

## DEDICACE

*À Mon Dieu et Mon Roi à qui reviennent toute la gloire  
et*

*A*

*Mon feu père, Wouado NIBA*

*Mon grand-frère Kebba WOUADO*

*Ma mère Massalet,*

*Ma maman Ehjolbo Brigitte*

*Mes frères et sœurs*

*Mes amis et proches*

*Je vous dédie ce mémoire*

## REMERCIEMENTS

Je remercie vivement mon directeur de mémoire le Dr. Joël BLIN, et le Pr. Yézouma COULIBALY, chef de l'UTER en Génie énergétique et industriel, pour la confiance qu'ils m'ont témoigné tout au long de ce travail et pour l'intérêt qu'ils ont toujours manifesté pour ce sujet.

Je remercie vivement, et exprime mon plus profond respect pour Mr Francis SIMPORE d'être présent à ce jury.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur le Directeur Générale de la SONABHY pour sa franche collaboration avec le 2iE en m'accordant le stage à la SONABHY.

Mes vifs remerciements à Monsieur le Directeur Technique de la SONABHY pour sa marque de sympathie et par qui toutes choses me furent facilitées au dépôt de Bingo.

J'exprime ma profonde gratitude à mes encadreurs de stage : Monsieur Alpha Aliou B.DIALLO, Chef de Service Laboratoire de la SONABHY et Monsieur Mamadou Keita du Service Laboratoire pour leur disponibilité tout le long de mon stage et surtout pour leur accueil très chaleureux au sein du Laboratoire où bon nombre des essais furent réalisés.

Mille pensées à l'endroit de Monsieur Mamadi CAMARA, co-gérant de la Green oil, pour la fourniture des différentes qualités d'huiles de coton, qui ont servis d'échantillons à nos expérimentations.

Merci encore au corps professoral du 2iE qui a dû, durant les trois années, déployer tout son talent pour m'instruire.

Je remercie mes collègues de la Promotion, amis et frères, pour les moments passés ensemble, pour l'esprit de solidarité et de partage dont ils ont su faire montre.

Et merci à tous ceux qui, à leur façon, à un moment donné, m'ont apporté leur aide.

## SOMMAIRE

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS .....	II
SOMMAIRE.....	III
RESUME.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
CHAPITRE I :GENERALITE .....	10
I. Introduction .....	10
II. Objectifs de l'étude .....	12
III. Etats de lieux sur les biocarburants .....	12
III.1 Définition.....	12
III.2 Catégories de biocarburants.....	12
III.2.1 <i>lcool</i> .....	
III.2.2 <i>Les esters</i> .....	13
III.2.3 <i>Les huiles végétales carburants</i> .....	13
III.3 Différentes filières biocarburants .....	13
III.3.1 <i>Filière éthanol</i> .....	13
III.3.2 <i>Filière des huiles végétales avec l'EMHV éthanol</i> .....	14
III.4 Aspect environnemental .....	14
IV. Justification de l'étude .....	15
V. Méthodologie .....	16
V.1 Recherche documentaire.....	16
V.2 Expérimentation.....	16
VI. Présentation de la SONABHY .....	17
CHAPITRE II :UTILISATION DES HUILES VEGETALES COMME BIOCARBURANT.....	21
I. Introduction .....	21
II. L'huile végétale carburant dans le monde .....	21
II.1 Législations sur les huiles végétales carburants dans le monde .....	23
II.2 L'huile végétale carburant en Afrique .....	24
II.2.1 <i>L'huile d'algues</i> .....	24
II.2.2 <i>L'huile de coton</i> .....	24
II.2.3 <i>L'huile d'arachide</i> .....	25
II.2.4 <i>L'huile de Maïs</i> .....	25
II.2.5 <i>L'huile de palme</i> .....	25
II.2.6 <i>L'huile de colza</i> .....	26
II.2.7 <i>L'huile de coprah</i> .....	26
II.2.8 <i>L'huile de tournesol</i> .....	26
II.2.9 <i>L'huile de soja</i> .....	26
II.2.10 <i>L'huile de jatropha</i> .....	27
III. Propriétés physiques et chimiques des HVC.....	28
III.1 Composition chimique.....	28
III.1.1 Les acides gras.....	29
III.2 Caractéristiques chimiques .....	30
III.2.1 Teneur en soufre (S) .....	30

III.2.2	Teneur en phosphores (P).....	31
III.2.3	Teneur en cendre .....	31
III.2.4	Teneur en eau .....	31
III.2.5	Indice d'acide (ou acidité oléique).....	31
III.2.6	Indice d'iode .....	32
III.2.7	Indice de peroxyde .....	32
III.2.8	Corrosion sur cuivre.....	33
III.2.8	Stabilité à l'oxydation 110 °C .....	34
III.3	Corps étrangers contenus dans les huiles végétales et altération.....	34
III.3.1	Eau et matières volatiles.....	34
III.3.2	Impuretés: .....	34
III.3.3	Cendre: .....	35
III.3.3	Mucilages : .....	35
III.3.4	Savons.....	35
III.3.5	Altération importante : l'acidité .....	35
III.4	Caractéristiques physiques .....	35
III.4.1	Viscosité .....	35
III.4.2	Densité .....	36
III.4.3	Point éclair .....	36
III.4.4	Pouvoir calorifique.....	36
III.4.5	Indice de cétane .....	37
III.4.6	Contamination .....	37
III.4.7	Couleur .....	38
IV.	Justification de l'importance de la nature des huiles végétales sur les qualités du carburant .....	40
V.	Normalisation de l'huile végétale.....	41
VI.	Utilisation des huiles végétales dans les moteurs Diesel .....	43
VI.1	La filière courte .....	43
VI.2	La filière ester méthyles .....	45
VI.3	Contraintes d'utilisation des Huiles végétales comme carburant dans les moteurs diesel .....	45
VI.3.1	problèmes liés à la nature physique des huiles végétales.....	45
VI.3.1	Problèmes liés à la nature chimique.....	46
VI.4	Solutions techniques.....	47
VI.4.1	Les modifications des moteurs .....	47
VI.4.1.1	Les moteurs à injection indirecte.....	47
VI.4.1.2	Les moteurs à injection directe (ancienne génération) .....	49
VI.4.1.3	Les moteurs à injection directe haute pression (nouvelle génération).....	50
<b>CHAPITRE III : ETUDES EXPERIMENTALES SUR LES HUILES DE COTON ET ANALYSES DES RESULTATS .....</b>		<b>52</b>
I.	Introduction .....	52
II.	Les différentes qualités d'huile de coton .....	52
III.	Descriptions des méthodes analytiques utilisées – analyses des résultats.....	54
III.1	Viscosité .....	54
III.2	Densité.....	56
III.3	Teneur en sédiments .....	58
III.4	Teneur en eau.....	60
III.6	Indice de cétane .....	61

IV. Conclusion :.....	63
V. Orientation de la recherche expérimentale .....	64
CONCLUSION GENERALE .....	66
BIBLIOGRAPHIE .....	68
ANNEXE.....	71

## Liste des sigles et abréviations

AIE	Agence Internationale de l'Energie
ASTM	American Society for Testing and materiel
CFDT	Compagnie Française pour le Développement du fibre Textile
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CMDT	Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles
DAGRIS	Développement des Agro-industries du SUD
DDO	Distillate Diesel Oil
DMA	Density Meter Analyser
DOE	Department Of Energy (États-Unis)
EMHV	Esters Méthyliques d'Huiles Végétales
ETBE	Ethyltertiobutyléther
HV	Huile Végétale
HVP	Huile Végétale Pure
HVC	Huile Végétale Carburant
ISO	International Organization for standardization
N.P.A	National Petroleum Association.
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur
SN-CITEC	Société Nouvelle huilerie savonnerie CITEC
SONABHY	Société Nationale Burkinabè d'Hydrocarbure
USDA	Union des Sucreries et Distilleries Agricoles
UE	Union Européenne.

## Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Caractéristiques carburants de quelques huiles comparées avec le gazole

**Tableau 2 :** pourcentage en composition chimique des huiles végétales et du gasoil

**Tableau 3 :** comparaison entre les PCI volumiques de l'huile de coton et du gasoil

**Tableau 4 :** valeurs de l'indice de cétane pour différentes qualités d'huile de coton

## Liste des photographies

**Photo 1 :** les deux qualités d'huiles.

**Photo 2 :** Viscosimètre plongé dans le bain thermostaté.

**Photo 3 :** densimètre DMA38.

**Photo 4 :** appareil d'extraction pour la détermination de la teneur en sédiments.

**Photo 5 :** montage de l'appareil de distillation sur le dispositif de chauffage.

**Photo 6 :** Distillateur automatique.

## Liste des figures

**Figure 1 :** Organigramme de la SONABHY

**Figure 2 :** Structure du triglycéride

### Courbe

**Courbe :** variation de la viscosité en fonction de la température

### Annexes

**Annexe 1 :** Résultats des analyses : viscosité, densité, teneur en eau et teneur en sédiments

**Annexe 2 :** Protocole d'analyse pour la détermination de la viscosité cinématiques des HV

**Annexe 3 :** Protocole d'analyse pour la détermination de la densité des HV

**Annexe 4 :** Protocole d'analyse pour la détermination de la teneur en sédiments dans les HV

**Annexe 5 :** Protocole d'analyse pour la détermination de la teneur en eau des HV

**Auteur** : WOUADO Waïdjolbé

**Encadreur** : Joël BLIN

Année 2007

**CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES HUILES VEGETALES POUR  
APPLICATION COMME BIOCARBURANT**

**Mots clés** : Biocarburant, énergie, huiles végétales pure (HVP), moteurs diesel, normes  
Méthodes analytiques, caractérisation

**Key word**: Biofuel, vegetable oils, diesel engines; norms, analytic methods, Characterization

## **RESUME**

Dans un contexte où l'énergie est devenue indispensable au fonctionnement de l'économie et devant la déplétion des énergies fossiles, la recherche d'alternatives énergétiques devient une préoccupation majeure à l'échelle mondiale.

Les huiles végétales font de plus en plus l'objet d'une considération en tant que carburant que ce soit dans les pays du Sud comme dans ceux du Nord.

Tout type d'huile végétale peut à priori être utilisé comme carburant dans les moteurs diesel. Cependant des problèmes ont été observés lors de leur utilisation : corrosion, oxydation, et encrassement dans les moteurs. Afin d'éviter ces problèmes, les huiles doivent être très propres, sans particules et contenir peu de gommes et d'eau.

De nos jours il n'existe pas de normes attestant de la qualité des huiles végétales comme carburant, ce qui, du coup limite leur utilisation dans les moteurs thermiques.

Il est essentiel pour que l'utilisation des huiles végétales comme carburant puisse se développer de mettre au point des protocoles d'analyses et des normes qui garantissent de la qualité des huiles.

Dans le cadre d'une collaboration entre la SONABHY, le 2IE, et le CIRAD, des tests sur les différentes qualités d'huiles de coton (brute et raffinée) ont été réalisés au sein du laboratoire de la SONABHY. Ce travail a consisté à développer des méthodes analytiques simples pour la détermination des paramètres de caractérisation des huiles végétales : teneur en sédiments, teneur en eau, viscosité, densité.

Ces protocoles ont l'avantage d'être simples et rapides à mettre en œuvre comparativement à ceux utilisés en Europe pour caractériser les huiles qui sont très complexes et onéreuses, basés sur les méthodes appliquées aux produits pétroliers.

Ces protocoles feront par la suite l'objet d'une proposition, comme projet de norme, pour les pays africains et autres continents.

**Nombres totales de pages : 70**

## **ABSTRACT**

In a context where the energy is indispensable to the working of the economy and with fossil energy decreasing, an energy alternative research has become a major concern on a world scale.

The vegetable oil is more and more an object of a consideration as alternative fuel in Southern countries as well as in Northern countries.

All types of vegetable oils can be used as fuel in Diesel engines. However, some problems have been observed: corrosion, oxidation, and clogging in the motors. In order to avoid these problems, oils must be very clean, without particles and contain little gum or water.

Nowadays norms testing the vegetable oil quality as fuel don't exist, thus limiting their use in diesel motors.

It is essential to finalize analytical protocols and norms that guarantee the quality of oils so that vegetable oil can be used as fuel.

In the setting of collaboration between SONABHY, 2IE, and CIRAD, tests on the different qualities of cotton oils (raw and refined) have been achieved within the laboratory of SONABHY. This work consists of developing simple analytic methods for the determination of parameters to characterize vegetable oils: sediment content, water content, viscosity, density.

These protocols have the advantage of being simple and quick to carry out, comparatively to those used in Europe. Here tests that characterize the oil are very complex and costly based on the methods applied to the oil products.

These protocols will be the object of a proposal thereafter, as project of norm, for African' countries and other continents.

## CHAPITRE I : GENERALITE

### I. Introduction

La croissance significative de la demande en énergie que connaît le monde, conduira irrésistiblement à la consommation accrue d'énergies fossiles<sup>1</sup>. Une telle évolution pose un certain nombre de problèmes :

- Une augmentation des émissions de gaz à effet de serre responsable d'importants changements climatiques.
- Une raréfaction des ressources conventionnelles et une forte dépendance vis-à-vis des pays producteurs de pétrole.

Ainsi s'impose la question du développement de technologies ou de systèmes énergétiques plus durables. Une multitude de solutions ont fait l'objet de travaux de recherche et développement, la finalité étant de combiner diminution de la dépendance au pétrole et réduction de l'impact sur l'environnement, notamment en termes de rejets de gaz à effet de serre.

Ces travaux portent aussi bien sur l'amélioration des solutions traditionnelles avec l'objectif de réduire la consommation des véhicules, que sur la recherche de solutions alternatives tant en termes motorisation que de carburants (gaz naturel, biocarburants, hydrogène) [1].

Parmi les solutions étudiées, les biocarburants offrent des perspectives ; leur utilisation en mélange dans les carburants traditionnels permet d'envisager un gain sur les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre, notamment dans le secteur du transport.

Les avantages d'un développement des filières biocarburants sont nombreux :

- Les filières biocarburants peuvent avoir un impact positif sur la balance commerciale : substitution des produits importés avec des produits fabriqués sur le territoire national ou dans la zone communautaire.
- La production de biocarburants offre pour l'agriculture un double débouché : alimentaire et énergétique ; ce qui contribue ainsi à accroître les sources de revenus

---

<sup>1</sup> La demande pétrolière de la planète continue à s'accroître : de 1,7 à 1,8 % par an en moyenne sur les 25 à 30 prochaines années selon le scénario tendanciel de l'AIE [2], de l'UE [3] ou du DOE

possibles pour le monde rural, favorisant le maintien ou le développement de l'emploi en milieu rural

En Europe, les biocarburants bénéficient d'un renouveau du soutien des pouvoirs publics qui a abouti à l'élaboration d'objectifs de consommation très ambitieux : 5,75 % (pourcentage en énergie) en 2010 et 8% en 2020 de la consommation des carburants dans les transports pour l'Europe et de 4% en 2010 à 20 % en 2030 de la consommation des carburants dans les transports aux Etats-Unis[4] . Néanmoins, la réalisation de ces objectifs, qui représentent une véritable rupture, ne se fera pas sans difficultés :

- concurrence avec le secteur alimentaire pour l'usage des terres.
- valorisation des coproduits générés.

