

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT EN GENIE CHIMIQUE

THEME

Caractérisation physico-chimique des huiles
végétales

Proposé et dirigé par :
Dr. A. MEFTI

Etudié par :
M. CHENAH Mohamed Amine

Soutenu publiquement le 29/06/2011 devant le jury composé de :

Mr A. SELATNIA	Professeur à l'ENP	Président
Mr T. AHMED ZAID	Professeur à l'ENP	Examinateur
Dr F. KIES	Maître Assistante à l'ENP	Examinatrice
Mme A. MEFTI	Maître de conférences à l'ENP	Rapporteuse

Promotion juin 2011

Remerciements

Je rends à mon dieu le grand merci de m'avoir donné le courage et la volonté pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Mes remerciements vont également à Mme A.MEFTI qui m'a fait l'honneur d'encadrer ce travail,

Mes remerciements vont aux membres du jury qui ont accepté de me faire l'honneur de leur présence : Monsieur A. SELATNIA, Monsieur T.AHMED ZAID et Melle F.KIES .

Je remercie enfin toutes les personnes qui m'ont aidés de loin ou de prêt à réaliser ce modeste travail.

Merci a tous.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

*À Mes très chers parents, les êtres les plus chers
dans ma vie , leur encouragement et leurs sacrifices
étaient le seul motivant durant mon cursus.*

À Ma chère sœur

À toute la famille Chenah et la famille Bouhafs

À tous mes amis un par un

*À tous ceux qui me sont très chers, qui m'ont été
d'un grand apport et que je ne saurais jamais
oublier.*

Mohamed Amin

ملخص:

الهدف من هذا العمل هوت شخيص الفيزيائي والكيميائي للزيوت النباتية المختلفة. وقد تم إجراء اختبارات أهم وأيسر منالا : الكثافة ومعامل الانكسار، واللون، و درجة السيالان، واللزوجة ومعامل الحموضة. وتمت مقارنة النتائج مع المعايير. وكذلك القيام بدراسة مقارنة لبعض الزيوت النباتية والوقود الأحفوري ضمن منظور حماية البيئة والتنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية : الزيت النباتي، وتحليل الفيزيائية، الوقود الحيوي

Résumé :

Le but de ce travail a pour objet la caractérisation physico-chimique de différentes huiles végétales. Les tests les plus importants et les plus accessibles ont été réalisés : densité, indice de réfraction, couleur, point de trouble et d'écoulement, viscosité et indice d'acide. Les résultats obtenus ont été comparés avec les normes. Et d'autre part procéder a une étude comparative entre les huiles végétales et certain carburant d'origine fossile dans une perspective de protection de l'environnement et de développement durable.

Mots-clés : huile végétale, analyse physico-chimique, biocarburant

Summary:

The aim of this work is to the physicochemical characterization of various vegetable oils. The most important tests and more accessible has been made: density, refractive index, color, cloud point and flow, viscosity and acid number. The results were compared with standards. And also undertake a comparative study of certain vegetable oils and fossil fuel within a perspective of environmental protection and sustainable development.

Keywords: vegetable oil, physicochemical analysis, biofuel

Liste des figures

Figure I.1 : Les glycérides

Figure I.2 : Formule générale des glycérides

Figure I.3 : Acide gras

Figure I.4 : Réaction de saponification

Figure II.1 : Décortiqueur à couteau

Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre cannelés à plusieurs étages

Figure II.3 : Conditionneur vertical

Figure II.4 : Procédé continu d'extraction de l'huile

Figure II.5 : Extracteur HILDEBRANDT

Figure III.1 : Viscosité du carburant en fonction de la température

Figure III.2 : Gaz rejeté avec une température inférieure à 500°C

Figure III.3 : Délai d'inflammation en fonction du carburant

Figure III.4 : Gaz rejeté avec une température supérieure à 500°C

Figure III.5 : Délai d'inflammation en fonction du carburant

Figure III.6 : Modifications du circuit d'alimentation

Figure IV.1 : Analyse de densité

Figure IV.2 : Comparaison visuelle de la couleur

Figure IV.3 : Analyse du point de trouble et d'écoulement

Figure IV.4 : Principe de la réfraction de la lumière

Figure IV.5 : Réfractomètre

Figure IV.6 : Viscosimètre Ubbelohde

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Quelques acides gras saturés linéaires

Tableau I.2 : isomérisation cis-trans

Tableau I.3 : Quelques acides gras insaturés linéaires

Tableau III.1 : composition chimique de gazole et d'une huile végétale

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza

Tableau III.3 : Caractéristiques "carburant" des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza

Tableau III.4 : Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés

Tableau IV.1 : Echantillons et leurs provenances

Tableau IV.2 : Acidité des échantillons

Tableau IV.3 : Densité des échantillons

Tableau IV.4 : Absorbance des échantillons

Tableau IV.5 : Point de trouble et point d'écoulement des échantillons

Tableau IV.6 : Indice de réfraction des échantillons

Tableau IV.7 : Viscosité des échantillons

Liste des abréviations

AG	Acide gras
AGE	Acide gras essentiel
CO	Monoxyde de carbone
HC	Hydrocarbure
NO _x	Oxydes d'azote
BIODIESEL	Esters méthyliques de l'huile de colza ou de tournesol
N	Nombre
tr	Tour
mn	Minute
ppm	Particules par million
%	Pourcentage

