; le volume  $V_0$  nécessaire à la neutralisation de la même quantité oxyde diéthylique/ éthanol utilisé lors du titrage du corps gras.

Calculs et expression des résultats

L'acidité exprimée en pourcentage en masse est égale à:

$$(V-V_0) * N * M / 1000 * 100 / PE = (V-V_0) * N * M / (10 * PE)$$

$V$  = volume en ml de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée lors du titrage du corps gras.

$V_0$  = volume en ml de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée lors du dosage à blanc

$N$  = normalité exacte en mol/L de la solution d'hydroxyde de potassium

$M$  = masse molaire en g/mol de l'acide gras adopté pour l'expression des résultats ( $M = 282$  g/mol pour l'acide oléique)

$PE$  = prise d'essai en mg.

Le résultat est la moyenne arithmétique de deux déterminations et l'écart entre deux déterminations ne doit pas excéder 10%

## ANNEXE 5 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'INDICE D'IODE

### Domaine d'application

Cette procédure a pour objet de décrire une méthode titrimétrique de détermination du degré d'insaturation des corps gras d'origine animale ou végétale.

### Documents de référence

Norme Française NF ISO 3961 du 20 juillet 1999

### Principe

Dissolution d'une prise d'essai dans un solvant et addition de réactif de Wijs. Après un temps donné de réaction, addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau et titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

L'indice d'iode s'exprime conventionnellement en grammes d'iode par 100g de corps gras.

### Réactifs

Les produits utilisés sont de qualité minimale « pour analyse ».

4.1 Chloroforme

4.2 Liqueur de Wijs

4.3 Thiosulfate N/10

4.4 Indicateur d'iode (ou empois d'amidon)

4.5 Iodure de potassium, solution à 100g/L, exempte d'iode libre et d'iodate

4.6 Eau distillée

### Matériel

5.1 Balance analytique

5.2 Ballons rodés de 250mL secs

5.3 Epruvette de 50mL

5.4 Fioles jaugées de 100 et 500mL parfaitement sèches

### 5.5 Agitateur magnétique et barreau aimanté

### 5.6 Burette à robinet de 25mL

Mode opératoire

Peser la prise d'essai à 0,2g près.

#### **Détermination**

Introduire la prise d'essai dans un ballon rodé de 250mL. Ajouter 15mL de solvant pour dissoudre la matière grasse. Ajouter exactement 25mL de réactif de Wijs, boucher le ballon, agiter doucement et le placer à l'obscurité pendant au moins 1 heure (2 heures pour les indices d'iode présumés supérieur à 150).

Préparer un blanc de la même façon avec le solvant et le réactif mais sans la prise d'essai.

Après ce temps, ajouter 20 mL de la solution d'iodure de potassium et 150mL d'eau dans chaque ballon. Ajouter un peu d'indicateur d'iode.

Titrer avec la solution titrée de thiosulfate de sodium jusqu'à décoloration du mélange.

#### **Nombre de déterminations**

Effectuer deux déterminations par échantillon

#### **Expression des résultats**

L'indice d'iode est donné par l'équation :

$$\frac{12.69.c.(V_1 - V_2)}{m}$$

Où

$c$  est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée de thiosulfate de sodium (4.3) utilisée.

$V_1$  est le volume, en millilitres, de la solution titrée de thiosulfate de sodium utilisée pour l'essai à blanc.

$V_2$  est le volume, en millilitres, de la solution titrée de thiosulfate de sodium. Utilisée pour la détermination.

$m$  est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique des deux déterminations, si les conditions de répétabilité (9) sont remplies.

## ANNEXE 6 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DE L'INDICE DE SAPONIFICATION

### Définition

La méthode utilisée est normalisée (NF T 60-206, 1990). L'indice de saponification est la quantité de potasse nécessaire (nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium) nécessaire pour transformer en savons les acides gras libres ou estérifiés présents dans une huile, elle dépend de la longueur moyenne des chaînes grasses des acides la composant. Elle est d'autant plus grande que les chaînes sont plus courtes. La détermination de cette quantité est donc un moyen d'évaluer la longueur des chaînes grasses d'une huile ou d'une graisse.