## **II. Objectifs de l'étude**

La présente étude vise à développer l'utilisation des huiles végétales comme carburant par la mise au point des protocoles d'analyses et des normes garantissant de la qualité de ces huiles. En effet l'inexistence de normes pour attester de la qualité des huiles destinées à la carburation demeure un facteur limitant pour l'utilisation des huiles végétales dans les moteurs. Le travail sera donc axé sur le développement de protocoles simples permettant d'estimer rapidement la qualité d'une huile (teneur en sédiments, teneur en eau viscosité, densité indice de cétane...). Une fois établis, ces protocoles feront l'objet d'une proposition, comme projet de norme, pour les pays Africains et autres continents.

Des tests sur deux qualités d'huiles de coton (brute, raffinée) seront menés en collaboration avec la SOHABHY au sein de leur laboratoire d'analyse.

## **III. Etats de lieux sur les biocarburants**

### **III.1 Définition**

Les biocarburants sont des carburants d'origine végétale issus de la biomasse (d'où le surnom de « carburants verts »). On les produit à partir de déchets végétaux ou de plants cultivés dans ce but. Ils possèdent des propriétés similaires au pétrole et peuvent parfois s'employer dans des moteurs diesel ou des moteurs à essence ; ils se substituent partiellement ou totalement aux carburants pétroliers. Les biocarburants ne doivent pas être confondus avec les biocombustibles. Les premiers servent à alimenter un moteur, tandis que les seconds servent à produire de la chaleur.

### **III.2 Catégories de biocarburants**

Il existe 3 grandes catégories de biocarburants à savoir l'alcool, les esters et les huiles végétales.

#### **III.2.1 Alcool**

Connus également sous le nom de bioéthanol, il est obtenue par fermentation des sucres extraits des plantes riches en sucres (betteraves, topinambours, canne à sucre...) ou en amidon (pomme de terre, maïs, manioc) ou encore dans les plantes ligneuses (bois, paille...). Pour éliminer les difficultés techniques liées au stockage de l'éthanol, celui-ci est

converti par une réaction chimique en un éther dérivé de l'éthanol : l'ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther). [5]

### **III.2.2 Les esters**

Les esters sont issus du mélange avec un alcool d'huile de graines oléagineuses (obtenue par pressage du colza et du tournesol). La réaction obtenue produit un Esther et de la glycérine. Cet esther est nommé " diester " par contraction des mots diesel et Esther.

Le Diester est en fait issu de la transformation des huiles végétales en question, selon une réaction physico-chimique appelée transestérification. Cette transformation chimique est l'étape indispensable pour obtenir un produit stable, homogène et de qualité régulière.

Les pétroliers exigent, en effet, des garanties sur le produit qu'ils incorporent dans leur gazole. Dans les usines, la graine de colza ou de tournesol est donc triturée (pressée) pour en extraire l'huile. Cette huile est ensuite partiellement raffinée avant d'entrer en réaction avec de l'alcool méthylique (ou méthanol) [5].

### **III.2.3 Les huiles végétales carburants**

Cette partie sera développée au chapitre 2

## **III.3 Différentes filières biocarburants**

Les biocarburants sont des carburants obtenus à partir d'une matière première végétale (biomasse). Il existe deux grandes filières de production des biocarburants : la filière éthanol qui comprend l'éthanol et l'ETBE (éthyl tertio butyl éther) pour les véhicules essence et la filière des huiles végétales avec l'EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales) pour les véhicules diesel.

### **III.3.1 Filière éthanol**

L'éthanol est le biocarburant dont l'usage est le plus répandu, sa production s'élevant à environ 19 million de tonnes en 2003 obtenue pour l'essentiel au Brésil et aux États-Unis. La production d'EMHV a été de l'ordre de 1,6 million de tonnes en 2003, réalisée pour l'essentiel en Europe. [4]

L'éthanol peut être utilisé pur, en mélange ou bien encore sous sa forme d'éther (ETBE), produit par réaction avec de l'isobutène issu des raffineries. L'usage de l'éthanol pur ou en très forte concentration (par exemple 85 % ou E85) nécessite une adaptation spécifique du véhicule (systèmes d'injection, réglages moteur, compatibilité des plastiques et des joints, stratégies spécifiques pour le démarrage à froid pour l'éthanol pur). En revanche, à des teneurs plus faibles, aucune adaptation n'est nécessaire. Il peut être utilisé à des teneurs variant de 5 à 10 % comme aux États-Unis. C'est généralement sous forme de mélange à des teneurs relativement faibles que l'éthanol est utilisé (de 5 à 10 %) [4].

### **III.3.2 Filière des huiles végétales avec l'ester méthylique d'huiles végétales éthanol**

Les EMHV sont produits à partir d'huiles végétales issues par exemple de colza, de tournesol, de soja ou même de palme. Dans le cas où l'huile provient du broyage de graines (Colza, soja, tournesol), un résidu solide (le tourteau) est produit (1 à 1,5 tonne de tourteau/tonne d'huile). Il est généralement réservé à l'alimentation animale. Inadaptées à l'alimentation directe des moteurs diesels modernes, les huiles végétales doivent être transformées en une opération de transestérification avec un alcool, aujourd'hui le méthanol, qui donne les esters méthyliques d'huiles végétales et de la glycérine (0,1 tonne de glycérine/tonne d'EMHV). Le rôle de ce coproduit dans la valorisation finale de la filière est donc loin d'être négligeable [5]. Une fois encore dans le cas d'une production massive d'EMHV, une attention particulière devra ainsi être portée à l'évolution du marché de la glycérine, relativement limité (la production mondiale est d'environ 0,8 million de tonnes/an dont 100000 tonnes proviennent déjà de la production d'EMHV) [4]. Tout comme l'éthanol, l'EMHV peut être utilisé pur ou en mélange. L'utilisation pure nécessite des adaptations du véhicule, ce qui en limite la diffusion. Aujourd'hui, l'EMHV est principalement utilisé en mélange à des teneurs variant de quelque pourcentage jusqu'à 30 %.

### **III.4 Aspect environnemental**

Les biocarburants permettent une « réduction » non négligeable des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux carburants conventionnels, ce qui constitue l'un de leurs principaux atouts. Mais cette « réduction » est difficile à quantifier avec précision.

Le pourcentage varie selon les études et les filières (de 15 à 90 % avec les biocarburants utilisés purs) [6] et dépend donc des matières premières employées (le gain le plus important est obtenu lors de la transformation en biocarburants de matières lignocellulosiques comme le bois ou les pailles), des quantités d'engrais utilisés, des conditions climatiques, de la qualité des sols et aussi des méthodologies de comptabilisation utilisées. Le plan national "effet de serre" prévoit que les biocarburants représenteront 5,75 % de l'énergie consommée dans les transports routiers dès 2008 :

Cette évolution équivaut à un gain de 7 million de tonnes sur les rejets de CO<sub>2</sub>.

L'utilisation des biocarburants permet aussi de réduire les émissions de certains polluants locaux dus à l'automobile. C'est par exemple le cas des particules avec le biodiesel (de l'ordre de 3 à 5 % pour 5 % de biodiesel incorporé par rapport au gazole), des HC et CO pour l'éthanol (-5 à -10 % par rapport à l'essence). Lorsque l'éthanol est incorporé sous forme d'ETBE, les « réductions » sont comparables (-5 à -10 % par rapport à l'essence) [6].

#### **IV. Justification de l'étude**

Après pressage simple de la biomasse oléagineuse, l'huile obtenue est décantée puis filtrée pour être utilisée directement comme carburant dans des moteurs diesels.

Tout type d'huile végétale peut à priori être utilisé comme carburant dans des moteurs diesel mais en tenant compte de certaines contraintes :

- ✓ La température d'explosion élevée cause parfois des problèmes au démarrage des moteurs.
- ✓ la viscosité à froid est élevée ce qui pose des problèmes mécaniques aux moteurs qui ne sont pas actuellement conçu pour. C'est pourquoi on utilise généralement l'huile en mélange avec du gasoil (10 à 30%). Pour une utilisation pure, l'huile doit être portée à des températures de 65-75 °C, températures auxquelles elle retrouve une viscosité équivalente au gasoil.
- ✓ Les huiles doivent être propres, sans particules et contenir peu de gommes et d'eau pour éviter d'endommager les moteurs, suite à des problèmes de corrosion, oxydation et encrassement. Des solutions techniques existent pour palier aux problèmes de viscosité et de basses températures d'explosion (diminution de la

viscosité par chauffage de l'huile grâce à des réservoirs ou kit d'injecteurs chauffants, la bicarburantion).

Il n'existe pas actuellement de normes pour attester de la qualité d'huiles destinées à la carburantion (en dehors de prénorme allemande), ce qui limite leur utilisation comme carburant. L'huile de mauvaise qualité risque d'endommager les moteurs et les producteurs comme les utilisateurs ne possèdent pas de moyen simple d'attester de la qualité du carburant.

La mise au point des protocoles d'analyses simples permettant d'attester de la qualité des huiles seraient un atout pour la filière. Il est essentiel pour que l'utilisation des huiles végétales comme carburant puisse se développer de mettre au point ou d'adapter des protocoles d'analyses et des normes qui garantissent de la qualité des huiles.

## **V. Méthodologie**

La phase de recherche documentaire a occupée une place capitale dans l'étude suivie d'une phase visite et d'expérimentation à la SONABHY.

### **V.1 Recherche documentaire**

Pour ainsi cerner l'étude, la recherche a consisté à faire une revue bibliographique et des sites web sur les thèmes pertinents tels que :

- Les propriétés physico- chimiques des carburants en générales et des huiles végétales en particulier
- Les problèmes rencontrés dans l'utilisation des huiles végétales dans les moteurs diesel.
- Les normes et procédures attestant de la qualité des carburants dans le moteur Diesel.

### **V.2 Expérimentation**

Des tests sur les huiles de coton seront réalisés en collaboration avec la SONABHY au sein de leur laboratoire d'analyse. Il s'agira dans un premier temps de vérifier si les protocoles utilisés par les carburants diesel sont également applicables pour les huiles végétales. Les tests sur deux (2) qualités d'huiles de coton (brute, raffinée) seront effectués. Pour la

précision des résultats, les tests seront réalisés en double portant sur les mesures des paramètres tels :

la viscosité, la densité, la teneur en sédiments, la teneur en eau, et l'indice de cétane.

Le travail sera bouclé par la rédaction des protocoles pour ces analyses.

## **VI. Présentation de la SONABHY**

Créée le 9 Octobre 1985, la Société Nationale Burkinabè d'Hydrocarbures a pour objet partout sur le territoire du Burkina-Faso :

- L'importation et le stockage des hydrocarbures liquides et gazeux ;
- Le transport, le conditionnement, la commercialisation de ces produits ;
- La construction d'infrastructures de stockage en vue de garantir au Burkina-Faso une sécurité énergétique suffisante ;
- L'appui à la recherche d'énergies de substitution ainsi qu'à la vulgarisation des techniques d'utilisation ou de consommation d'énergie ; et généralement, toutes opérations industrielles, commerciales, financières, mobilières et immobilières se rattachant directement ou indirectement à l'objet ci-dessus.

La SONABHY détient le monopole sur l'importation et le stockage des hydrocarbures. Elle est ainsi le fournisseur des sociétés de distribution.

La SONABHY est placée sous la tutelle technique du ministère chargé du commerce qui veille à ce que l'activité de la société s'insère dans le cadre des objectifs fixés par le gouvernement, sous la tutelle du Ministère chargé des finances qui veille à ce que l'activité de la société aille dans le sens de la politique financière de l'état.

Ci-après, nous trouvons l'organigramme de la SONABHY adopté le 7 Mai 2004.

## ORGANIGRAMME DE LA SONABHY

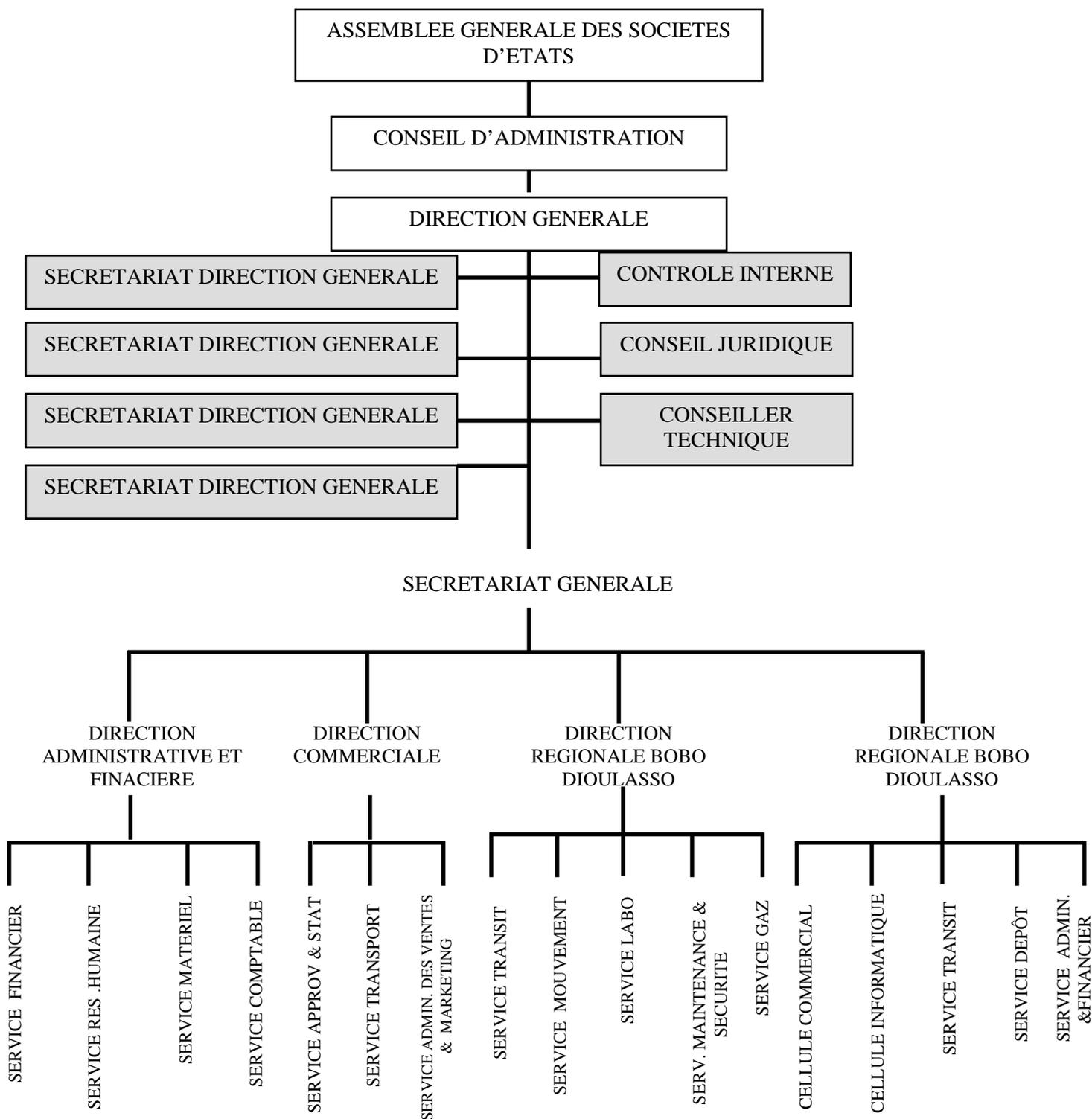


Figure 1 : ORGNIGRAMME DE LA SONABHY

La SONABHY s'approvisionne essentiellement par appel d'offres et par contrats de longue durée auprès de certains fournisseurs disposant de capacités de stockage.

Le transport terrestre des produits pétroliers des terminaux pétroliers (grands dépôts côtiers) vers les dépôts intérieurs burkinabè est effectué par camions-citernes et par trains. Le transport routier est réalisé par des opérateurs privés rémunérés sur la base d'un tarif convenue.