Sommaire

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
Introduction générale	1

Chapitre I :Définitions et généralités sur des huiles végétales

I.1.Définition des corps gras	2
I.2.dénominations et qualificatifs réglementaires	2
I.3.Origine des corps gras	2
I.4.Classification des huiles végétales	2
I.5.Les différentes familles des huiles	3
I.6.Composition des huiles végétales	3
I.6.1.Les lipides	3
a .Lipides simples	3
b. Lipides complexes	5
I.6.2.Acides gras	5
a. Acides gras saturés	6
b. Acides gras insaturés	6
c .Notion d'acide gras oméga (w)	7
d. Acides gras essentiels et acides gras indispensables	7
I.6.3. Les insaponifiables	8
I.7.Les propriétés physico-chimiques des huiles	8
I.7.1.Propriétés physiques	8
I.7.2.Principaux critères physiques	9
I.7.3.Les propriétés chimiques	9
I.7.4. Principaux critères chimiques	10

Chapitre II : Technologie de la production des huiles

II.1.Préparation des graines	12
II.1.1.Introduction	12
II.1.2.Nettoyage	12
II.1.3.Décorticage et dépelliculage	12
II.1.4.Broyage et tamisage	13
II.1.5.Conditionnement thermique de la graine	13
II.2.Extraction	14
II.2.1.Extraction physique	14
a . Procédé discontinu par presses hydrauliques	14
b. Procédé continu	15
II.2.2.Extraction par solvant	16
a . Les solvants	16
b . Extraction discontinue	17
c . Extraction continue	18
d . Récupération de l'huile de miscella	19
II.3.Raffinage des huiles	20
II.3.1.Définition	20
II.3.2.Les objectifs du raffinage	20
II.3.3.Les opérations essentielles du raffinage	20

Chapitre III : Utilisation des huiles végétales comme carburants

III .1.Introduction	22
III.2.Caractéristiques des huiles végétales pures	22
III.3.Classification des huiles végétales pures	22
III.4.Caractéristiques physiques et ''carburant'' des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza	23
III.5.Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels	24
III.5.1.Introduction : fonctionnement des moteurs Diesel	24
III.5.2.Les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte	24

III.5.3.Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant	24
III.5.4.Solutions proposées pour résoudre les problèmes	27
III.6.Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés	29
III.7.Conclusion	29

Chapitre IV : Contrôle de qualité des huiles

IV.1.Introduction	30
IV.2.Echantillonnage	30
IV.3.Composition des certains huiles végétales dans le marché national	30
IV.4.Analyse physico-chimique	30
IV.4.1.Analyse chimique	30
a. Acidité.....	30
IV.4.2.Analyse physique	32
a. Densité	32
b. Couleur	32
c. Point de trouble et point d'écoulement	33
d. Indice de réfraction.....	34
e. Viscosité	36
Conclusion générale	38
Bibliographie	IV

Ce travail s'inscrit dans le cadre des activités du laboratoire de Valorisation des énergies fossiles dirigé par le Pr.C.E.Chitour et dans le cadre d'un nouveau projet de recherches sur les biocarburants .

Il s'inscrit dans une démarche de développement durable puisqu'il a pour objet les produits de la biomasse qui sont des ressources alimentaires et dont les dérivés peuvent également servir de source d'énergie renouvelable.

Nous nous intéressons aux huiles végétales en tant que produit alimentaire de premier plan et à ce titre nous essayons de mettre au point un ensemble de tests simples et accessibles pouvant garantir les qualités principales dans un but de valorisation pour les producteurs et de protection pour les consommateurs.

Ces tests sont appliqués à plusieurs échantillons, par ailleurs l'aspect valorisation en tant que carburant est envisagé à travers l'option biocarburant qui est présentée dans la partie théorique.

Chapitre I :Définitions et généralités sur des huiles végétales

I.1.Définition des corps gras [1]

Les huiles végétales ou les corps gras sont des composés organiques insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques tels que l'Hexane et le Chloroforme. Ce sont des sources des lipides essentiels et sont considérées comme produits de haute importance en raison qu'ils jouent de façon directe ou indirecte, immédiatement ou retardée, un rôle énergétique, structural et fonctionnel.

Les corps gras sont des aliments dont le pourcentage en lipides est très élevé .

I.2.Dénominations et qualificatifs réglementaires [1]

« Huile vierge de... » : Dénomination réservée aux huiles alimentaires provenant exclusivement de la graine ou du fruit dont le nom figure sur la dénomination. Les huiles ainsi dénommées doivent avoir été obtenues uniquement par des procédés mécaniques, clarifiées seulement par des moyens physiques ou mécaniques et n'avoir subi aucun traitement chimique, ni aucune opération de raffinage.

« Huile de... » : Toute huile, autre que l'huile d'olive, provenant d'une seule graine ou d'un seul fruit, qui en sus des opérations prévues pour les huiles vierges, a subi celles du raffinage. La présence d'une huile étrangère peut être tolérée jusqu'à 2% dans le produit fini, compte tenu de certains impératifs techniques .