Si cette huile contient en quantité notable des constituants insaponifiables (hydrocarbures, alcools, stérols...), leur présence se traduira par une diminution significative de la quantité de potasse nécessaire à la saponification. Cette méthode est donc une première approche de la détermination de la structure des huiles.

### Prise d'essai

On pèse, à 5mg près, environ 2g d'échantillon pour essai dans un ballon rôdé.

### Mode opératoire

On ajoute à la prise d'essai 25 ml de la solution éthanolique d'hydroxyde de potassium et quelques pierres ponce, et on fait bouillir doucement au reflux, en agitant de temps en temps, pendant 60mn, on ajoute à la solution, chaude, 1ml de la solution de phénolphtaléine (solution à 10g/L dans l'éthanol à 95% (v/v) et on titre avec la solution titrée d'acide chlorhydrique (HCl = 0,5mol/L) jusqu'à ce que la couleur rose de l'indicateur disparaisse. Un essai à blanc est effectué parallèlement en suivant le même mode opératoire. Deux essais sont effectués sur le même échantillon pour essai.

### Calcul et Expression des résultats

L'indice de saponification  $I_s$  est donné par la formule :

$$I_s = [(V_0 - V_1) \times C \times 56, 1] / m$$

Où

$V_0$  est le volume, en ml de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée pour l'essai à blanc

$V_1$  est le volume, en ml de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée pour la détermination

C est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée



M est la masse, en gramme, de la prise d'essai.

Le résultat donné avec une décimale est la moyenne arithmétique des deux déterminations.

## ANNEXE 7 : PROTOCOLE DE DETERMINATION DU TAUX DE SEDIMENTS

### Principe

Dans une cartouche d'extraction en matière réfractaire, une prise d'essai est extraite avec du toluène chaud jusqu'à ce que le résidu atteigne une masse constante.

### Produits et réactifs

Méthylbenzène (toluène) ( $C_6H_5CH_3$ ), ou éther de pétrole (à cause de la toxicité du toluène qui est un composé benzénique) conforme à la qualité 2 de l'ISO 5272.

### Mode opératoire

Placer dans la cartouche d'extraction une prise d'essai de 10 g environ aussitôt après avoir agité l'échantillon de laboratoire. Ne pas essayer de prélever une prise d'essai d'une masse prédéterminée exacte.

Peser la cartouche et la prise d'essai à 0,01 g près. Ajouter 150 ml à 200 ml de toluène) dans le flacon, placer la cartouche dans l'appareil d'extraction, placer sur la source de chaleur et procéder à l'opération d'extraction avec du toluène chaud et la continuer durant 30 min après que le solvant tombant de la cartouche soit incolore.

Vérifier que l'allure de l'extraction est telle que la surface du mélange de pétrole brut ou fuel-oil et de toluène dans la cartouche se maintienne à environ 20 mm du bord supérieur.

Lorsque la teneur en eau de l'échantillon est connue, ou que l'on soupçonne qu'elle soit au-dessus de 10 % (V/V), utiliser le montage représenté à la figure en dessus).

Quand l'extraction est terminée, sécher la cartouche durant 1 h dans l'étuve, la laisser refroidir durant 1 h dans l'enceinte et la peser à 0,1 mg près.

Répéter l'extraction, en laissant le solvant s'écouler de la cartouche durant 1 h au moins, mais pas plus de 1 h 15 min. Ensuite, sécher, laisser refroidir et peser la cartouche. Répéter cette extraction par périodes de 1 h, s'il y a lieu, jusqu'à ce que la masse de la cartouche séchée augmentée de celle des sédiments ne diffère pas de plus de 0,2 mg entre deux extractions successives.