La SONABHY dispose de deux dépôts , dont l'un à Bobo-Dioulasso d'une capacité de 25 000 m<sup>3</sup> d'hydrocarbures liquides et 100 tonnes de gaz butane et l'autre à Bingo ( 32 Km de Ouagadougou ) d'une capacité de 40 000 m<sup>3</sup> et de 800 tonnes de gaz butane .Ces dépôts sont conformes aux normes internationaux en matière de lutte contre l'incendie : réserves d'eau , véhicules incendies entièrement équipés , personnel formé aux techniques de sécurité et de lutte contre l'incendie.

le dépôt de Bingo dispose d'un laboratoire moderne pour la recertification des produits stockés et peut réaliser les analyses suivantes : masse volumique à 15°C , couleur, distillation , auto D86 , résidus , viscosité cinématique à 37,8°C , point d'écoulement , point de trouble , indice de cétane .

C'est à partir de ces dépôts que les sociétés pétrolières de distribution approvisionnent les stations-service sur toute l'étendue du territoire national. Certains produits sont partiellement (DDO et Gasoil) ou totalement (Fuel-oil et carburant aviation JET A1) livrés en droiture (directement au client final après leur enlèvement dans les dépôts côtiers).

La mise en place de la SONABHY a été très bénéfique pour le pays. L'organisation de l'importation, du transport, du stockage et de la commercialisation de produits pétroliers, a été un succès. Souvent cité comme un modèle de société d'approvisionnement dans la sous région, dans le secteur pétrolier, la SONABHY a reçu un satisfécit de la banque mondiale.

Les résultats obtenus par la SONABHY et confirmés par le satisfécit des observateurs indépendants, spécialistes du secteur pétrolier sont pour la direction et le personnel de la

Société, un motif de fierté, mais surtout un encouragement à mieux faire sur ce marché en perpétuel changement.

## **CHAPITRE II : UTILISATION DES HUILES VEGETALES COMME BIOCARBURANT**

### **I. Introduction**

L'huile végétale pure est utilisée comme carburant dans les moteurs diesel en substitution totale ou partielle au gasoil. Elle peut être mise dans le réservoir de voitures ou de moteurs statiques (pour la production d'énergie mécanique ou électrique) ; on la distingue de l'huile minérale, d'origine fossile, utilisée pour la lubrification dans le bloc moteur.

L'huile végétale peut être utilisée (à 100%) comme biocarburant pour tous les moteurs diesel (inventé à l'origine pour ce type de carburant), sous réserve de modifications mineures visant à réchauffer le carburant en question, ou, sans modification, avec un mélange huile végétale-gazole (30% sur tous les véhicules, et jusqu'à 50% selon les cas) [7].

De façon générale, les lipides fournissent des carburants plus adaptés aux moteurs à cycle diesel qu'à ceux utilisant un cycle à allumage commandé (moteurs « essence »).

Les tourteaux (la partie « non lipide » de la matière première utilisée) sont essentiellement utilisés dans l'alimentation animale. Leur valorisation en carburant pourrait se faire par décomposition et récupération de biogaz.

La filière « Huile Végétale Pure » est de loin préférable à la filière biodiesel qui nécessite des opérations plus techniques (production centralisée, bilan énergétique nettement inférieur à la filière HVP).

Il existe de par le monde 2000 plantes oléagineuses, dont sont extraites environ 250 huiles susceptibles de remplacer le gasoil.

### **II. L'huile végétale carburant dans le monde**

Parmi les biocarburants utilisables dès aujourd'hui ou à très court terme, les huiles végétales ont l'avantage d'avoir fait récemment l'objet de nombreux travaux. Les premières expériences d'huile végétale carburant sont attribuées à Rudolf Diesel lui-même lors de l'exposition coloniale de Paris en 1900. Depuis, les huiles végétales tropicales ont fait l'objet d'études, de tests et même d'utilisations massives (seconde guerre mondiale) en fonction des aléas liés aux coûts ou à la disponibilité du pétrole. Mais les grands travaux de

recherche menés dans les années 1950, partout dans le monde sur les moteurs polycarburants n'incluaient pas les huiles végétales qui, donc, n'ont jamais eu le statut de carburant potentiel [8].

Plus récemment, les grands congrès internationaux permettaient de recenser près de 150 tests menés à travers le monde entre 1977 et 1982 [9]. La chute des cours du pétrole en 1985-1986 avait mis un frein au développement des énergies renouvelables et *a fortiori* des huiles végétales, y compris pour un usage en agriculture (circuit court d'autoconsommation).

Aujourd'hui, l'Europe utilise à des fins carburants 1,4 million de tonnes/an d'huiles de colza et de tournesol, essentiellement sous forme d'esters méthyliques. La filière d'utilisation directe d'huile végétale est bien plus réduite : en Europe, par exemple, seule une centaine d'engins agricoles et véhicules légers utilisent quotidiennement des huiles de colza et de tournesol. Mais les choses risquent de changer à très court terme. La récente directive du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne exprime clairement la volonté européenne de promouvoir l'utilisation de biocarburants dans les transports [10]. Cela avec un calendrier explicite : dès 2005, 2 % de biocarburants en substitution, calculés sur la base de la teneur énergétique des produits pétroliers destinés aux transports, et 5,75 % en 2010. Planificateurs, gestionnaires de projets, constructeurs de moteurs et d'équipements vont prendre en compte les spécificités des biocarburants actuels, dont les huiles végétales brutes naturelles.

Dans le monde tropical, on aurait pu penser à l'existence de nombreux exemples d'utilisation faisant références. Il n'en est rien, seules quelques expériences isolées sans réelle dissémination, et parfois en toute confidentialité, peuvent être recensées. Pourtant le potentiel ainsi que le contexte y sont souvent réunis. Le développement des huiles biocarburants, s'il est fortement lié aux coûts locaux des produits pétroliers, dépend beaucoup de l'information diffusée. L'offre technologique actuelle étant quasi inexistante, autant que la demande, l'émergence de projets biocarburants sera la conséquence de la « banalisation » de leur usage en Europe. Les exceptions sont l'huile de coprah et l'huile de pourghère (*Jatropha curcas*).

C'est le Pacifique qui développe aujourd'hui la plus grande dynamique d'usage énergétique de l'huile de coprah, issue de l'amande séchée de la noix de coco (2000 litres d'huile par hectare est un chiffre moyen). Sous l'impulsion du Centre de coopération

internationale en recherche agronomique pour le développement Systèmes agroalimentaires et ruraux (Cirad-Sar), les essais isolés du début des années 1980 ont évolué vers des démonstrations réelles suivies d'une dissémination active depuis 2004.

L'usage pour véhicules est significatif, mais c'est avant tout la génération d'électricité qui motive le plus d'intérêt dans le Pacifique sud. Les sociétés de production d'électricité testent ce biocarburant dans leurs centrales, certaines depuis 1998 [11]. On peut citer : la Nouvelle-Calédonie, Fidji, Vanuatu, Samoa, Marshall... et des projets en Micronésie, Papouasie- Nouvelle-Guinée et Tonga. Le pourghère est une plante vivace, adaptée aux climats humides aussi bien que secs, qui produit des graines donnant une huile non comestible. Ce n'est pas sa première vertu mais elle échappe ainsi au conflit « alimentaire/énergétique ». Selon les conditions agronomiques et climatiques on peut obtenir en culture de plein champ, de 300 à 200 litres d'huile par hectare [12]. Elle est très répandue dans le monde tropical car elle produit des haies naturelles en deux ans. Objet d'intérêt depuis les années 1980, son usage énergétique s'est développé en Afrique de l'Ouest et en Inde.

## **II.1 Législations sur les huiles végétales -carburants dans le monde**

- **En France** l'huile végétale n'est en théorie pas utilisable au même titre que les EMHV et autres biodiesels et diesters. La France ne s'est pas conformée à la directive européenne de 2003 (2003/30/CE) concernant les biocarburants, considérant encore l'usage de l'huile végétale carburant comme illégale pour toute utilisation en dehors d'une exploitation agricole auto-productrice. [7]

- **En Allemagne** l'huile végétale carburant est autorisée appliquant jusqu'au bout l'esprit de la directive européenne de 2003 concernant les biocarburants .on trouve en Allemagne de plus en plus de stations services distribuant de l'huile végétale.

- **En Espagne**, on trouve du biodiesel à de nombreuses stations services. Ce carburant qualifié de non-polluant, contient 70% de gazole accompagné de 30% d'EMHV.

- **En Afrique** : il n'existe pas des textes légiférant l'utilisation des huiles végétales comme carburant. Son utilisation en tant que carburant est encore mal connue du public, car n'ayant pas fait objet de véritables études à part les études faites sur le pourghère en Afrique de l'ouest et aussi sur l'huile de palme. Nous verrons par la suite les huiles qui sont produites en Afrique et susceptibles d'être utilisées comme carburant.

## **II.2 L'huile végétale carburant en Afrique**

La production totale d'huile végétale en Afrique de l'Ouest et du Centre devrait se situer pour 2005- 2006 à un peu plus de 2,3 millions de tonnes. (Source : DAGRIS [13]).

En Afrique les quelques huiles végétales qui pourraient être produites sont :

### **II.2.1 L'huile d'algues**

Des scientifiques américains, japonais, allemands et français recherchent actuellement à produire à l'échelle industrielle du carburant à base d'huile produite par des algues riches en triglycérides. Des études sont aussi menées en Algérie, sur la possibilité d'utiliser l'huile d'algues. Il existe en effet des espèces d'algues microscopiques très riches en huiles (jusqu'à 50% de leur masse). Ces algues sont de véritables centrales biochimiques miniatures capables de fixer le CO<sub>2</sub> et de le transformer d'abord en sucre puis en huile grâce au mécanisme de la photosynthèse et à un équipement enzymatique approprié. Les triglycérides obtenus peuvent être convertis facilement en des molécules utilisables dans les moteurs à combustion. Se prêtant facilement à la culture automatisée dans des bioréacteurs et pouvant se nourrir de nos déchets, les algues microscopiques semblent constituer une option prometteuse. Des obstacles sont cependant à considérer : le prix de production, double de celui des carburants pétroliers, l'approvisionnement en eau et en CO<sub>2</sub>, le traitement des eaux [14].

### **II.2.2 L'huile de coton**

L'huile de coton est peu connue des consommateurs occidentaux ; elle occupe pourtant le cinquième rang mondial de la consommation d'huile alimentaire.

En Afrique de l'Ouest, l'huile de coton représente l'essentiel de la consommation d'huile alimentaire au Mali, au Tchad, au Burkina, au Togo et une proportion importante en Côte d'Ivoire et au Cameroun. En moyenne, 100 kg de coton-graine produisent 10 litres d'huile. Ainsi en Afrique de l'Ouest, on obtient couramment 100 litres d'huile par hectare. Compte tenu de ses rendements en coton-graine, la Chine peut produire 300 litres d'huile par hectare. Par comparaison au colza ou au tournesol, uniquement cultivés pour leur huile, en produisant 1 000 à 1 200 litres par hectare, on réalise l'intérêt de triturer les graines de coton qui ne sont qu'un coproduit de la fibre [8].

Dans un contexte de prix du pétrole élevé et en augmentation, on peut s'interroger sur les opportunités énergétiques de cette huile.

Les sociétés cotonnières, en particulier celles qui sont enclavées, ont compris depuis longtemps l'intérêt d'utiliser une partie de leur huile de coton en substitution du pétrole. Ainsi, depuis 1988, la Compagnie malienne pour le développement des textiles (CMDT) à Koutiala (Mali) et la COTONTCHAD Moundou (Tchad) utilisent dans les moteurs <sup>2</sup> de leurs groupes électrogènes de centrale électrique plusieurs centaines de tonnes d'huile de coton par an. [15] .

Le groupe français Dagrís cherche à diversifier l'utilisation de sa production cotonnière au Burkina. D'ici à mi-mai 2007, l'entreprise compte ouvrir – par l'intermédiaire de sa filiale SNCitec- un site pilote spécialisé dans l'expérimentation bioénergétique à Bobo-Dioulasso. L'unité sera capable de produire 3 000 tonnes par an de biodiesel, carburant mélangeant gazole et huile de graine de coton. Si les résultats sont probants, Dagrís envisage de créer une usine capable de produire entre 10 000 et 20 000 tonnes par an de biocarburant. [5]

### **II.2.3 L'huile d'arachide**

C'est une huile claire très polyvalente, ne nécessitant pas de raffinage pour pouvoir être cuite sans risque cancérigène. Par contre, figeant à des températures trop hautes (son point trouble serait à 13°C) elle ne pourrait être utilisée sans précaution en tant que biocarburant. [5]

### **II.2.4 L'huile de Maïs**

L'huile de maïs est extraite des grains de maïs, elle est peu onéreuse à l'achat. Si le maïs ne contient qu'une petite proportion de lipides, bien trop peu pour être cultivé spécifiquement pour produire de l'huile, celle-ci peut être récupérée comme coproduit de l'extraction de l'amidon - y compris pour la production d'éthanol. [5].

Les usines d'éthanol utilisant du maïs peuvent donc fournir aussi de l'huile pour la production de biodiesel, ce qui améliore le rendement de la filière.

### **II.2.5 L'huile de palme**

---

<sup>2</sup> Les moteurs ont été adaptés par le Cirad.

L'huile de palme, produite essentiellement dans les zones côtières du Cameroun, de la Côte d'Ivoire, du Nigeria et au Kenya représente encore environ 55 % de la production totale. Le non-renouvellement des palmeraies et la situation qui prévaut en Côte d'Ivoire sont des facteurs préoccupants pour le devenir de l'offre ouest africaine et de sa compétitivité. [13]

L'huile de palme donne généralement un bon rendement de culture (de 500 tonnes/km<sup>2</sup> sur l'année). On pourrait imaginer voir naître dans ces deux pays notamment une production de biodiesel à partir d'une huile de palme « hybride ». Au Nigeria un vaste projet de développement de la culture du palmier à huile a été lancé dans le but de produire du biocarburant. La Nigerian National Petroleum Corporation est largement partie prenante d'un tel projet [5].

### **II.2.6 L'huile de colza**

L'huile de colza est extraite des graines de colza. C'est une huile très pauvre en acides gras saturés. Elle est facilement utilisable en tant que biocarburant et est peu chère. [5]

### **II.2.7 L'huile de coprah**

L'huile de coprah appelée aussi huile de coco (produite en quantité dans le pacifique notamment à Tahiti, Vanuatu et aux Philippines). L'Afrique tropicale et maritime pourrait produire son biocarburant à partir de cette huile de coco [5].

### **II.2.8 L'huile de tournesol**

L'huile de tournesol très utilisée comme biocarburant vu son excellent écobilan mais présentant la particularité de contenir plus de gomme que l'huile de colza par exemple, ce qui aura pour effet de boucher plus facilement les conduits d'alimentation en carburant [5].

### **II.2.9 L'huile de soja**

Plusieurs experts croient que les graines de soja détiennent la plupart des promesses en tant que matières de base pour le biodiesel. Alors que le contenu de l'huile de soja - environ 18% -y est inférieur par rapport aux autres matières de base, il a un potentiel d'expansion dans de nombreuses parties des régions plus humides en Afrique [16].

L'huile de soja a fait l'objet d'une étude de faisabilité commandée par le Fond Central de l'Energie à la compagnie Sasol (entreprise de l'industrie chimique basée en Afrique du Sud) et lancée en Afrique du Sud début 2006.