I.3.Origine des corps gras

Les corps gras sont d'origine végétale ou animale [2]

- **les corps gras d'origine végétale** : Les huiles et les graisses végétales sont le plus souvent extraites des graines de végétaux (arachide, tournesol, colza, soja), leur extraction à partir de la pulpe des fruits est limitée à deux principales espèces : Olive et palme
- **les corps gras d'origine animale** : Il s'agit ici d'une source importante de graisses et d'huiles diverses. On cite à titre d'exemple : saindoux et suif, huile de poisson, ...

I.4.Classification des huiles végétales

Selon le mode de trituration, on distingue deux grands types des huiles [1] :

- **Huiles végétales concrètes**

Les huiles végétales concrètes sont issues de la trituration des fruits : le Coprah issue de la noix de coco, le palme issue du palmier à l'huile et le palmiste issu de son amande.

Ces produits se trouvent dans les trois types d'utilisation :

- Alimentation humaine : biscuit, margarinerie,...etc.
- Alimentation animale : les poudres de lait pour les jeunes animaux.
- Usages industriels : cosmétiques, savonnerie,...etc.

- **Huiles végétales fluides**

Les huiles végétales fluides sont issues de la trituration des graines issues des plantes saisonnières, on trouve principalement des huiles de soja, colza, tournesol et maïs elles sont très utilisées dans :

- le secteur alimentaire : mayonnaise, et assaisonnement
- Alimentation animale ou par usages industriels notamment pour la fabrication des peintures et vernis...etc.

I.5. Les différentes familles des huiles

Les huiles se répartissent en 3 familles [3]:

Famille oléique : ce sont les acides gras (AG) mono insaturés. Ils interviennent dans le métabolisme du cholestérol et protègent contre les maladies cardiovasculaires. L'huile d'olive reste la meilleure source d'acide oléique, mais contient peu d'AG poly insaturés dont certaines sont nécessaires à l'organisme. L'huile d'arachide, quant à elle, est trop riche en AG mono insaturé. il vaut mieux l'éviter.

Famille linoléique : parmi les acides gras (AG) poly insaturés, certains sont essentiels à Notre organisme qui ne les fabrique pas. C'est le cas de l'acide linoléique qui fait partie des Oméga 6. L'huile de tournesol est la plus riche en vitamine E, antioxydant des vaisseaux et du cœur. L'huile de maïs est riche en acide oléique et linoléique Les huiles de pépin de raisin et de maïs sont pourvues en Oméga 3.

Famille alpha-linoléique : c'est un acide gras essentiel (AGE) qui fait partie des oméga 3. Il joue un rôle dans la protection des maladies cardiovasculaires. L'huile de Colza et huile de Soja sont riches en Oméga 3. L'huile de Germe de blé est riche en vitamine E. L'huile de noix est la plus riche en Oméga 3. Huiles conseillées : Huile d'olive, de Tournesol et de Noix.

I.6. Composition des huiles végétales [4]

I.6.1. Les lipides

a . Lipides simples

Les lipides simples ou homolipides sont les lipides qui ne contiennent que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Ils sont souvent des esters d'un alcool et d'acides gras. Les lipides simples sont classés en trois groupes : les glycérides, les cérides et les stérides.

➤ Glycérides

Les glycérides sont des lipides simples aussi appelés graisses. Ce sont des esters du glycérol et d'acides gras (un, deux ou trois acides gras). Selon le nombre d'acides gras combinés au glycérol, on distingue les monoglycérides, les diglycérides et les triglycérides.

Les triglycérides sont les constituants principaux des graisses animales et des huiles végétales (plus de 95%). Les monoglycérides et les diglycérides sont beaucoup moins abondants que les triglycérides.