### Calculs

Calculer la teneur en sédiments,  $S$ , en pourcentage en masse, à l'aide de l'équation suivante:

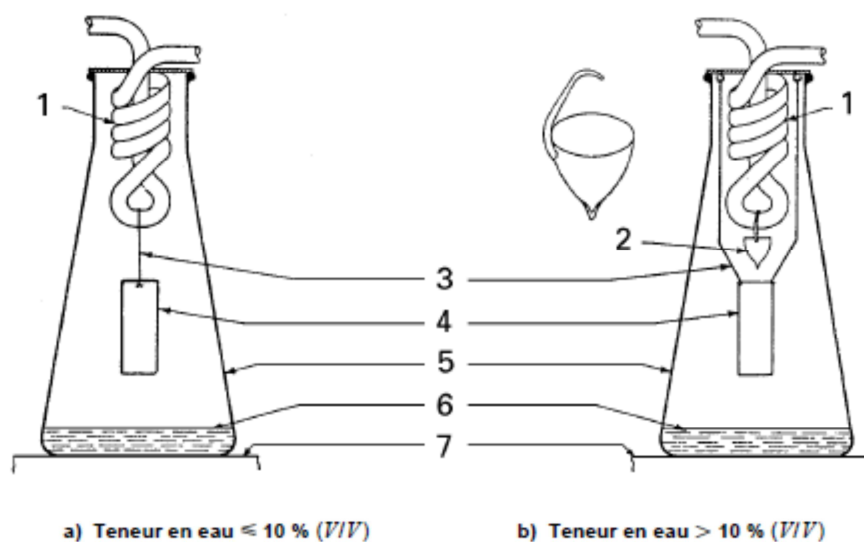
$$S = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

Où

$m_1$  est la masse, en grammes, de la cartouche;

$m_2$  est la masse, en grammes, de la cartouche et de la prise d'essai;

$m_3$  est la masse, en grammes, de la cartouche et des sédiments.



**Légende**

- 1 Réfrigérant
- 2 Coupelle à eau
- 3 Fil
- 4 Cartouche d'extraction dans son panier
- 5 Récipient d'extraction
- 6 Solvant
- 7 Dessus de plaque chauffante

## ANNEXE 8 : DETERMINATION DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR ET CALCUL DU POUVOIR CALORIFIQUE INFERIEUR

### Mode opératoire

Peser à 0.1mg près dans la coupelle, une capsule de gélatine vide et noter la masse ( $m_{cap}$ ).

Introduire dans la capsule, avec l'aide d'une pipette Pasteur, une masse d'huile permettant d'obtenir une élévation de température de 1 à 2 C (entre 0.4 et 0.8 g d'huile)

Bien agiter l'huile avant le prélèvement afin d'avoir une phase homogène et l'introduire dans la capsule!!!  
.Noter la masse de l'ensemble capsule et huile. Placer la coupelle sur son support et relier les 2 bornes de la bombe par un fil d'allumage de longueur ( $L_i = 11\text{cm}$ ) et de chaleur de combustion connus (2.3 cal/cm). Ce fil devra être en contact avec la capsule contenant l'huile. Ajuster le couvercle et le visser sur le corps de la bombe. Charger avec précaution la bombe en oxygène jusqu'à une pression de 25 bars. Introduire dans le vase calorimétrique une quantité d'eau suffisante pour immerger la face supérieure du couvercle de la bombe. La température de l'eau doit être stable et comprise entre 19 et 21C. Cette quantité, vérifiée par pesée, doit être la même à 1g près que celle utilisée au cours de l'étalonnage de la bombe calorimétrique pour la détermination de la capacité calorifique effective. Elle sera de 2 000g. Placer la bombe dans le vase calorimétrique et celui-ci dans la jaquette, établir les connexions, ajuster le thermomètre et mettre l'agitateur en marche. Ajuster la température de la jaquette (bouton « cold/manual control/hot ») de manière à ce qu'elle soit égale à  $\pm 0.01^\circ\text{C}$  près à celle du vase calorimétrique et attendre 3 minutes. Noter la température initiale ( $T_i$ ) et lancer la combustion en appuyant sur le bouton « ignite ».

Surveiller l'élévation de température du vase toutes les minutes jusqu'à ce que 3 lectures successives soient identiques. Noter cette température comme température finale ( $T_f$ ). Les observations thermométriques seront lues à  $0.001^\circ\text{C}$  au moyen d'un dispositif donnant cette précision (loupe).

Retirer la bombe du calorimètre, la laisser reposer pendant 2 minutes, réduire lentement la pression à l'aide de la soupape située sur le dessus de la bombe jusqu'à la pression atmosphérique et ouvrir la bombe. Vérifier si la combustion est complète, c'est-à-dire s'il n'y a pas de dépôt de suie à l'intérieur de la bombe ou de traces de carbone résiduel sur les parois de la coupelle. Mesurer et noter en cm la longueur du fil d'allumage métallique qui n'a pas brûlé ( $L_f$ ). Rincer soigneusement l'intérieur de la bombe et du couvercle avec un peu d'eau distillée.