### **II.2.10 L'huile de jatropha**

En fait, il s'agit du Pourghère. Le Pourghère (*Jatropha curcas*), qui pousse également en Afrique, appelé localement "Tabanani", fait partie de la famille des Euphorbiacées. Il se présente sous forme d'un petit arbre de 4 à 5m de hauteur qu'il atteint au bout de 3 à 4 ans seulement. Sa durée de vie est de 30 à 35 ans environ. Le fruit est une capsule à 2 ou 3 loges qui atteint sa maturité après 3 mois. Cette huile a déjà fait l'objet de recherches en Afrique comme combustible et est actuellement utilisée, comme tel, dans quelques moteurs «d'essais » en Tanzanie, au Ghana et au Mali. Des projets allemands s'impliquent fortement dans ce genre de réalisation là-bas. Les moteurs diesel doivent être adaptés et d'autres dispositions doivent aussi être mises en œuvre.

L'huile de pourghère a un pouvoir calorifique inférieur (massique) élevé (39 000-41 800 kJ/kg). Elle possède une masse volumique à 15°C variant entre 910 à 920 kg/m<sup>3</sup>. Sa viscosité se situe aux alentours des 77 mm<sup>2</sup>/s à 20°C [17].

La filière *Jatropha* est très prometteuse. Sa culture n'entre pas en concurrence spatiale avec les cultures traditionnelles à objectif alimentaire ou les forêts tropicales –la plante de *jatropha* peut pousser dans les zones arides.

Elle peut être une source d'énergie renouvelable (huile végétale carburant) pour la population locale, source d'énergie « commerciale » en exportant le biodiesel issus de son huile et peut également servir pour la cuisine locale, en offrant une alternative au bois (qui est en général surexploité dans les pays du Sud) et au kérosène (qui devient trop cher depuis l'envolée du prix du pétrole). Huit kilos de fruits de l'arbuste donnent 1,5 litre de biocarburant. Outre les applications énergétiques, elle peut servir à la production de savon ou comme lubrifiant.

Vu ces qualités, il n'est pas étonnant que des cultures de *jatropha* apparaissent ces dernières années dans des pays aussi variés que l'Égypte, le Madagascar, le Zimbabwe, le Kenya, la Zambie, etc. Depuis la fin des années 30, les maliens reconnaissent la possibilité d'utiliser l'huile de *jatropha* comme carburant.

A l'heure actuelle, elle est utilisée pour remplacer le mélange de gasoil utilisé dans les moteurs diesel qui font tourner les moulins à grains et les pompes à eau dans les régions rurales du Mali.

En Tanzanie également sont reconnues les propriétés du jatropha.

Enfin, le Kenya est très lui aussi avancé au niveau de la production de biocarburant à base d'huile de jatropha tandis que le Gouvernement Sud Africain a lancé, dans le cadre de son initiative de développement des biocarburants, une campagne axée sur la production de jatropha (Provinces du Zululand) [5].

### **III. Propriétés physiques et chimiques des HVC**

#### **III .1 Composition chimique**

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95-98 % de triglycéride, 5% d'acide gras libre, de stérols, de cire et impuretés divers [18].



Figure 2 : Structure du triglycéride

Les triglycérides sont constitués d'une molécule de glycérol estérifiée avec 3 molécules d'acides gras semblables ou différents.

Il existe de l'ordre de 20 acides gras dans la nature et leurs nombreuses combinaisons possibles avec les 3 fonctions alcool du glycérol conduisent à l'obtention d'une grande variété de triglycérides et donc de l'huiles.

Les huiles végétales peuvent se diviser en quatre (4) grands groupes [18]:

- Les huiles dites saturées : coprah, palme, karité. L'indice d'iode<sup>3</sup> variant de 5 à 50

---

<sup>3</sup> L'indice d'iode est le nombre de grammes d'iode fixé par 100 g de corps gras. La réaction d'addition permet ainsi de déterminer quantitativement l'insaturation globale des chaînes gras. [19]

- Les huiles mono-insaturées (semi-siccatives) : olive, arachide, colza, sésame, pourghère. L'indice de cétane varie de 50 à 100.
- Les huiles dites di-insaturées (semi-siccatives) : tournesol, coton, soja, maïs, pépin de raisin. Dont l'indice d'iode varie entre 100 à 150.
- Les huiles tri-insaturées (siccatives<sup>4</sup>) : lin, bois de chine. L'indice d'iode est au delà de 150.

Plus l'indice d'iode est élevé plus l'huile est insaturée<sup>5</sup> (nombre de doubles et triples liaisons).

Un degré élevé d'insaturation induit aussi une sensibilité marquée à l'oxydation, l'oxygène se fixant uniquement sur les doubles liaisons. [19].

Insaturée, l'huile est siccative, peu résistante à l'oxydation, et de viscosité élevée.

Saturée, elle résiste à l'oxydation, et est peu visqueuse mais son point de fusion est élevé.

### **III.1.1 Les acides gras**

Le facteur le plus important dans l'huile est sa composition en acide gras. Cependant en fonction de l'utilisation prévue et l'utilisation carburant d'autres caractéristiques peuvent s'avérer également importantes.

On considère deux familles d'acides : les acides gras saturés et les acides gras insaturés.

- **Les acides gras saturés**

Ils ne possèdent pas de double liaison dans leur chaîne carbonée. Ils sont notamment présent dans les graisses animales et les graisses végétales en divers proportions. C'est la teneur en ces acides gras qui détermine la texture de l'huile. Une huile riche en acide gras saturé sera solide aux températures normales (beurre, saindoux<sup>6</sup>). [19] La formule générale est :  $C_nH_{2n}O_2$ .

- **Les acides gras insaturés**

---

<sup>4</sup> Siccative : qui a la propriété de faire sécher rapidement les couleurs, les peintures, les vernis

<sup>5</sup> Une huile insaturée est une huile qui présente une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone dans leurs acides gras.

<sup>6</sup> Saindoux : graisse de porc fondue.

Ils présentent quant à eux une ou plusieurs doubles liaisons dans leur chaîne carbonée. On parle alors d'acides gras mono-saturés ou poly-saturés. Ces acides gras se trouvent en grande partie dans les huiles végétales. L'acide gras mono-saturé la plus courante comporte 18 atomes de carbones. Il s'agit de l'acide oléique (C18 :1). Les deux principaux acides gras poly-insaturés des huiles sont l'acide linoléique (18 atomes de carbone et 2 doubles liaisons : C18 :2) et l'acide  $\alpha$ -linoléique (C18 :3). Ces acides et l'équilibre entre ces acides sont considérés comme des facteurs de santé. [19]

## **III.2 Caractéristiques chimiques**

### **III.2.1 Teneur en soufre (S)**

Cette teneur a toute son importance dans le cas où l'huile subit une combustion.

Le soufre possède en effet la propriété de se combiner à l'oxygène pendant le processus de combustion dans le moteur.

La teneur en soufre des combustibles automobiles a des inconvénients, comme la formation plus importante de suies (particules), de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) pouvant ensuite se transformer en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'eau (pluie acide), ou encore de sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S (gaz à l'odeur d'œuf pourri).

Le soufre a en outre une influence défavorable sur le fonctionnement des catalyseurs dont sont équipées les voitures les plus récentes. Sur les voitures diesel, équipées d'un catalyseur d'oxydation, ceci donne lieu à la formation de sulfates, ce qui dans la pratique se traduit par des rejets accrus de particules.

Le soufre doit être éliminé durant le processus de raffinage, afin que les essences et le diesel répondent à la norme légale.

Des tests intensifs menés aux Etats-Unis ont ainsi démontré qu'une diminution de la teneur en soufre de 100 à 30 ppm, réduisait les émissions nocives de 15 à 30% [20].

Les teneurs mesurées sur les huiles produites à la ferme se situent sous la barre des 20 ppm (<sup>7</sup>)

---

<sup>7</sup> ppm : partie par million (mg/kg = g/t)

### **III.2.2 Teneur en phosphores (P)**

La teneur en phosphore indicateur de présence de phospholipides est également importante en usage carburant. En effet les phospholipides sont montrés du doigt lors de certains problèmes d'encrassement des soupapes et de la chambre de combustion des cylindres lors de l'utilisation des huiles végétales carburants (Phénomène de gommage). La pression à froid des graines permet d'éviter à la base une extraction trop importante de phospholipides. [19]

### **III.2.3 Teneur en cendre**

Une teneur en cendre élevée pose des problèmes dans les moteurs thermiques modernes car les résidus de combustion de l'huile tendent à se déposer dans les filtres.

Les cendres ont un pouvoir abrasif qui doit être limité pour éviter des problèmes au niveau de la pompe d'injection, des injecteurs et des cylindres.

### **III.2.4 Teneur en eau**

La présence d'eau dans le carburant, quel qu'il soit, pourra poser de problèmes tout le long du circuit de carburant (réservoir, filtre, ...).Cependant dans le cas de l'huile, cette présence d'eau n'est pas nécessairement un désavantage si elle se présente sous forme d'émulsion avec l'huile, forme qui est cependant instable avec le temps. Un pourcentage hydrique élevé favorisera l'hydrolyse et les processus d'oxydation et posera de problèmes de corrosion dans les moteurs. La teneur en eau peut être influencée par un stockage adéquat sans variations de température, et par le raffinage.

### **III.2.5 Indice d'acide (ou acidité oléique)**

L'huile contenue dans les graines oléagineuses contient naturellement des acides gras libres, en quantité d'autant plus grande que la graine a été altérée par les conditions agro-climatiques de la récolte ou les conditions de séchage et de stockage.

Sous l'action d'une enzyme, la lipase, les triglycérides libèrent leurs acides gras, provoquant l'acidification de l'huile. Les graines contiennent des lipases endogènes, mais ce sont les lipases des micro-organismes associés aux graines qui sont responsables des accidents de conservation. [19]

La mesure de l'acidité libre d'un corps gras est donc un des moyens les plus importants pour connaître son altération.

Il existe deux modes d'expression de l'acidité de l'huile : l'indice d'acide et l'acidité oléique.

○ **Indice d'acide**

On entend par indice d'acide le nombre de milligrammes de potasse (KOH) nécessaire pour neutraliser l'acidité libre d'un gramme d'huile.

○ **Acidité oléique**

Il s'agit de la teneur en acides gras libres, exprimée conventionnellement en pourcentage d'acide oléique. Pratiquement, l'indice d'acide est le double de l'acidité oléique (terme couramment utilisé par les professionnels).

En utilisation carburant, cette valeur a également son importance car une acidité trop élevée peut affecter les propriétés de l'huile de lubrification si des quantités significatives d'huiles carburants atteignent le carter d'huile de lubrification [19].

### **III.2.6 Indice d'iode**

Les liaisons éthyléniques (double liaison) en particulier celles des acides gras, fixent les halogènes. Cette réaction d'addition peut être utilisée pour déterminer quantitativement l'insaturation globale des chaînes grasses.

L'habitude est prise d'exprimer l'insaturation par la quantité d'iode que peut fixer le corps gras étudié. L'indice d'iode est donc le nombre de grammes d'iode fixé par 100 grammes. [19]

Cette méthode donne une indication de la teneur en acides gras insaturés contenue dans l'huile, elle peut donc remplacer avantageusement (moins chère et plus rapide) la détermination du profil en acide gras.

La connaissance de l'indice d'iode 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 des problèmes. [19]

### **III.2.7 Indice de peroxyde**

Il est important de mesurer l'indice de peroxyde car l'oxydation est un phénomène fondamental dans l'industrie des corps gras.

L'oxydation est une réaction chimique qui s'effectue au niveau des liaisons insaturées des acides gras. C'est une réaction qui a lieu quand un corps gras non saturé entre en contact avec l'oxygène de l'air, pour former en début un peroxyde et ensuite de produits de scission résultant de la coupure de la chaîne grasse au niveau de la double liaison donnant toute une série de composés à chaîne courte comme les aldéhydes et les cétones .

L'indice de peroxyde est exprimé en nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras. Le principe de la mesure est de déterminer, par titrage redox, la teneur en iode ( $I_2$ ) résultant de l'oxydation d'iodure de potassium par l'oxygène actif dégagé par les peroxydes contenus dans l'huile [19].

Le traitement contre l'oxydation consiste habituellement en l'ajout d'antioxydants synthétiques qui préviennent l'oxydation aussi longtemps que le contenant demeure scellé.

Un antioxydant naturel, la vitamine E, est toutefois présent dans l'huile et les matières grasses végétales. Il y en a plus dans l'huile pressée à froid que dans l'huile pressée à chaud ; les huiles ne sont protégées contre l'oxydation que jusqu'à ce que les antioxydants naturels soient épuisés, par la suite les acides gras commencent à se détériorer. C'est pourquoi les huiles pressées à froid doivent être conservées avec encore plus de soin que les huiles raffinées. Dans des conditions adéquates d'entreposage, l'oxydation s'effectue à un rythme très lent. Cependant, lorsqu'elle débute, elle s'effectue rapidement et donne un goût âcre à l'huile qui doit être jetée.

### **III.2.8 Corrosion sur cuivre**

Cette mesure est utilisée pour apprécier le pouvoir corrosif d'un produit qui peut causer des problèmes de corrosion plus ou moins superficielle sur divers composants d'un circuit de carburant automobile : joints, tuyaux etc...

Le degré de corrosion s'établit par comparaison avec des plaques de cuivre de référence [19].

### **III.2.8 Stabilité à l'oxydation 110 °C**

Cette mesure permet de caractériser le comportement de l'huile soumise à des contraintes particulières. Elle permet également de décrire le degré de vieillissement de l'huile, une augmentation de l'âge de l'huile s'accompagnant d'une augmentation de la viscosité.

Ce paramètre peut également avoir une influence sur la qualité de l'huile de lubrification du moteur. [19]

### **III.3 Corps étrangers contenus dans les huiles végétales et altération**

Les huiles végétales contiennent en général jusqu'à 98 % de triglycérides et d'acides gras libres. Le reste est composé de savons, de mucilages, de cendres, d'impuretés, de matières volatiles et d'eau.

Considérés implicitement ou explicitement lors des traitements industriels, ces corps étrangers prennent de l'importance lors de l'usage carburant des huiles végétales. [18]

#### **III.3.1 Eau et matières volatiles.**

Tous les corps gras peuvent renfermer de l'eau même lorsqu'ils sont limpides, l'eau ayant à la température ordinaire une solubilité de 0,05 à 0,10 % dans les huiles.

Le contenu d'eau peut varier fortement car il dépend de nombreux facteurs, tels que : humidité de la semence, stockage, transport. L'eau peut former des cristaux, lorsqu'il fait froid, qui peuvent obturer les filtres et endommager les systèmes actuels des moteurs à injection, qui utilisent une haute pression pour produire des vapeurs d'eau [18]. En outre, dans la zone d'interaction huile-eau, des bactéries peuvent se développer et mener à une rapide dégradation du carburant, à la formation de mucosités et à l'obstruction des filtres à huile [21].

#### **III.3.2 Impuretés:**

D'une façon générale, on entend par impuretés obtenues à l'aide d'un solvant volatil, l'ensemble des substances non dissoutes dans ce solvant dans les conditions de l'expérience, et qui n'ont pas été déjà dosées dans la détermination "eau et matières entraînables". [18]

### **III.3.3 Cendre:**

Elles s'obtiennent en calcinant les résidus charbonneux de la combustion spontanée, provoquée par chauffage, d'une huile. [18]

### **III.3.3 Mucilages :**

L'ensemble des propriétés des mucilages correspond aux propriétés des phospholipides.