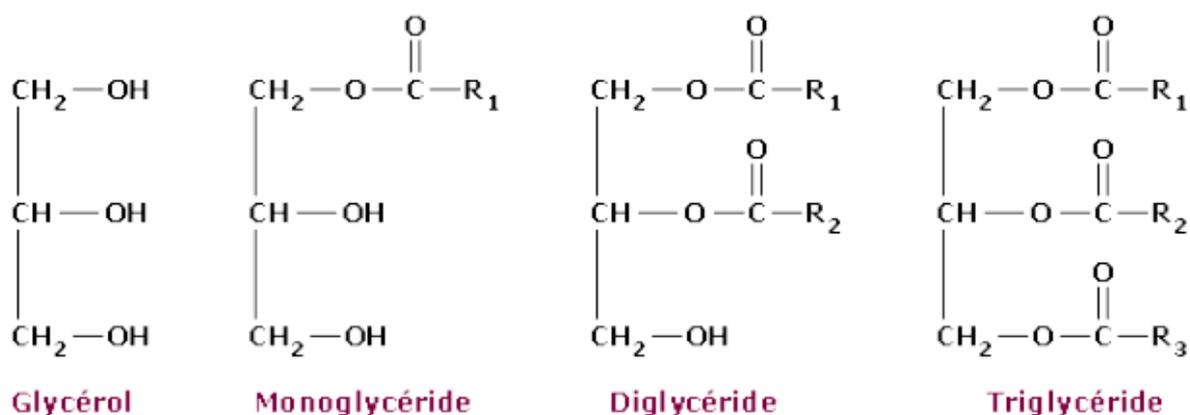


Figure I.1 : Les glycérides

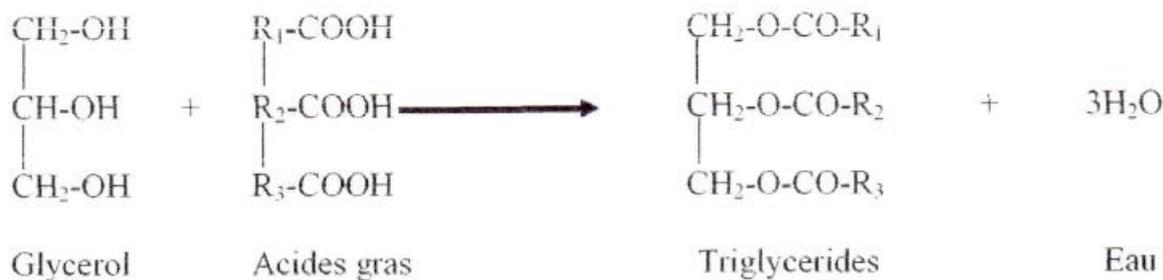


Figure I.2 : formule générale des glycérides

R1, **R2** et **R3** sont les radicaux d'acides organiques à chaînes linéaires dont le nombre d'atomes de carbone est paire et généralement compris entre 4 et 24

➤ Cérides

Les cérides sont également appelés cires. Ce sont des esters d'un alcool aliphatique primaire de longue chaîne, appelé alcool gras, et d'acides gras supérieurs à l'acide palmitique (16 atomes de carbones). Ils se trouvent aussi bien chez les végétaux que chez les animaux.

➤ Stérides

Les stérides sont des esters d'acides gras et de stérols. Les stérols sont des alcools tetracycliques rattachés au groupe des stéroïdes.

b. Lipides complexes

Les lipides complexes sont des lipides qui contiennent en plus du carbone, hydrogène et oxygène un ou plusieurs hétéroatomes (azote, phosphore, soufre). Suivant la nature de l'hétéroatome, on distingue : les lipides phosphorés, les lipides azotés et les lipides soufrés.

➤ Lipides phosphorés

On appelle phospholipides (ou lipides phosphorés) les composés lipidiques contenant du phosphore. Ce sont les constituants principaux des membranes biologiques. On désigne sous le terme "phospholipides" l'ensemble des glycérophospholipides et des sphingophospholipides

Les sphingophospholipides sont des lipides membranaires ne contenant pas de glycérol. Ce sont composés d'un acide gras à longue chaîne, un alcool gras aminé comme la sphingosine .

La sphingosine est un composé de 18 atomes de carbone, une double liaison trans, un groupement aminé et 2 hydroxydes.

I.6.2.Acides gras

Les acides gras sont des acides carboxyliques aliphatiques à chaîne carbonée plus ou moins longue dérivant ou contenu dans les graisses animales et végétales.



Figure I.3 : Acide gras

Les acides gras ont généralement un goût aigre et une odeur prononcée. Ils sont insolubles dans l'eau, mais solubles entre eux et dans les solvants organiques comme l'éther.

Les acides gras diffèrent entre eux par la longueur de la chaîne carbonée (de 4 à 18 atomes de carbone pour les acides gras les plus connus, généralement un nombre paire) et par le type de liaisons qui réunissent leurs atomes de carbone : on dit qu'ils sont saturés lorsqu'ils ne contiennent que de simples liaisons carbone-carbone, et insaturés lorsqu'ils comptent au moins une double liaison carbone=carbone.

a. Acides gras saturés

Un acide gras saturé est un acide gras totalement saturé en hydrogène : toutes les liaisons entre les carbones sont simples (pas de liaisons doubles). Les acides gras saturés sont généralement solides à température ambiante (sous forme de graisse) à l'exception des acides butyrique ($C_4H_8O_2$) et caproïque ($C_6H_{12}O_2$). On les trouve dans les aliments d'origine animale comme le beurre, le lait et le fromage.

Les acides gras saturés ont pour formule chimique générale : $H_3C - [CH_2]_n - COOH$ où n est un nombre entier égal ou supérieur à 2.