## Expression de résultats ou Calculs

A) La valeur du pouvoir calorifique supérieur est mesurée à partir de la formule suivante :

$$PCS_{huile} = \frac{(4,1855 \times E \times \Delta T) - (4,1855 \times 2,3(L_i - L_f) - (4,1855 \times m_{cap} \times PCS_{cap}))}{m_{huile}}$$

$PCS_{huile}$  en (J/g)

Avec :

E (cal/C) : Étalonnage pour pouvoirs calorifiques. E est calculé en faisant au moins 5 déterminations concordantes du pouvoir calorifique supérieur de l'acide benzoïque de qualité « étalon pour calorimétrie ». E a été calculé au laboratoire et sa valeur est de 2460 cal/C (voir annexe).

$\Delta T (=T_f - T_i)$  : différence entre la température initiale et la température maximale en °C.

$2.3 \cdot (L_i - L_f)$  (cal) : correction due à la chaleur de combustion du fil d'allumage :  $2.3 \text{ cal/cm} \times \text{cm fil brûlés}$

$m_{cap}$  (g) : masse de la capsule de gélatine vide.

$PCS_{cap}$  (cal/g) : pouvoir calorifique de la capsule vide. C'est la moyenne de trois mesures faites avec le calorimètre.  $PCS_{capsule} = 5059 \text{ cal/g}$

Le pouvoir calorifique supérieur à volume constant sur un échantillon anhydre est égal à :

$$\frac{PCS \times 100}{100 - h_i}$$

$h_i$  : humidité de l'échantillon sec à l'air en pourcentage sur masse humide.

On prendra : -  $h_{i \text{ huile jatropha}} = 0,075\%$

-  $h_{i \text{ gasoil}} = 0,0\%$

Le PCI se déduit, par le calcul, du PCS en connaissant le nombre de molécules d'eau formées et la chaleur dégagée par le passage de l'état de vapeur d'eau à l'état liquide à la température initiale.

On admet généralement pour un produit anhydre la formule moyenne approchée suivante :

$$\text{PCI anhyd} = \text{PCS anhydre} - (2508 \cdot 9H/100)$$

H étant le % massique anhydre d'hydrogène dans le combustible. On prendra H=12,5% pour l'huile de Jatropha et pour le gasoil, 6,5% pour le tourteau de Jatropha et 2,0% pour le charbon de bois.

2508 kJ/kg est la valeur de la chaleur latente de condensation de l'eau à 0°C

Dans la pratique, le PCI d'un corps varie dans de fortes proportions suivant son degré d'humidité. La quantité de chaleur fournie diminue quand la teneur en eau du biocombustible augmente.

La formule suivante peut être utilisée pour le calcul du PCI en fonction de son humidité :

$$P_e = P_0 \times \frac{100 - h_i}{100} - 25,08h_i$$

$h_i$  % eau dans l'huile (sur base humide)

$P_e$ , PCI à l'humidité  $h_i$  (J/g)

$P_0$ , PCI sur combustible anhydre (J/g)

ANNEXE 9 : PAPIER FILTRE UTILISE

**REFERENCE 105 – FILTRATION MOYENNE**

Filtres à base de cellulose pure avec une qualité garantie alimentaire en 57g/m<sup>2</sup>. Filtres spécifiques pour les analyses qualitatives. Recommandés pour les laboratoires de recherches et d'analyses, les centres hospitaliers, les laboratoires des industries alimentaires, pharmaceutiques, chimiques, l'œnologie, etc....

**RAME VELIN N105**

Papier à filtrer vélin blanc d'un grammage = 57g/m<sup>2</sup>, produit en feuilles à plat. Pour tous travaux de laboratoire, conditionnement, essuyage etc....



Sur stock, ils sont toujours disponibles en format 42 x 52, en rames de 500 feuilles.

ANNEXE 10 : PHOTOS DES HUILES DE COTON ET BELWEET