Il paraît certain que les constituants essentiels des "mucilages" sont des phospholipides (gomme), essentiellement lécithine et Céphaline pour les produits végétaux; car l'ensemble des propriétés des mucilages (instabilité à la chaleur, caractère mi-hydrophile, mi-lipophile) leur correspondent bien. [18], [19]

### **III.3.4 Savons**

En général, la recherche du savon est limitée au savon de sodium provenant d'un raffinage imparfait. [18]

### **III.3.5 Altération importante : l'acidité**

Les corps gras en s'altérant naturellement donnent par hydrolyse, naissance à des acides gras libres et à du glycérol.

La mesure de l'acidité libre d'un corps gras est donc un des moyens les plus importants de déterminer son altération. (Voir propriétés chimiques) ;

## **III.4 Caractéristiques physiques**

Les propriétés physiques généralement prises en compte sont :

### **III.4.1 Viscosité**

Elle s'exprime en  $\text{mm}^2/\text{sec}$  (ou cST) à 20°C.

La viscosité peut être définie comme une résistance à l'écoulement, à la déformation. Le degré de viscosité conditionne l'écoulement des fluides le long des parois. 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, l'inverse s'appliquant si la température diminue.

La viscosité des huiles végétales est fonction de la nature des graines et est généralement plus élevée que celle du fioul. Cette viscosité élevée peut poser de problème lors de l'alimentation de moteurs, une des solutions est donc de chauffer l'huile pour en abaisser la viscosité.

La viscosité peut s'exprimer de deux manières différentes :

- ☒ **Viscosité dynamique** qui s'exprime en centipoise
- ☒ **Viscosité cinématique** qui est la viscosité dynamique divisée par la masse volumique, elle s'exprime en centistokes.

### **III.4.2 Densité**

La densité peut être définie comme étant la masse de produit contenue dans un volume déterminé dans des conditions déterminées. Ainsi pour les carburants la température de mesure est fixée à 15°C (par rapport à l'eau à 4°C).

La densité diminue avec la température (en première approximation on peut la diminuer de 0,00062 /Kelvin). [22]

Et elle varie peu entre les différentes huiles végétales, mais est supérieure à celle du gazole d'environ 10%. [18]

La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelle pollution.

### **III.4.3 Point éclair**

Le point éclair d'un liquide se définit comme la température maximale à laquelle il faut porter dans les conditions normalisées pour que les vapeurs s'enflamment instantanément en présence d'une flamme. Cette caractéristique est importante dans le cas d'une utilisation énergétique de l'huile (combustion plus difficile notamment au démarrage). Mais une valeur élevée de ce point éclair est synonyme de sécurité lors de l'entreposage et de la manutention du produit.

### **III.4.4 Pouvoir calorifique**

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) se définit comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur de condensation non récupérée. Il s'exprime en joules par kilogrammes (J/Kg), même si on rencontre encore couramment des résultats exprimés en calories/Kg. [19]

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) se définit comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée. Il s'exprime également en J/Kg.

Cette valeur permet de comparer différents produits de nature différente et permet de ramener, par exemple, l'ensemble des carburants sous formes de tonne-équivalent-pétrole (TEP). Les pouvoirs calorifiques des différentes huiles végétales sont proches les uns des autres mais inférieur de 10% au PCI du Gazole. Cependant, en raison d'une différence de densité, le PCI des huiles végétales exprimé par unité de volume se rapproche du celui du Gazole. [19]

#### **III.4.5 Indice de cétane**

L'indice de cétane permet de mesurer la qualité de la combustion d'un carburant. L'indice se rapporte au délai d'inflammation - la période qui s'écoule entre le début de l'injection de carburant et le début de la combustion. Plus l'indice de cétane est élevé, plus le délai d'inflammation est court et meilleure est la qualité de la combustion. Inversement, les carburants avec un faible indice de cétane sont lents à s'enflammer puis ils brûlent trop rapidement, entraînant des taux élevés d'augmentation de pression.

Le zéro de l'échelle de cet indice est donné par la valeur du méthylnaphtalène qui a une forte résistance à l'inflammation, et la valeur 100 est donnée par le cétane qui s'enflamme facilement. [19]

#### **III.4.6 Contamination**

Ce paramètre est un des plus importants pour une utilisation carburant de l'huile. Cette mesure permet de déterminer en effet la pureté de l'huile ainsi que l'efficacité du processus de filtration de l'unité de production. Une contamination trop importante conduira à :

- Un colmatage prématuré des filtres des véhicules.

- Un encrassement du circuit de carburant et peut.
- Avoir un effet abrasif sur certains organes sensibles (pompes, injecteurs).

### **III.4.7 Couleur**

Pour les huiles de pétrole, elle varie généralement du blanc pur au rouge foncé en passant par le jaune citron et le jaune orange, on l'évalue par comparaison avec des verres étalons numérotés en colorations N.P.A. (National Petroleum Association). La couleur foncée d'un lubrifiant usagé peut être un assez bon moyen d'apprécier son altération, de même qu'un aspect laiteux peut indiquer la présence d'eau.

Quelques propriétés physico-chimiques des huiles végétales et du combustible diesel sont donnée dans les tableaux 2 ;

Nous remarquons que les huiles végétales se comportent presque tous de la même manière, avec bien sûr quelques spécificités :

Leur densité est élevée (supérieur de plus 10% à celui du gasoil).

Elles ont une viscosité élevée (5 à 15 fois plus visqueuses que le gasoil). Ce qui pose des problèmes d'alimentations dans les moteurs.

Les pouvoirs calorifiques des différentes huiles végétales sont proches les uns des autres mais inférieur à celui du Gazole.

Leur point éclair élevé par rapport à celui du gasoil, rend la combustion plus difficile, notamment au démarrage. Par rapport au gasoil, les huiles végétales ont un indice de cétane relativement faible.

Les esters méthyliques des huiles de colza et du coton se comparent bien avec le gasoil en termes de densité, de viscosité, d'indice de cétane et du pouvoir calorifique. De plus leur point éclair est nettement réduit par rapport à celui des huiles végétales pures.

Tableau 1 : Caractéristiques carburants de quelques huiles comparées avec le gazole

	Densité 20°C	Viscosité 20°C Mm2 /s	Point d'écoulement (°C)	Point de trouble (°C)	Point éclair (°C)	Indice de cétane	Pouvoir calorifique PCI MJ/Kg
Combustible Diesel	0,836	3 à 7,5	-18	< -5	93	50	43,8
Ester méthylique de colza	0,880	7	-12	-4	183	52	41
Ester méthylique de coton	0,870	7	1	2	178	54	40
copra	0,915	30 <sup>a</sup>	23/26	28	230	43	37,1
Palme	0,945	60 <sup>a</sup>	23/40	31	280	39	36,9
<b>Coton</b>	<b>0,921</b>	<b>73</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>243</b>	<b>34</b>	<b>36,8</b>
pourghère	0,920	77	-3	2	236	35	38,8
Arachide	0,914	85	-1	9	258	34	39,3
Colza	0,920	78	-2	-11	285	36	37,4
soja	0,920	61	-4	-4	330	31	37,3
Tournesol	0,925	58	-6	-5	316	36	37,8

<sup>a</sup> viscosité à 40°C

source : cahiers agricultures vol.15, n°1 Janvier-Février 2006

#### IV. Justification de l'importance de la nature des huiles végétales sur les qualités du carburant

La nature de l'huile végétale diffère du gasoil par leur composition chimique :

Les huiles végétales sont, comme les hydrocarbures d'origine pétrolière, constituées de chaînes moléculaires regroupant atomes de carbone et d'hydrogène. Mais, comme caractéristique essentielle, ces chaînes possèdent aussi des atomes d'oxygène, qui permettent aux huiles d'être moins polluantes, dans les gaz d'échappement, que le gazole.

**Tableau 2 : pourcentage en composition chimique des huiles végétales et du gasoil**

	<b>GASOIL</b>	<b>HUILE VEGETALE</b>
<b>CARBONE</b>	86%	77%
<b>HYDROGENE</b>	14%	12%
<b>OXYGENE</b>	0%	11%

Les avantages de l'utilisation des huiles végétales comme carburant sont entre autre [23]:

- la combustion du gasoil nécessite l'oxygène présent dans l'air, alors que l'huile contient déjà de l'oxygène, ce qui favorise sa combustion.
- L'HVP ne contient pas d'azote, pas de soufre (qui participe aux pluies acides), pas de métaux lourds et de benzène qui sont tous des polluants dangereux.
- Les huiles végétales présentent l'avantage d'être facilement stockables. Il s'agit d'un corps stable très peu dangereux et peu polluant comportant peu de risque d'inflammation.
- L'HVP est non toxique, il n'y a donc aucun risque d'aspiration des gaz toxiques ou cancérigène, aucun risque de pollution de l'eau en cas de fuite accidentelle.
- L'HVP, biodégradable est ininflammable, donc les risques de brûlure accidentelle sont supprimés et non évaporable (suppression des pertes d'énergies par « volatilisation » courant pour les huiles minérales<sup>8</sup>)
- Produit naturel direct, l'huile végétale ne nécessite pas de transformation chimique.

---

<sup>8</sup> Huiles de diverses familles issues presque exclusivement de la distillation du pétrole. On y ajoute toutes sortes de produits et additifs qui leur confèrent de meilleures propriétés en fonction de l'usage prévu.

- Sa combustion est neutre en CO<sub>2</sub> (tout le CO<sub>2</sub> produit par la combustion sera réabsorbé l'année suivante par la plante, qui va produire des graines) : l'HVP ne contribue donc pas à l'effet de serre.

Le seul inconvénient réside dans l'utilisation irraisonnée d'engrais pour la culture des plantes entraînant une pollution des sols et des eaux ce qui peut contrebalancer le bilan écologique positif lié à la combustion des huiles.

## **V. Normalisation de l'huile végétale**

Dans l'objectif de développer la filière huile végétale pure à une échelle plus importante, il est indispensable de mettre au point une norme de production d'huile pour une utilisation carburant à l'instar du gazole ou du fioul. Les pays comme l'Allemagne et l'Autriche sont de loin avancés à ce sujet. [19]

De nos jours il existe une prénorme établie par l'université de Munich et prénorme autrichienne sur la spécification de l'huile végétale pure carburant voir (tableau 3 et tableau 4).

Un comité est chargé de mettre au point cette norme toujours dans l'objectif de faire adhérer les constructeurs au développement de leurs moteurs pour les HVP.

Tableau 3 : Prénorme allemande des HVP

		LTV-Work-Session on Decentral Vegetable Oil Production, Weihenstephan Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel (RK-Qualitätsstandard) 05/2000		in Cooperation with: 	
Properties / Contents	Unit	Limiting Value		Testing Method	
		min.	max.		
<i>characteristic properties for Rapeseed Oil</i>					
Density (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	900	930	DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185	
Flash Point by P.-M.	°C	220		DIN EN 22719	
Calorific Value	kJ/kg	35000		DIN 51900-3	
Kinematic Viscosity (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s		38	DIN EN ISO 3104	
Low Temperature Behaviour				Rotational Viscometer (testing conditions will be developed)	
Cetane Number				Testing method will be reviewed	
Carbon Residue	Mass-%		0.40	DIN EN ISO 10370	
Iodine Number	g/100 g	100	120	DIN 53241-1	
Sulphur Content	mg/kg		20	ASTM D5453-93	
<i>variable properties</i>					
Contamination	mg/kg		25	DIN EN 12662	
Acid Value	mg KOH/g		2.0	DIN EN ISO 660	
Oxidation Stability (110 °C)	h	5.0		ISO 6886	
Phosphorus Content	mg/kg		15	ASTM D3231-99	
Ash Content	Mass-%		0.01	DIN EN ISO 6245	
Water Content	Mass-%		0.075	pr EN ISO 12937	

00 1ER 100e

Avec :

- |                                     |                                     |                                 |                                |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. <b>Density:</b>                  | : densité à 15°C;                   | 9. <b>Iodine Number</b>         | : indice d'iode                |
| 2. <b>Flash point by P.-M :</b>     | point éclair;                       | 10. <b>Sulphur content</b>      | : teneur en soufre             |
| 3. <b>Calorific value :</b>         | pouvoir calorifique                 | 11. <b>Contamination</b>        | : contamination ;              |
| 4. <b>Cinematic viscosity :</b>     | viscosité<br>cinématique à 40°C ;   | 12. <b>Acid value</b>           | : indice d'acide ;             |
| 5. <b>Low temperature behaviour</b> | Comportement à faible température ; | 13. <b>Oxidation stability</b>  | : stabilité à<br>l'oxydation ; |
| 6. <b>Cétane Number :</b>           | indice de cétane ;                  | 14. <b>Phosphorus content :</b> | teneur en phosphore ;          |
| 7. <b>Carbon Residue :</b>          | résidus de carbone ;                | 15. <b>Ash content</b>          | : teneur en cendre ;           |
|                                     |                                     | 16. <b>Water content</b>        | : teneur en eau                |

**Tableau 3 : Norme autrichienne de l'HVP : Spécification de l'huile végétale pure carburant**

Caractéristiques	Unité	Valeur limite		Méthode de test	
		Mini	Maxi	Selon la norme	Date de publication
Densité	kg/m <sup>3</sup>	900	930	ÖNORM EN ISO 3675 ÖNORM EN ISO 12185	1. Octobre 1999 1. Décembre 1997
Point-éclair selon Pensky-Martens	°C	220		ÖNORM EN 2719	1. Août 2003
Pouvoir calorifique <sup>(1)</sup>	kJ/kg	35000		DIN 51900-3	Août 1977
Viscosité cinématique (40°C)	mm <sup>2</sup> /s		38	ÖNORM EN ISO 3104	1. Septembre 1999
Comportement à froid				Viscosimétrie rotative	
Taux d'inflammation				Méthode en cours d'évaluation	
Résidu de carbone	Masse-%		0,40	ÖNORM EN ISO 10370	1. Mars 1996
Indice d'iode	g/100g	100	120	ÖNORM EN 14111	1. Octobre 2003
Teneur en Soufre	mg/kg		10	ÖNORM EN ISO 20884 ÖNORM EN ISO 20846	1. Juillet 2004 1. Septembre 2002
Propriétés variables					
Contamination	mg/kg		25	ÖNORM EN 12662	1. Octobre 1998
Indice d'acide	mg KOH/kg		2,0	ÖNORM EN 14104	1. Octobre 2003
Stabilité de l'oxydation (110°C)	H	5,0		ÖNORM EN 14112	1. Octobre 2003
Teneur en Phosphore	mg/kg		15	ÖNORM EN 14107	1. Octobre 2003
Teneur en cendres (suie)	Masse-%		0,01	ÖNORM EN ISO 6245	1. Juillet 2003
Teneur en eau	Masse-%		0,075	ÖNORM ISO 12937	1. Février 2003

<sup>(1)</sup> La valeur type se situe à 37500 kJ/kg.

ÖNORM = norme autrichienne

**Remarque** : La Spécification du Tableau sera progressivement complétée et deviendra la Norme européenne.

**Source** : Journal officiel de la République fédérale d'Autriche BGB1. II – Publication du 4 novembre 2004 – Nr. 417.

## VI. Utilisation des huiles végétales dans les moteurs Diesel

Il existe deux moyens, techniquement très différents, d'utiliser ces différentes huiles comme carburant pour véhicules.