Tableau I.1 : Quelques acides gras saturés linéaires

Nom usuel	Nomenclature chimique (IUPAC)	Nomenclature physiologiques	Formule chimique semi-développée
acide butyrique	acide butanoïque	C4:0	$H_3C-(CH_2)_2-COOH$
acide valérique	acide pentanoïque	C5:0	$H_3C-(CH_2)_3-COOH$
acide caproïque	acide hexanoïque	C6:0	$H_3C-(CH_2)_4-COOH$
acide énanthique	acide heptanoïque	C7:0	$H_3C-(CH_2)_5-COOH$
acide caprylique	acide octanoïque	C8:0	$H_3C-(CH_2)_6-COOH$
acide pélargonique	acide nonanoïque	C9:0	$H_3C-(CH_2)_7-COOH$
acide caprique	acide décanoïque	C10:0	$H_3C-(CH_2)_8-COOH$
acide undécyclique	acide undécanoïque	C11:0	$H_3C-(CH_2)_9-COOH$
acide laurique	acide dodécanoïque	C12:0	$H_3C-(CH_2)_{10}-COOH$
acide tridécyclique	acide tridécanoïque	C13:0	$H_3C-(CH_2)_{11}-COOH$
acide myristique	acide tétradécanoïque	C14:0	$H_3C-(CH_2)_{12}-COOH$
acide pentadécyclique	acide pentadécanoïque	C15:0	$H_3C-(CH_2)_{13}-COOH$
acide palmitique	acide hexadécanoïque	C16:0	$H_3C-(CH_2)_{14}-COOH$
acide margarique	acide heptadécanoïque	C17:0	$H_3C-(CH_2)_{15}-COOH$
acide stéarique	acide octodécanoïque	C18:0	$H_3C-(CH_2)_{16}-COOH$

b. Acides gras insaturés

Un acide gras insaturé est un acide gras contenant une ou plusieurs insaturations (présence de doubles liaisons carbone=carbone). Il est monoinsaturé s'il contient une seule double liaison carbone=carbone et polyinsaturé s'il contient deux ou plusieurs doubles liaisons carbone=carbone. La présence d'une double liaison dans un acide gras entraîne une isomérisation cis-trans.

Tableau I.2 : Isomérisation cis-trans

Une double liaison <i>cis</i> :	Une double liaison <i>trans</i> :
$ \begin{array}{ccc} H & & H \\ & \backslash & / \\ & C = C \\ & / & \backslash \\ CH_3 & & COOH \end{array} $	$ \begin{array}{ccc} H & & COOH \\ & \backslash & / \\ & C = C \\ & / & \backslash \\ CH_3 & & H \end{array} $
<i>Les 2 hydrogènes sont du même côté</i>	<i>Les 2 hydrogènes sont opposés</i>

Les acides gras naturels sont généralement de configuration *cis*. Cependant, on peut trouver des acides gras *trans* naturels dans certains aliments comme les produits laitiers, les graisses et la viande des ruminants. Ces acides gras *trans* proviennent de la transformation bactérienne des acides gras insaturés dans le rumen. L'autre source d'acide gras *trans* est l'hydrogénation catalytique partielle d'acides gras polyinsaturés.

A température ordinaire, les acides gras insaturés sont liquides (huiles) qu'on les trouve généralement dans les aliments d'origine végétale. Il est possible de transformer des huiles en graisses par hydrogénation de leurs doubles liaisons (ajout d'atomes d'hydrogène), ce qui correspond à une saturation des doubles liaisons. Cette opération est utilisée par exemple pour obtenir les margarines à partir des huiles végétales.

Tableau I.3 : Quelques acides gras insaturés linéaires

Nom usuel	Abréviation utilisée en biochimie	Nomenclature chimique (IUPAC)	Nomenclature physiologique
Acide gras mono-insaturés			
acide palmitoléique		acide 7Z-hexadécénoïque	C16:1 w-7
acide oléique		acide 9Z-octadécénoïque	C18:1 w-9
acide érucique		acide 13Z-docosaénoïque	C22:1 w-9
acide nervonique		acide 15Z-tétracosaénoïque	C24:1 w-9
Acide gras poly-insaturés			
acide linoléique	AL	acide 9Z,12Z-octadécadiénoïque	C18:2 w-6
acide alpha-linolénique	ALA	acide 9Z,12Z,15Z-octadécatriénoïque	C18:3 w-3
acide arachidonique		acide 5Z,8Z,11Z,14Z-éicosatétraénoïque	C20:4 w-6
acide éicosapentaénoïque	EPA	acide 5Z,8Z,11Z,14Z,17Z-éicosapentaénoïque	C20:5 w-3
acide docosahexaénoïque	DHA	acide 4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z-docosahexaénoïque	C22:6 w-3

c. Notion d'acide gras oméga (w)

La signification de la lettre oméga (w) provient de la nomenclature physiologique et biochimique des acides gras insaturés. Cette nomenclature, indique juste le nombre de carbones, le nombre d'insaturations et la position de la première double liaison (en partant du côté opposé du groupe acide). Cette dernière est exprimée par la lettre oméga (w). Parfois, la lettre oméga est remplacée par la lettre n ou par la lettre d.

d. Acides gras essentiels et acides gras indispensables

Les nutritionnistes appellent les acides gras indispensables, les acides gras que le corps est incapable de les synthétiser lui-même. Ces acides gras doivent donc être apportés obligatoirement par l'alimentation. A partir d'eux l'organisme est ensuite capable de synthétiser les autres acides gras, dont le corps en a besoin pour fonctionner. Ces derniers acides gras pouvant être synthétisés prennent le nom d'acides gras essentiels.