### VI.1 La filière courte

Après pressage simple dans une machine assez rudimentaire, l'huile est décantée puis filtrée pour être utilisée directement comme carburant. Le rendement de pressage est de

30% à 40% d'huile pour 60 à 70 % de tourteaux (résidu pâteux). L'écobilan est très intéressant, mais l'utilisation de l'huile pose quelques problèmes [7] :

- L'huile peut s'oxyder, elle sèche et peut générer des problèmes dans les réservoirs.
- La température d'auto-inflammation plus élevée (de l'ordre de 450°C, soit une centaine de degrés de plus que le gazole ou les méthyl-esters). Cela cause parfois des problèmes au démarrage des moteurs.
- la viscosité à froid est élevée ce qui pose des problèmes mécaniques aux moteurs qui ne sont pas actuellement conçu pour. C'est pourquoi on utilise généralement l'huile en mélange avec du gasoil (10 à 30%). Pour une utilisation pure, l'huile doit être portée à des températures de 65-75 °C, températures auxquelles elle retrouve une viscosité équivalente au gasoil. [24]
- La contamination résiduelle (particules, fibres, eau..), susceptible de colmater les filtres (pour la partie arrêtée par ceux-ci) et d'accélérer l'usure du système d'injection (pour la partie qui ne serait pas arrêtée par ces filtres). En effet les huiles doivent être propres, sans particules et contenir peu de gommes et d'eau pour éviter d'endommager les moteurs, suite à des problèmes de corrosion, oxydation et encrassement.

Il existe des solutions techniques à ces inconvénients, mais elles sont assez contraignantes : préchauffage de l'huile grâce à des réservoirs ou injecteurs chauffants, démarrage avec du gazole ou des méthyl-esters (ce qui demande deux réservoirs séparés), filtres plus performants. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des systèmes capables de commuter entre l'huile et le gazole en fonction de la température des gaz d'échappement, le circuit d'huile étant chauffé par l'eau du moteur (le liquide de refroidissement). La proportion d'huile maximale que l'on peut utiliser dépend du type d'injection. [24]

Un autre problème lié à l'utilisation d'huile carburant est la production de composés organiques nocifs lors de sa combustion, en particulier l'acroléine. Néanmoins, l'HVC ne produit que du CO<sub>2</sub> d'origine naturelle (qui fait partie d'un cycle naturel, contrairement aux carburants fossiles par exemple), ne contient pas de soufre (principal élément polluant du gazole) et semble produire beaucoup moins de particules cancérigènes.

## **VI.2 La filière ester méthyles**

L'huile généralement obtenue avec des méthodes plus industrielles (solvants), subit une estérification : mise en présence d'alcool et d'un catalyseur (généralement de la soude), et génère un méthyle ester et de la glycérine. Les différents composants de cette soupe sont enfin séparés à l'aide d'une centrifugeuse. Les ester méthyles obtenues sont appelés biodiesel ou, en France, diester. Ces carburants sont plus coûteux à produire que l'huile "directe" et demandent plus d'apport d'énergie mais ils sont facilement utilisables en remplacement de gas-oil conventionnel (ils ont été testés en remplacement à 100% du gazole et aucun problème n'a été relevé) ou mélangé avec celui-ci, sans demander de modifications au moteur. [7]

L'huile végétale carburant peut être utilisée dans de nombreuses situations. On la retrouve :

- dans l'agriculture comme carburant pour les engins agricoles,
- dans des moteurs fixes pour produire, par exemple, de l'électricité (dans des groupes électrogènes à base de moteur diesel par exemple).
- comme carburant pour véhicules légers ou poids lourds
- enfin dans certains chauffages d'appoints adaptés spécialement.

## **VI.3 Contraintes d'utilisation des Huiles végétales comme carburant dans les Moteurs diesel.**

Ils existent de contraintes d'utilisation des huiles végétales comme carburant des moteurs diesel. Ces contraintes sont liées à leur nature physique et chimique.

### **VI.3.1 problèmes liés à la nature physique des huiles végétales**

#### **o Densité :**

Elle est plus élevée de 10 % en moyenne que celle des fuels et gazoles. Ce n'est pas à proprement parler un problème mais un élément à prendre en compte pour ajuster les débits de carburant par exemple. [18]

#### **o Pouvoir calorifique:**

Il est en moyenne plus faible de 10 % que celui des fuels. Ce n'est pas, non plus, à proprement parler un problème. [18]

○ **Point d'éclair:**

L'huile végétale a nettement un point éclair plus élevé que celui du gasoil :

Rappelons que ce point se trouve à 90°C pour le diesel, tandis que pour l'huile végétale, il se situe entre 180-300°C. Une valeur élevée de ce point éclair est synonyme de sécurité lors de l'entreposage et de la manutention du produit. [17]

○ **Viscosité :**

Selon l'huile elle est de 5 à 15 fois supérieure à celles des fuels. [18]

Une viscosité trop élevée génère des gouttes plus grosses entraînant :

- Une mauvaise combustion, car la préparation du mélange air/carburant est modifiée.
- La formation de la rouille,
- L'encrassement,
- Un transfert de chaleur réduit et ainsi qu'une baisse du rendement.
- le colmatage des filtres par les gommages et mucilages présents dans les huiles.
- La perte de charge créée par les filtres à carburant classiques provoquant une sous-alimentation des organes d'injection,
- Lors des démarrages à froid on peut, sur certaines pompes d'injection rotatives, déplorer un manque de lubrification avec pour conséquence des détériorations mécaniques importantes,
- La fatigue des circuits Haute Pression peut être accrue.

### **VI.3.1 Problèmes liés à la nature chimique**

▪ **Polymérisation :**

L'huile a tendance, en présence de l'oxygène comme initiateur, d'additionner ses doubles liaisons et de former des plus longues chaînes hydrocarbonées.

La plus importante des conséquences d'une polymérisation de l'huile, se situe à l'endroit de l'injecteur. Il s'y produit le phénomène de cocking : il s'agit de la formation de dépôts au nez des injecteurs, lors de l'usage d'une huile végétale naturelle comme carburant. Ce dépôt a bien sûr une influence sur le jet et, à son apparition, il peut se former des « trompettes » qui dévient des jets et détruisent la qualité de la combustion. Une trompette

est une boule de dépôt qui se manifeste lors d'une combustion incomplète, due à une obturation partielle de l'injecteur, avec formation de carbone libre et dépôt de celui-ci au niveau de la culasse. [17]

## **VI.4 Solutions techniques**

### **VI.4.1 Les modifications des moteurs**

La différence des propriétés physiques et chimiques des HVP avec les gazoles, fait que son utilisation dans les moteurs diesel nécessite des adaptations plus ou moins importantes. En effet, le principe du diesel réside dans l'auto-inflammation du carburant pulvérisé dans de l'air chauffé par la compression du cylindre. Cette explosion se produit lorsque le mélange atteint une température suffisante appelée point éclair (cf. propriétés physiques). Pour le fioul cette température est de seulement 96°C, alors que le point éclair du colza ou de tournesol est supérieur à 300°C. D'où l'importance des modifications selon le type de moteur. [19]

D'après les essais menés par le CIRAD, la température de la chambre de combustion doit atteindre 500°C si on veut éviter tout risque d'imbrûlés et donc d'encrassement du moteur. On distingue trois familles de moteurs diesel selon deux modes d'injections : directe et indirecte. [19]

#### **VI.4.1.1 Les moteurs à injection indirecte**

Ces moteurs équipent encore la plupart des véhicules automobiles et les très gros moteurs industriels (supérieur au Mégawatt). Pour qu'ils fonctionnent correctement, le carburant et l'air doivent être correctement mélangés. L'injection indirecte constitue le moyen le plus simple de créer une turbulence qui assure un mélange intime de carburant avec l'air déjà fortement comprimé dans la chambre de combustion. [19]

Ainsi, le carburant n'est pas directement injecté dans la chambre de combustion principale, mais est envoyé dans une petite chambre de turbulence en spirale où s'amorce en réalité la combustion à température élevée, de l'ordre de 500°C à 600°C, et cela dès 10% de puissance délivrée. Les huiles végétales brûlent donc complètement. [19]

Ces moteurs sont obligatoirement équipés de bougies de préchauffage du carburant à l'intérieur d'une préchambre de combustion ou chambre de turbulence. Le rôle de la pompe à injection est de distribuer le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gazole (aux environs de 130 bars). [19]

Dans tous les moteurs à injection indirecte, et quelques soit la marque de la pompe à injection on peut rouler à 30% d' HVP sans aucune modification. [26]

Pour carburer à 100% d'HVP, il est donc nécessaire d'injecter l'huile dans une chambre de précombustion chaude. Le démarrage du moteur sera donc réalisé au gazole, puis le basculement à l'huile se fera dès lors que la température de la préchambre atteindra 500°C. Cette mesure pourra être facilement estimée en fonction de la température des gaz d'échappement. Pendant le fonctionnement au gazole, l'huile sera réchauffée afin de diminuer sa viscosité et donc de faciliter sa filtration et son injection. Avant l'arrêt du moteur, il faut absolument le réalimenter de gazole, sinon le démarrage suivant risque d'être difficile et provoquerait un encrassement du moteur au départ. [19], [26]

« Les modifications type CIRAD » nécessitent cinq interventions avec les moteurs à injection indirecte [26]:

Comme l'HVP est plus visqueuse que le gazole, la pompe à injection est sollicitée de manière plus intense.

- ♣ Vérifier que la pompe n'est pas de marque *ROTO* :  
En effet des casses d'arbre de pompe *ROTO* ont été constatées.
- ♣ Rajouter une pompe de pregavage (afin d'éviter le désamorçage de la pompe d'alimentation) en amont de la pompe à injection afin de soulager la pompe.

Comme l'HVP est détergente, elle charrie des impuretés en provenance du réservoir et des circuits, ce qui provoque l'encrassement du filtre à gasoil.

- ♣ Après avoir parcouru 1000 à 2000 kilomètres avec un mélange de 50% d'HVP, changer le filtre à gasoil avant de passer à 100%.

Comme l'huile s'enflamme à une température plus élevée que le gasoil, il est nécessaire de préchauffer l'huile, et de prolonger la durée d'injection, ce qui revient à pulvériser l'huile de manière plus fine.

- ♣ Installer entre le réservoir et le filtre à gasoil une résistance électrique .on peut également utiliser un fil de cuivre dans la tuyauterie (véhicules dans les pays froids).
- ♣ Augmenter le tarage des injecteurs : passer de 130 bars à 190 bars.

#### **VI.4.1.2 Les moteurs à injection directe (ancienne génération)**

Un moteur à injection directe ne possède pas de chambre de turbulence. Le carburant est injecté directement dans la chambre de combustion.

Ces moteurs équipent la plupart des tracteurs agricoles depuis 25 ans, les camions et les moteurs industriels (inférieur au Mégawatt). Ils sont équipés d'une pompe à injection manuelle (avec des éléments électroniques et parfois même avec calculateur). La pression d'injection est comprise entre 180 et 250 bars. [19]

L'huile végétale pure ou même raffinée n'est utilisable en l'état dans ces moteurs Diesel.

Lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, ces moteurs présentent des températures moyennes de chambre inférieures à 200 °C. [19]

Ce qui signifie qu'une part de gouttelettes d'huile ne va pas se vaporiser mais va se «coller» aux parois provoquant des dépôts « goudronneux ». Ces dépôts vont vite s'accumuler sur le nez des injecteurs perturbant ainsi la pulvérisation et dégradant le fonctionnement. Ils vont également se loger dans la gorge du premier segment lui interdisant son élasticité, ce qui mène à des grippages ou une usure rapide de celui-ci. Il y a perte de compression, difficultés de démarrage à froid et détérioration du rendement (augmentation anormale de la consommation).

L'utilisation d'huile végétale carburant à 100% pour ces moteurs reste donc conditionnée par une température supérieure à 500°C dans la chambre de combustion. Or, selon le CIRAD cette température est atteinte lorsque le moteur délivre au moins 70% de sa puissance nominale. [19]

Il existe 2 solutions pour rouler à 100% de l'HVP [26] :

- la bicarburation qui consiste à utiliser le gasoil pour démarrer et chauffer le moteur avant de basculer à l'HVP, lorsque la puissance demandée au moteur sera suffisamment importante pour obtenir une température élevée (>500°C) dans la chambre de combustion.
- Le Kit de conversion Elsbett consistant à modifier certains organes du moteur (injecteurs préchauffés ...).

La technologie de conversion est nécessaire, du fait qu'elle permet de compenser les caractéristiques spécifiques de l'huile végétale : qualité très variable en tant que produit naturel, fluidité inférieure à celle du gazole (viscosité plus élevée), point éclair plus élevé que celui du gazole, carburation se produisant de façon moins spontanée.

Compte-tenu des caractéristiques spécifiques de l'huile végétale, une bonne conversion doit comporter les points suivants [27]:

- préchauffage du carburant, des conduites et / ou du moteur,
- réglage du contrôle électronique du moteur,
- éléments de contrôle et relais,
- modification du système d'alimentation / pompe,
- filtres supplémentaires,
- modification du système d'injection (pour le système à un seul réservoir<sup>9</sup>).

#### **VI.4.1.3 Les moteurs à injection directe haute pression (nouvelle génération).**

Ce système dit à rampe commune se caractérise par une pompe haute pression alimentant en permanence un tube (rampe) commun relié à chaque injecteur. Cette rampe joue le rôle d'accumulateur de carburant, mais cette fois-ci l'ouverture des injecteurs est déclenchée

---

<sup>9</sup> Avec ce système il n'y a pas de réservoir supplémentaire, tout le carburant se trouve dans le réservoir d'origine du véhicule. Cette solution est basée sur l'adaptation du processus d'injection aux spécificités de l'huile végétale (bougies de préchauffage et injecteurs sont modifiés).

<sup>9</sup>Tandis que le système bi-réservoir dispose d'un réservoir additionnel de gazole pour le démarrage à froid et le chauffage du moteur. Quand le moteur atteint une température définie, le passage à l'huile végétale, qui se trouve dans le réservoir d'origine du véhicule et qui sert de carburant pendant le voyage, se fait soit manuellement soit automatiquement. Lors de longs arrêts pendant lesquels le moteur pourrait se refroidir, le conducteur passe en fonctionnement au gazole pour parcourir les derniers kilomètres, ce qui purge l'huile dans le système et le prépare ainsi pour un nouveau démarrage à froid.

électroniquement par le calculateur au moment opportun. La pression d'injection peut atteindre 1300 à 2000 bars, ce qui permet une pulvérisation fine et partant une meilleure combustion. [19]

Dans tous les moteurs à injection directe nouvelle génération et quelle que soit la marque de la pompe à injection, on peut rouler à 5% d'HVP sans aucune modification. Dans ce type de moteur pour rouler à 100% de l'HVP il faut la bicarburation et le kit Elsbett. [26]

## **CHAPITRE III : ETUDES EXPERIMENTALES SUR LES HUILES DE COTON ET ANALYSES DES RESULTATS**

### **I. Introduction**

Vue l'augmentation galopante du prix de pétrole, on peut s'interroger sur les opportunités énergétiques de l'huile de coton dont la production à l'hectare varie de 100 à 300 litres selon les endroits. Les travaux antérieurs et les quelques applications démarrées depuis la fin des années 1980 montrent que l'huile de coton présente les mêmes comportements en tant que biocarburant que les huiles de colza ou de tournesol utilisées de plus en plus massivement en Europe. Les contraintes techniques d'utilisation sont indiquées pour les moteurs comme pour les brûleurs. Si les équipements sont adaptés, les performances et les rendements sont très proches, parfois meilleurs, que ceux obtenus avec les produits pétroliers. Les émissions de polluants sont également identiques avec l'avantage que les huiles végétales ne rejettent pas de CO<sub>2</sub> d'origine fossile dans l'atmosphère terrestre.

L'utilisation de l'huile de coton dans le moteur nécessite la connaissance de sa qualité en tant que carburant. Ce chapitre décrit les principes des méthodes d'analyses utilisées pour caractériser les huiles, ainsi que les résultats obtenus pour différentes qualités d'huiles.

Les analyses effectuées au sein du laboratoire d'analyse de la SONABHY ont portées sur la viscosité, la densité, la teneur en eau ,la teneur en sédiments et l'indice de cétane.

### **II. Les différentes qualités d'huile de coton**

Les huiles de coton brut et raffinée qui ont fait l'objet des tests proviennent de la SN-CITEC, de Bobo-Dioulasso.

L'huile semi-raffinée était également prévue à cet effet mais malheureusement, nous l'avons pas pu l'obtenir.

Ci-dessous, voyons la différence de couleur entre l'huile brute et l'huile raffinée.



**Photo 1** : les deux qualités d'huiles

L'huile brute et raffinée produite à la SN-CITEC suit globalement le schéma suivant

○ **Pression et extraction**

- Le décorticage: les graines récoltées sont décortiquées, on sépare coques et amandes par une série d'opérations mécaniques.
- L'aplatissage : les graines passent alors entre deux cylindres lisses et ressortent sous la forme de "flocons".
- La cuisson: elle a pour but de faciliter l'extraction de l'huile des flocons au cours de la pression.
- La pression: les flocons séchés passent dans les presses. L'huile brute s'écoule et le tourteau de pression sort à l'extrémité de la vis.
- L'opération d'extraction à l'hexane (solvant volatil) de l'huile encore prisonnière du tourteau de pression : on obtient du miscella brute (huile + un peu d'hexane) au lieu d'huile brute.  
Le miscella est débarrassé de l'hexane qu'il renferme par entraînement à la vapeur suivant le principe de la distillation par vapeur d'eau. Le solvant est alors lui-même récupéré pour être de nouveau réutilisé.

○ **Raffinage**

L'huile brute mélangée avec l'huile d'extraction « désolvantée » est soumise à une série de traitements qui ont pour but d'en améliorer la qualité et la stabilité.

- Degommage : afin d'éliminer les gommes contenues dans l'huile brute.

- la neutralisation: elle vise à éliminer les acides gras libres. On ajoute à l'huile de la soude (la soude caustique élimine les oxydants) qui les transforme en savons, qu'on sépare par centrifugation. L'huile est ensuite lavée pour extraire toute trace de savons.
- la décoloration: elle sert à éliminer les pigments et autres matières colorantes.
- la désodorisation : elle a pour but d'éliminer toutes les substances odorantes. Souvent volatiles, on les supprime par chauffage sous très grand vide.
- L'huile subit éventuellement une dernière filtration: elle est alors "raffinée".

### **III. Descriptions des méthodes analytiques utilisées – Analyses des résultats**

Les méthodes analytiques qui sont décrites dans cette partie sont celles appliquées aux produits pétroliers. Elles ont été simplement adaptées aux huiles végétales. Ce sont les méthodes de détermination de la viscosité, de la densité, de la teneur en eau et de la teneur en sédiments.

#### **III.1 Viscosité**

La détermination de la viscosité cinématique a été faite suivant la méthode prescrite par la norme NF EN ISO 3104 prévue pour les produits pétroliers.

##### **o Principe de la méthode**

Le principe consiste à mesurer le temps d'écoulement par gravité d'un liquide donné dans un viscosimètre placé dans un bain thermostaté contenant un liquide transparent, le tout maintenu à la température d'essai.

L'appareillage comprend : un viscosimètre à capillaire, des supports de viscosimètre permettant de maintenir celui-ci à une position verticale, un bain thermostaté, un dispositif de mesure de la température et du temps. [30]

Le protocole utilisé pour la détermination de la viscosité cinématique des huiles végétales est présenté en annexe 2



Photo 2 : Viscosimètre plongé dans le bain thermostaté, labo de la SONABHY

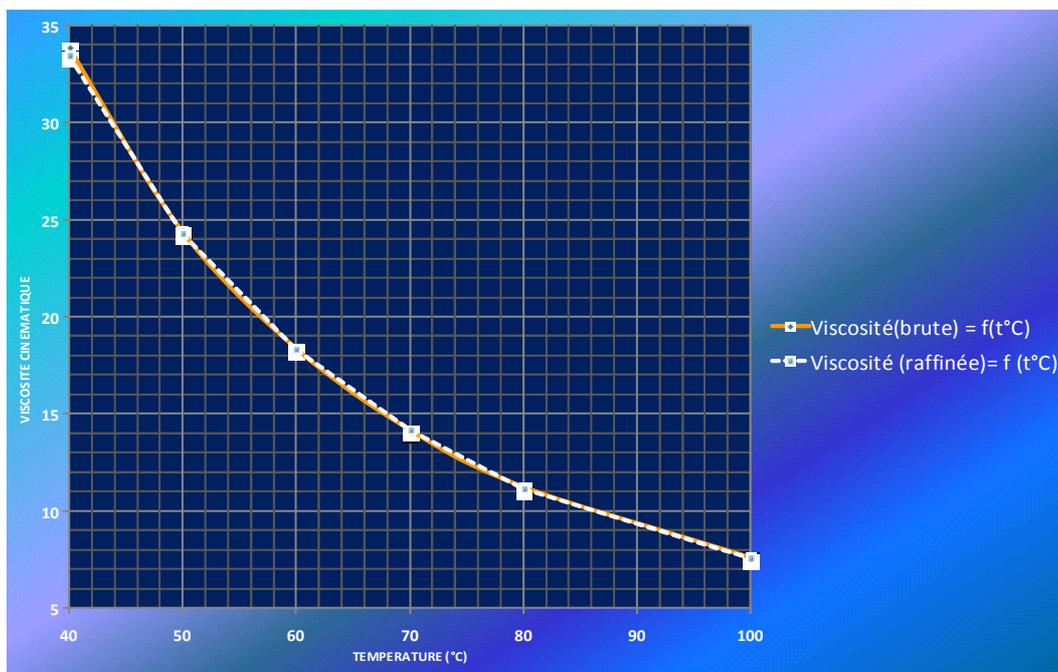
○ **Résultats et interprétations**

▪ **Résultats**

La viscosité cinématique des huiles végétales est obtenue pour différentes températures (40°C ,50°C ,60°C ,70°C, 80°C, 100°C). Pour chaque température, nous avons effectué deux (2) mesures. Les résultats des mesures se trouvent en Annexe 1

La viscosité cinématique est donc le produit du temps d'écoulement mesuré par la constante du viscosimètre.

La courbe ci-contre présente la variation de la viscosité en fonction de la température pour les deux (2) qualités d'huiles (brute et raffinée).



Courbe : viscosités en fonction de la température

▪ **Interprétation :**

-La température exerce une grande influence sur la viscosité :

La viscosité diminue avec l'augmentation de la température de l'huile.

-Les deux qualités d'huiles (brute et raffinée) ont pratiquement la même viscosité qui est Fonction de la nature des graines et ne semble pas dépendre de la qualité d'huile.

-Les résultats montrent que l'huile de coton est 8 à 17 fois plus visqueuse que le gasoil mesurer à la température de 40 °C

La viscosité à 40°C (exprimée en Cst) pour les différentes qualités d'huiles est :

- La raffinée : 33,43
- La brute : 33,84
- Le Gasoil : 2-4,5 (cf [1])

Cette viscosité élevée pose de problèmes notamment lors de l'alimentation des moteurs, une des solutions est donc de chauffer l'huile pour en abaisser la viscosité.

En comparaison avec la viscosité de l'huile de coton du tableau 1, nous pouvons affirmer que la méthode de détermination utilisée (NF EN ISO 3104) pour déterminer la viscosité reste applicable aux huiles végétales.

### **III.2 Densité**

La méthode utilisée pour la détermination de la densité est celle décrite par la norme ISO 12185 :1996

○ **Principe de la méthode**

Une petite fraction de l'échantillon d'essai est introduite dans un tube en U oscillant. Le changement dans la masse de tube, induit, par excitation électronique, un changement de la fréquence d'oscillation conjointement avec les données du calibrage pour déterminer la densité de l'échantillon. [31]

Le densimètre affiche la valeur de densité à la température de mesures (25°C). Cette valeur est ramenée à une température de référence de 15°C grâce à des tables de conversion de densité à 15°C selon ASTM Norme ISO N°91/1, appliquée aux produits pétroliers.

Le protocole utilisé pour déterminer la densité des huiles végétales nous est présenté en annexe 3.



**Photo 3 : densimètre DMA38**

○ **Résultats et interprétation :**

▪ **Résultats**

Les mesures de la densité à 15°C des deux qualités d'huile de coton ont données les valeurs moyennes ci-dessous :

-Huile raffinée : 0,921 (Kg/l)

-Huile brute : 0,931 (Kg/l)

Nous trouvons en détail, les résultats des mesures en Annexe 1

La valeur de la densité de l'huile de coton souvent rencontrée dans la littérature se situe autour de 0,920 à 20°C.

NB : chaque test a été effectué en double

▪ **Interprétation**

Il est à remarquer que l'huile brute est plus dense, car elle contient plus d'impuretés. La densité de l'huile de coton est de 10% supérieure à celle du gasoil (0,836). [18]

En raison de cette différence de densité, le PCI de l'huile de coton exprimé en unité de volume se rapproche de celui du gasoil comme le montre le tableau ci-contre.

Pour le consommateur, l'expression du Pouvoir calorifique est plus explicite en énergie/litre, car ce sont bien des litres qui sont vendus ;

**Tableau 4 : comparaison entre les PCI volumiques de l'huile de coton et du gasoil**

Produit	formule	Coton raffinée	Coton brute	gasoil
Densité (Kg/l)	$\rho$	0,9212	0,931	0,828*
PCI <sub>pds</sub> (KJ/Kg)		36784 *	36784	44308*
PCI <sub>vol</sub> (KJ/L) <sup>10</sup>	$PCI_{pds} = PCI_{vol} \times \rho$	33885,5	34246	36687
% du gasoil	$\%GO = \frac{PCI_{vol}(HV)}{PCI_{vol}(GO)}$	92,3	93,3	

✚ source : institut français des huiles végétales pures (J.Lambert, Les huiles végétales : 2000 plantes oléagineuses répertoriées décembre 2005, page 9)

### III.3 Teneur en sédiments

Pour la détermination de la teneur en sédiments (exprimées en pourcentage de masse de l'échantillon), la méthode par extraction de la norme internationale ISO 3735 prévue pour les produits pétroliers a été utilisée.

#### o 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. La masse du résidu, calculée en pourcentage, est notée comme étant la masse des sédiments par extractions. [29]

Nous voyons l'appareil d'extraction pour la détermination de la teneur en sédiments sur la photographie 4

Le protocole utilisé pour la détermination de la teneur en sédiments des huiles végétales est présenté en annexe 4.

#### o Résultats et interprétation :

##### ▪ Résultats

<sup>10</sup> PCI (kJ /kg) x densités = PCI (kJ/L)

Avec des tests effectués en double pour la détermination de la teneur en sédiments (% de masse de l'échantillon), nous trouvons les valeurs moyennes suivantes :

- Huiles raffinée : 0,0866.

- Huiles brutes : 2,5430.

Pour détail des résultats des mesures voir Tableau 2 en Annexe 1



**Photo 4** : appareil d'extraction pour la détermination de la teneur en sédiments.

#### ▪ **Interprétation**

Le résultat montre que l'huile brute contient plus d'impuretés (30 fois) que la qualité raffinée. Notre huile brute posera sûrement plus de dommage dans le moteur : colmatage prématuré des filtres, encrassement du circuit de carburation, effet abrasif sur le système d'injection.

Mais toute fois pour éviter tout risque d'endommagement du moteur, l'huile doit être très propre et sans particules. La Société National Burkinabé d'hydrocarbure fixe comme spécification pour le DDO, une valeur maximale de 0,01<sup>11</sup> (Annexe 6).

Pour la teneur en sédiments, la prénorme allemande (voir tableau 3) fixe comme spécification la valeur maximale de 25 mg/kg (soit 0,0025 en pourcentage de poids). Cette valeur issue d'analyse au laboratoire, utilisant des filtres dont les diamètres de ports atteignent une finesse de 0.8  $\mu\text{m}$  [29], ne pourrait être reproductible à l'échelle

---

<sup>11</sup> En pourcentage de poids

industrielle. Ainsi dans une unité de production la teneur en sédiments sera toujours supérieure à la norme.

Ainsi pour obtenir une huile très propre pour son utilisation comme carburant, une vigilance accrue dans la surveillance du processus de filtration mis en place sur l'unité de production est nécessaire. Un filtre final de sécurité est par exemple nécessaire.

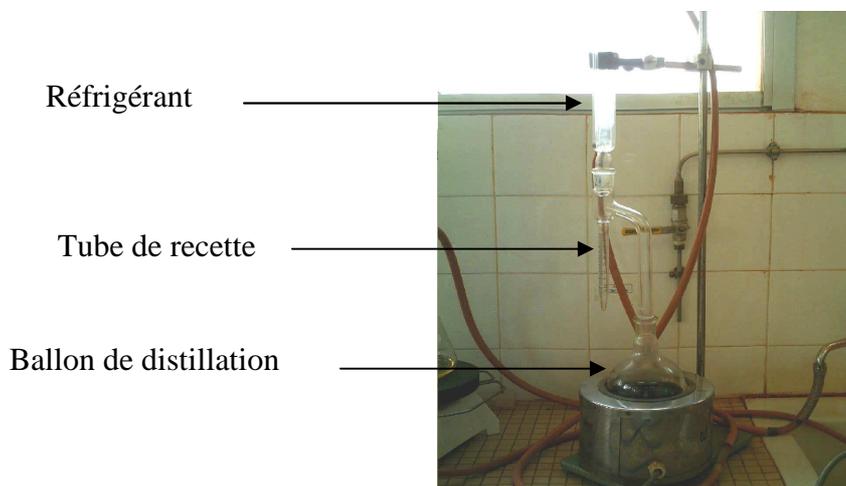
### **III.4 Teneur en eau**

La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en eau est celle décrite par la norme NF T60 113 prévue pour les produits pétroliers ;

#### **○ Principe de la méthode**

La prise d'essai est chauffée sous reflux avec un solvant non miscible dans l'eau qui codistille avec l'eau contenue dans la prise d'essai. Le solvant condensé et l'eau sont séparés en continu dans un tube de recette. L'eau restant dans la partie graduée du tube de recette et le solvant retournant dans l'appareil de distillation. [30]

Ci –dessous le montage classique avec récipient de distillation



**Photo 5 :** montage de l'appareil de distillation sur le dispositif de chauffage

Le protocole permettant de déterminer la teneur en eau est présenté en annexe 5.

#### **○ Résultat et interprétation.**

##### **▪ Résultats**

Chaque test pour la détermination de la teneur en eau, a été effectué en double. Nous obtenons ainsi les valeurs moyennes ci-après :

Raffinée : 0,03 (% volume)

Brute : 0,375 (% de volume)

Voir Tableau 4 de l'Annexe 1, pour les valeurs de mesures trouvées.

#### ▪ **Interprétation**

La Société Nationale Burkinabè d'Hydrocarbure, fixe une spécification de 0,05 (en % volume) pour le DDO ( Annexe 6).

La spécification de la prénorme allemande et autrichienne est de 0,075 (% volume).

L'huile brute ne répond dont pas aux spécifications.

Sa forte teneur en eau posera sûrement de problèmes de corrosion dans le réservoir et dans le moteur, lorsqu'on laisse l'huile avec l'eau dans le moteur.