Pour les chimistes, en revanche, les acides gras sont dits essentiels si l'organisme en a besoin pour vivre et s'il n'est pas capable de les synthétiser lui-même. C'est en fait ceux que les nutritionnistes appellent acides gras indispensables. Les autres acides sont tout simplement appelés acides gras par les chimistes alors que les nutritionnistes les appellent acides gras essentiels. Ainsi, il faudra toujours faire attention dans l'appellation des acides gras c'est à dire si l'on se place d'un point de vue chimiste ou nutritionniste.

La définition la plus courante et la plus utilisée est celle des chimistes et c'est cette définition que nous allons prendre en compte dans notre cas : Un acide gras est qualifié d'"essentiel" lorsque l'organisme ne peut les fabriquer qu'en petite quantité voire pas du tout ; ils doivent, par conséquent, être apportés par la nourriture quotidienne ou par une supplémentation appropriée.

Les acides gras essentiels sont au nombre de deux : l'acide linoléique (C18:2, ω -6) et l'acide alpha linoléique (C18:3, ω -3). Chacun d'eux appartient à une famille différente ; le premier est de la famille des oméga 6 et le deuxième est de la famille des oméga 3. L'acide linoléique est principalement contenu dans certaines huiles végétales dites vierges et de première pression à froid (huile d'arachide, huiles d'onagre, de tournesol, de carthame, ...), dans les oeufs, les laitages, dans la viande de gibier sauvage (particulièrement dans le foie). L'acide alpha-linolénique provient des végétaux verts, de certains végétaux aquatiques (ex: Spiruline), des produits de la mer (ex: huiles de poissons des mers froides tels le saumon, le flétan, le maquereau, ...), de certaines huiles végétales (de bourrache, huiles de noix, de soya, de lin, ...). Les deux acides constituent ensemble ce qu'on appelait autrefois la vitamine F.

I.6.3. Les insaponifiables [4,5]

Ils sont divisés en quatre catégories : les terpénoïdes, les caroténoïdes, les quinones à chaîne isoprénique et les stéroïdes. Les carotènes (pigment rouge-orangé), les xanthophylles (pigment jaune) et la vitamine **A** font partie des caroténoïdes. La vitamine **E**, la vitamine **K**, les ubiquinones et les plastoquinones font partie des quinones à chaîne isoprénique. Les stéroïdes regroupent les stérols, les acides biliaires, les hormones stéroïdes et la vitamine **D**.

I.7. Les propriétés physico-chimiques des huiles

La qualité des huiles se contrôle par l'étude de ses propriétés physico-chimiques et biologiques, ce sont des critères de qualité ou de pureté des huiles.

I.7.1. Propriétés physiques [1]

➤ Etat naturel et aspect

On sait que les corps gras sont liquides ou solides à la température ambiante suivant leur composition chimique. Rappelons quelques règles générales : les glycérides constituant

sont d'autant plus solides qu'ils sont plus saturés et que leur poids moléculaire est plus élevé. C'est pourquoi on hydrogène certaines huiles quand on a besoin de produits solides.

➤ **Caractères particuliers des glycérides saturés**

Le point de fusion croît avec le nombre d'atomes de carbone, La solubilité dans l'eau décroît avec le nombre d'atome d'atomes de carbone, La solubilité dans les solvants décroît avec le nombre d'atomes de carbone.

➤ **Caractères particuliers des glycérides insaturés**

Pour une même longueur de chaîne, le point de fusion décroît avec le nombre des doubles liaisons. La solubilité dans les solvants croît avec les doubles liaisons. En ce qui concerne l'influence de la forme géométrique : le point de fusion des cis est plus bas que le point de fusion des trans. La solubilité dans les solvants est plus grande pour les cis que pour les trans .

I.7.2.principaux critères physiques [1]

Densité : La densité mesurée à 20°C d'une huile est le rapport du poids d'un certain volume de cette huile à pression atmosphérique à une température donnée au poids de même volume d'eau à 20°C.

Indice de réfraction : elle dépend de la composition chimique de l'acide gras et de la température. Elle peut être utilisée pour suivre les opérations d'hydrogénation.

Le spectre d'absorption dans l'ultraviolet au moyen d'un spectrophotomètre qui caractérise la double liaison dans une molécule insaturée.

Le point de fusion et le point de solidification qui permettent d'apprécier le degré de pureté d'un corps gras .

La viscosité : elle est proportionnelle au degré de saturation du corps gras. Pour tous les corps gras la viscosité décroît avec l'augmentation de la température.

Couleur : la méthode de mesure de la couleur se fait par une comparaison visuelle d'échantillon avec des solutions standard. Les acides gras à doubles liaisons conjuguées ont un spectre caractéristique en Ultra Violet.

I.7.3.Les propriétés chimiques [2]

Les propriétés chimiques des corps gras sont essentiellement celles des Triglycérides, étant donné qu'ils constituent la partie majoritaire des corps gras.

➤ La saponification

C'est une réaction faite à chaud en présence d'une base forte, elle conduit à la formation de savons et de glycérol. Cette réaction permet de mesurer l'indice de saponification.



Figure I.4 : Réaction de saponification

➤ L'hydrogénation

L'hydrogénation consiste à ajouter de l'hydrogène au niveau des liens insaturés (des acides) ; ce qui prévient l'oxydation et qui convertit les huiles liquides en solide. Plus le degré d'hydrogénation augmente, plus la fermentée et la saturation de la matière grasse augmente. Elle est très importante dans l'industrie alimentaire pour transformer les huiles végétales en graisse, comme l'hydrogénation de l'huile d'oléine (acide oléique) sous forme fluide, qui donne la stéarine (acide stéarique), sous forme solide (graisse) pour la fabrication de la margarine.

➤ L'oxydation

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 non saturé entre en contact avec l'oxygène.

Il est connu depuis longtemps que les corps gras exposés à l'air et à la lumière subissent une oxydation conduite à leur détérioration et puis l'apparition d'un goût de rance. En pratique, il est souvent nécessaires et suffisant de vérifier par un examen visuel que la couleur de l'huile n'est pas devenue trop foncée et que cette dernière dégage une odeur caractéristiques des huiles oxydées. Pour prévenir ce phénomène aussi longtemps, il est nécessaire d'ajouter des antioxydants (Vitamine E et additifs).

I.7.4. Principaux critères chimiques [1]

Indice d'acide : c'est le nombre de mg de potasse nécessaire pour neutraliser l'acidité de 1 g de corps gras.

Indice de saponification : c'est le nombre de mg de potasse caustique (KOH) nécessaire pour transformer en savon les acides gras libres ou combinés, d'un gramme de corps gras.

Indice d'iode: c'est le nombre de grammes d'iode fixé par 100 g de corps gras. C'est une addition pure et simple d'iode sur les doubles (ou triples) liaisons, et qui caractérise l'insaturation du corps gras.

Indice de peroxyde : il en existe plusieurs expressions suivant la nature des peroxydes. Disons qu'il donne la quantité d'oxygène actif capable de libérer l'iode des iodures.

Insaponifiables : c'est la matière qui n'est pas décomposée par la potasse et qui reste soluble dans les solvants habituels.

Chapitre II : Technologie de la production des huiles

II.1.Préparation des graines [1;4]

II.1.1.Introduction

La préparation des graines joue un rôle très important dans la qualité de l'huile. Cette étape est destinée à faciliter l'extraction de l'huile des graines. La pratique démontre qu'une graine bien préparée se travaille bien mieux et donne de meilleurs rendements en huile .

II.1.2.Nettoyage

Si les impuretés de la graine ne sont pas retirées, elles se retrouveront dans le tourteau, apportant avec elles de multiples agents d'altération. Il n'est pas rare de trouver dans des lots d'arachides par exemple 1% de farinettes, c'est-à-dire des particules inférieures à 1 mm. Ces fragments contiennent jusqu'à 75 % d'acide oléique dont l'acidité influence négativement le raffinage de l'huile et la conservation des tourteaux. c'est une opération rentable pour l'amélioration de la qualité de l'huile et de tourteau , Le nettoyage permet aussi l'élimination des certaines graines qui peuvent avoir un caractère toxique, les particules métalliques, la terre et les pierres dont la présence risque d'endommager le circuit de trituration.

II.1.3.Décorticage et dépelliculage

Certaines graines nécessitent d'être décortiquées et dépelliculées avant d'entamer l'extraction. Étant donné qu'il y a une différence entre les graines en termes d'épaisseur, dureté et adhérence de l'enveloppe, des appareils spéciaux sont nécessaires pour chaque catégorie de graines à décortiquer.

Le principe de fonctionnement et les performances d'un décortiqueur à couteaux (Figure II.1) en font un appareil bien adapté à la préparation mécanique des différents types de graines en huilerie. Son principe de fonctionnement consiste à un effet de cisaillement entre deux arêtes parallèles, l'une d'elle appartenant à un couteau fixe, l'autre à un couteau entraîné à grande vitesse de rotation. Il suffit de multiplier le nombre des couteaux fixes d'une part, mobiles d'autre part et d'adapter la puissance nécessaire au travail pour approcher les performances visées. Mais l'écart entre deux couteaux successifs, qu'ils soient fixes ou mobiles, ainsi que le jeu laissé entre arêtes immobiles et arêtes tournantes sont des facteurs de résultat également déterminants.

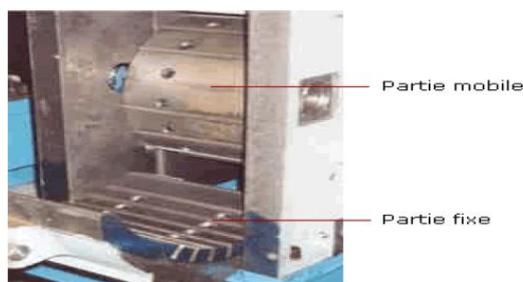


Figure II.1 : Décortiqueur à couteaux

II.1.4. Broyage et tamisage

Cette opération a pour but de réduire la dimension des fruits ou des graines oléagineuses afin de faciliter le travail des presses ou l'action du solvant. On peut utiliser un broyeur à cylindres cannelés (Figure II.2) pour la préparation mécanique des amandes ou graines en huilerie. Les cannelures sont réalisées à la périphérie des cylindres afin de permettre l'engagement des produits et l'obtention de la granulométrie adéquate. L'alimentation est réalisée par un dispositif adapté de manière à assurer une bonne répartition des produits à broyer sur toute la longueur des cylindres, et d'en régler le débit.