La teneur en eau de l'huile raffinée ne constitue pas un danger pour les moteurs diesel.

### **III.6 Indice de cétane**

L'indice de cétane est déterminé par calcul, à partir de mesures de masse volumique à 15°C, et des points de distillation<sup>12</sup>: 10% condensé, 50% condensé, et 90% condensé données automatiquement par l'appareil de distillation<sup>13</sup>.

Malheureusement les différents points n'ont pu être déterminés

Les raisons peuvent être les suivantes :

- Un mauvais paramétrage du programme de distillation adapté aux produits pétroliers ;
- D'autre part les huiles végétales distillent très mal : Les huiles présentent un point initial de distillation entre 150 et 200°C, atteignant 10 % de distillation vers 300°C puis se décomposent thermiquement<sup>14</sup> avant d'atteindre 350°C alors qu'elles n'ont pas dépassé 20-30 % de distillation. [18]

---

<sup>12</sup> Températures aux lesquelles s'effectue la distillation des fractions en pourcentage du produit

<sup>13</sup> Le distillateur automatique comprend un programme de logiciel sous Windows 95 qui indique grâce à une sonde les points de distillations et les volumes condensés sont automatiquement repérés par un voyant.

Les paramètres à entrer sont

<sup>14</sup> Signes : apparition de fumée, variations irrégulières de la température des vapeurs, dans la majorité des cas abaissement de cette température malgré une augmentation de chauffage



**Photo 6 : Distillateur automatique**

Dans les littératures on peut néanmoins trouver les valeurs de l'indice de cétane des différentes qualités d'huile de coton :

**Tableau 5: valeurs de l'indice de cétane pour différentes qualités d'huile de coton**

<b>Qualité huile</b>	<b>Indice de cétane</b>
Coton raffinée	-
Coton semi-raffinée (neutre)	34
Coton brute	36

**Source :** VAITILINGOM G., HIGELIN P., ANDRZEJEWSKI J., SAPINSKI A, Influence du nitrate d'hexyle et de la température de l'air admis sur les délais d'inflammation des huiles végétales dans un moteur diesel. Entropie, à paraître.

Ces valeurs ont été calculées au cours des essais, par interpolation linéaire sur les délais mesurés à pression égale par rapport à deux carburants d'indices connus. [18]

Les valeurs usuelles dans les publications fluctuent entre 35-40 ;

Nous pouvons affirmer jusqu'à preuve de contraire que la méthode n'est pas valable pour les huiles végétales qui distillent très mal.

#### **IV. Conclusion :**

Les travaux effectués au sein du laboratoire d'analyse de la SONABHY, ont abouti à la mise au point des protocoles d'analyses pour caractériser les huiles végétales comme carburant, basés sur des méthodes simples, et rapides.

Ces protocoles ont l'avantage sur les méthodes européennes pour caractériser les huiles végétales, lesquelles sont très complexes et onéreuses.

Chaque test a fait l'objet de double manipulation afin de s'assurer de la validité des méthodes. Les valeurs mesurées pour chaque test sont ainsi très proches les unes des autres et ne sont pas loin de celles rencontrées dans les littératures. Nous pouvons dire que ces méthodes sont valables pour les huiles végétales.

Pour établir la fidélité (répétabilité<sup>15</sup> et reproductibilité<sup>16</sup>) de ces méthodes, qui est chiffrée à partir d'examen statistique des résultats inter-laboratoires, il faudra de longue série d'essais. Ce qui est une opération très délicate, qui doit prendre énormément de temps et pourra donc faire à long terme.

Ces protocoles seront utilisés au laboratoire d'analyse biomasse énergie et biocarburant au sein du 2iE.

Désormais les producteurs et les utilisateurs d'huiles végétales possèdent un moyen simple pour attester de la qualité des huiles comme carburant dans les moteurs.

Ces protocoles feront l'objet de projet de norme pour les pays africains et pourquoi pas pour d'autres continents.

---

<sup>15</sup> La répétabilité est définie suite à une longue série d'essais effectués, en appliquant normalement et correctement la méthode, par le même opérateur utilisant le même appareillage, dans les conditions identiques et sur un même produit

<sup>16</sup> La reproductibilité est définie suite à une longue série d'essais effectués en appliquant normalement et correctement la méthode, par différents opérateurs travaillant dans des laboratoires différents sur un même produit

## **V. Orientation de la recherche expérimentale**

Pour une utilisation carburant, les huiles végétales (huile de coton en particulier) doivent impérativement répondre à des normes de qualité. Pour s'assurer de la qualité de l'huile de coton, il faut donc se fixer des valeurs limites et des degrés admissibles des différents paramètres de caractérisation.

Aujourd'hui seuls les standards européens pour la qualité des huiles végétales comme carburant existent (standard allemand, ÖNORM ou norme autrichienne).

Il serait intéressant de développer pour l'Afrique une norme de spécifications pour la qualité les huiles végétales comme carburant.

Beaucoup de travaux et études restent encore à faire quant à la mise au point de cette norme.

Pour l'orientation des travaux de recherche nos propositions sont les suivantes :

- A court terme, il faudra développer d'autres protocoles pour la détermination des paramètres physico-chimiques importants pour la caractérisation des huiles végétales comme carburant, notamment :
  - la teneur en gommes
  - L'acidité des huiles
  - L'indice de cétane
  - La teneur en cendre
  - Le point éclair
  - Le pouvoir calorifique
  
- A long terme, dans l'objectif de développer la filière huile végétale pure à une échelle Importante, il est indispensable de:
  - Mettre au point une norme de production des huiles végétales pour utilisation comme carburant et ce depuis le processus d'extraction ( propriétés physiques , chimiques , biologiques des graines) et de filtration , jusqu'à son utilisation comme carburant dans les moteurs diesel : véhicule , moteurs fixes ( décortiqueurs , broyeurs) , motoculteur, groupe électrogène .
  - Bien cerner les conditions nécessaires et suffisantes que doivent remplir les moteurs diesels pour fonctionner de manière satisfaisante avec les huiles végétales.

- Explorer les possibilités des ressources en matière première en Afrique pour la production des huiles végétales à de fin carburant ;

L'utilisation d'huile-déchets (huiles de friture usagée, graisses d'abattoir, huiles de poissonnerie) est à cet effet très intéressant du point de vue de l'écobilan : elle n'ajoute pas de cultures supplémentaires, et évite de plus de rejeter ces huiles. Il est tout à fait possible, après décantation et filtration à 1 micron, d'utiliser de l'huile alimentaire usagée comme carburant. Ces huiles sont très oxydées et ont donc une meilleure combustion.

## **CONCLUSION GENERALE**

D'énorme potentiel d'utilisation des huiles végétales comme carburant existe en Afrique et dans de nombreuses parties du monde.

La production mondiale d'huiles végétales devrait avoisiner, en 2006-2007, 129 millions de tonnes contre 123 millions de tonnes pour la campagne 2005-2006, incluant les huiles marginales (maïs, sésame, noix). Au cours des dix dernières années, cette production a connu une progression de l'ordre de 50 %, soit une croissance moyenne de 5 % par an.[1]

La production totale d'huile végétale en Afrique de l'Ouest et du Centre devrait se situer pour 2005-2006 à un peu plus de 2,3 millions de tonnes.[17]

Elles constituent grâce à leurs caractéristiques physico-chimiques, des produits proches des carburants pour moteurs diesels.

Elles entrent aujourd'hui de plain-pied comme nouvelle source d'énergies respectueuses de l'environnement et pour les économies du Sud, elles offrent un intérêt considérable.

L'emploi généralisé d'huiles végétales - comme carburant - permettra de réduire la dépendance énergétique de certains pays qui pourront produire sur place leur propre carburant « vert ». Cette idée rejoint la nouvelle approche actuelle de l'utilisation de l'énergie. Les moteurs les plus adaptés sont de type diesel. Les transformations à apporter aux moteurs de base ne sont pas conséquentes. Elles seront d'un coût moindre pour les moteurs à injection indirecte que pour les moteurs à injection directe.

La problématique technique de l'utilisation des huiles végétales comme carburant s'articule autour du mariage entre le moteur et l'huile, qui se décline donc en deux questions :

-Quel type d'huile est susceptible de fonctionner dans le moteur ?

-Comment rendre les moteurs aptes à carburer à l'huile végétale ?

Pour utiliser les huiles végétales comme carburant, il faut arriver à les caractériser et à cerner les conditions nécessaires d'adaptation des moteurs diesel pour leur fonctionnement à l'huile végétales.

Sur le deuxième point, bon nombre des travaux sur les modifications des types de moteurs diesel (injection directe et indirecte) pour leur fonctionnement à l'huile végétale ont été réalisés par le CIRAD. Et aussi la société allemande ELSBETT, développe depuis une vingtaine d'année des kits d'adaptation et des moteurs spécifiquement adaptés aux huiles végétales.

Aujourd'hui il n'existe pas en tant que tel des normes de spécifications sur les huiles végétales comme carburant, ce qui limite le développement de cette filière.

La plupart des méthodes d'analyses utilisées en Europe pour caractériser les huiles végétales comme carburant, sont basées sur celles appliquées aux produits pétroliers qui sont cependant onéreuses et très complexes dans leur mise en œuvre.

La mise au point des protocoles d'analyses, qui est l'objet de cette étude, vise à répondre aux attentes du producteur comme de l'utilisateur qui ne dispose pas de moyen simple pour attester de la qualité des huiles comme carburant.

La substitution totale ou partielle des huiles végétales comme carburant aux combustibles diesel des moteurs, fait lentement son « petit bonhomme de chemin », surtout au niveau africain où de « véritable » études n'ont jusqu'à présent pas été menées (à part quelques études sur l'huile de pourghère et l'huile de palme).

L'Afrique devra déjà prendre « le train de la recherche sur les ressources alternatives aux pétroles et gaz » en marche, en investissant d'avantage ans ce domaine, pour ne pas être surpris, lorsque viendra à manquer les énergies fossiles.

Comme nous l'avons vu les biocarburants en particulier les huiles végétales, offrent de meilleures perspectives du point de vue économique, et méritent donc une attention particulière tant des pouvoirs politiques que des chercheurs.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Daniel Ballerini, Nathalie Alazard-Toux, IFP Publications dans : les biocarburants Etats de lieux et perspectives et enjeux du développement, Ed Technip, p10 ,169, paris 2006 .
- [2] Agence Internationale de l'Energie (2004) World Energie Outlook 2004, OECD/IEA, Paris.
- [3] European Commission, Directorate-General for Research Energy (2003) World Energy, Technology and climate Policy Outlook 2030 – WOTO -. European Commission, Luxembourg.
- [4] Stéphane His, le point sur les biocarburants dans le monde, IFP Panorama 2005, 25 Novembre 2004.
- [5] Institut de Coopération au Développement Economique et Social, les Biocarburants en Afrique, travail de recherche Juin 2006, page 4-8.
- [6] Tout savoir sur les biocarburants Les perspectives et les recherches conduites à l'IFP, <http://decouverte.ifp.fr>
- [7] Huile végétale –définition –Encyclopédie scientifique en ligne, <http://techno-science.net>
- [8] G .Vaitilingom, utilisations énergétiques de l'huile de coton, Cahiers Agricultures vol. 15, n° 144 1, janvier-février 2006, page 144-149.
- [9] Vaitilingom G. Utilisation des huiles végétales comme carburant des moteurs diesels. Oléagineux 1983 ; 38 : 8-9.
- [10] Directive 2003/30/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne, du 8 mai 2003 visant à promouvoir l'utilisation de biocarburants ou autres carburants renouvelables dans les transports. JOCE, 17 mai 2003.
- [11] Vaitilingom G, Liennard A, Courty P. Crudecopra oil, a biofuel for diesel generators. Moreself-reliance and higher incomes. First World conference on Biomass for energy and industry, Sevilla, 5-9 June 2000, Vol II.
- [12] Vaitilingom G, Liennard A. Various vegetable oils as fuel for Diesel and burners : Jatropha curcas particularities. In : Curcas J, ed. Biofuels and industrial products. Graz (Autriche): Technische Universität Graz, 1997.
- [13] Service Communication et Relations Publiques de la Présidence de DAGRIS – Décembre 2006, Chronique des huiles végétales et de leurs dérivés n°1) ;
- [14] Source : ValBioMag mars 2000-<http://www.notreplanete.info/actualite/lireactus.php>

- [15] Vaitilingom G. Étude des transformations des moteurs pour l'utilisation d'huile de coton à Moundou. Compagnie française pour le développement des fibres textiles (CFDT) et COTONTCHAD, eds. Moundou (Tchad): CFDT; COTONTCHAD, 1988.)
- [16] Propositions de la Commission Africaine de l'Energie (AFREC), aperçu sur la situation des hydrocarbures en Afrique- nécessité des stratégies et des directives cohérentes, Première conférence de l'union africaine des ministres en charge des hydrocarbures (pétrole-gaz) ,11-15 Décembre 2006 Caire (Egypte), page 16.
- [17] Barthélémy DE THEUX, utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs Diesel, travail de fin d'études, Institut Supérieur Industriel- Haute Ecole LEONARD de VINCI, 2003-2004, p 37-40, 52 ,61  
[http://www.riaed.net/IMG/pdf/VERSION\\_FINALE\\_TEXTE.pdf](http://www.riaed.net/IMG/pdf/VERSION_FINALE_TEXTE.pdf)
- [18] Gilles Vaïtilingom, huiles végétales biocombustibles-influence de la nature des huiles et en particulier de leur composition en acide gras sur la qualité-carburant, thèse, université d'Orléans, 10 janvier 1992, page 39 ,182 ,196-196.
- [19] Guiral Emmanuel, Saint CYR Christophe, les biocarburants en Rhône-Alpes : Potentialités des oléagineux et opportunités de l'huile végétale pure, mémoire de fin d'étude, 8 septembre 2005), pages 29-36, 60-63
- [20] ACEA - data of the sulphur effect on advanced emission control technologies - 07.00 sites <http://www.febiac.be/public/content.aspx>).
- [21] sites <http://www.chanvre-info.ch/info/fr/Production-extraction-et-analyse.html>).
- [22] ([http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie\\_Lubrifiants\\_liquides#densit.C3.A9](http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie_Lubrifiants_liquides#densit.C3.A9))
- [23] Huiles végétales généralité, <http://www.elsbett.com/fr/huilevegetale/generalites.html>, Mars
- [24] Dir .Labo : Yézouma COULIBALY et Joël BLIN ,Laboratoire Biomasse Energie t Biocarburant (LBEB),document de présentation, 2iE-LCP-Eau,version Mars 2007.
- [25] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>, Avril 2007
- [26] Les huiles végétales pures, de la graine au pôt d'échappement- Octobre 2005 – carburant vert -Edition tournesol – rapport Nov 2005 -page 25).
- [27] Technologie de la conversion ELSBETT, <http://www.elsbett.com>, Mars 2007)

- [28] AFNOR, commission Générale « Produits et Méthodes, produits pétroliers Tome 1 : combustibles liquides et gazeux Vol 2 p165, année 1999
- [29] AFNOR, commission Générale « Produits et Méthodes, produits pétroliers Tome 1 : combustibles liquides et gazeux Vol 3 – p79, 485, année 1999.
- [30] AFNOR, commission Générale « Produits et Méthodes, produits pétroliers Tome2 : Méthodes d’essai générales et particulières p321, année 1999
- [31] AFNOR, commission Générale « Produits et Méthodes, produits pétroliers Tome 3 : Lubrifiants Vol 2 -261, année 1999.

# Annexe