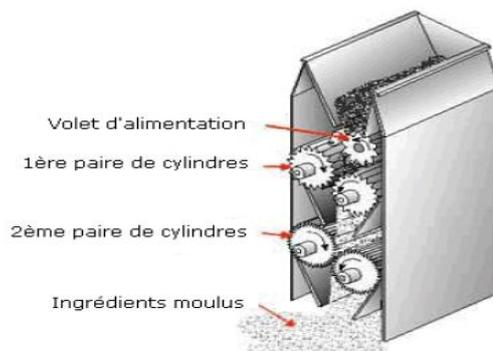


Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre cannelés à plusieurs étages

II.1.5. Conditionnement thermique de la graine

Le rôle du conditionnement est de favoriser la séparation de l'huile de la matière sèche. Le conditionnement thermique agit directement sur la qualité de l'extraction par presse, notamment lorsqu'il s'agit de rechercher un taux d'épuisement maximal.

Avant de la soumettre au pressage, la graine broyée est chauffée et peut même subir une cuisson en atmosphère humide, suivie d'un séchage plus ou moins prolongé avant pression. Le chauffage a pour avantage de faciliter l'extraction de l'huile.

Certains chauffeoirs (conditionneurs) dits tubulaires se présentent sous la forme d'un ou plusieurs tubes horizontaux ou verticaux (Figure II.3) chauffés par une double enveloppe de vapeur. Ils sont munis, chacun, d'un arbre portant des palettes contribuant au brassage des graines introduites et à leur avancement dans l'appareil. Des orifices spécialement prévus aident à l'évacuation des buées produites dans les tubes. Il y est également adjoint des dispositifs d'addition éventuelle d'eau ou d'injection directe de vapeur. Ils comportent, le plus souvent, deux tubes : Un tube, situé à la partie supérieure, de gros diamètre qui constitue le chauffeoir et un 2^{ème} tube situé à la partie inférieure, généralement plus petit, joue le rôle de séchoir. L'alimentation se fait par l'intermédiaire d'un distributeur de graines réglable à divers débits.



Figure II.3 : Conditionneur vertical

II.2.Extraction [1 ,4]

L'huile contenue dans les graines ou les fruits oléagineux, est extraite selon deux méthodes mécanique ou physique par pression et chimique à l'aide d'un solvant, hexane le plus souvent.

II.2.1.Extraction physique

Les matières premières oléagineuses subiront un broyage par presse à vis qui permet de séparer d'une part l'huile brute qui devrait subir une centrifugation et une filtration pour éliminer les particules solides et les traces d'eau. Les autres résidus sont nommés tourteau contenant des fibres, protéines, amidon, mais aussi de l'huile.

il existe deux types d'extraction par pression le procédé discontinu et le procédé continu le premier procédé utilise les presses hydrauliques de type marseillaises, anglo-américaine ou à cage . le deuxième procédé utilise les presses mécaniques composés généralement de deux vis sans fin, la première vis conduit la graine vers un cylindre perforé et la deuxième permet l'extraction de l'huile par pression.

L'huile obtenu par pression est dite de première pression. le tourteau rejeté contient encore plus ou moins importante de l'huile résiduelle .cette dernière peut être extraite par solvant ou par pression après chauffage de tourteau . cette huile est communément appelé huile de seconde pression.

a . Procédé discontinu par presses hydrauliques

➤ Les presses marseillaises

Les graines sont enfermées dans des sacs appelés scourtins . Ces sacs sont empilés les uns sur les autres et séparés entre eux par des plaques de tôle. Sous la pression, qui peut atteindre 250-300 kg/cm² , l'huile filtre à travers les scourtins. s'écoule sur le plateau inférieur puis dans un récipient. On obtient ainsi une huile dite de première pression ou huile de

froissage. L'opération terminée, les scourtins sont enlevés, les tourteaux sont concassés et broyés et, après chauffage, sont remis en scourtins et soumis à une deuxième pression (huile de seconde pression ou rebat).

➤ Les presses anglo-américaines

Tout comme les presses marseillaises, ces presses sont ouvertes ; elles présentent toutefois l'avantage d'utiliser de simples surfaces filtrantes repliées sur le produit à traiter et qui sont d'un entretien plus facile que les scourtins.

➤ Les presses a cages

Ces presses sont du type fermé et elles permettent d'atteindre des pressions de l'ordre de 500 kg/cm^2 . La matière y est reçue dans de grands récipients métalliques cylindriques (cages), dont le fond est fermé par le plateau inférieur de la presse hydraulique et dont les parois sont constituées par des barreaux métalliques verticaux juxtaposés et très rapprochés, ou par une enveloppe continue également métallique perforée d'une multitude de petits trous.

b. Procédé continu

Les procédés continus sont maintenant à peu près les seuls utilisés en huilerie industrielle. A cet effet, on emploie des presses à cages métalliques filtrantes. La graine broyée y est introduite et y est comprimée par une combinaison de vis sans fin à pas dégressif (appelée «arrangement»), tournant à vitesse généralement lente.

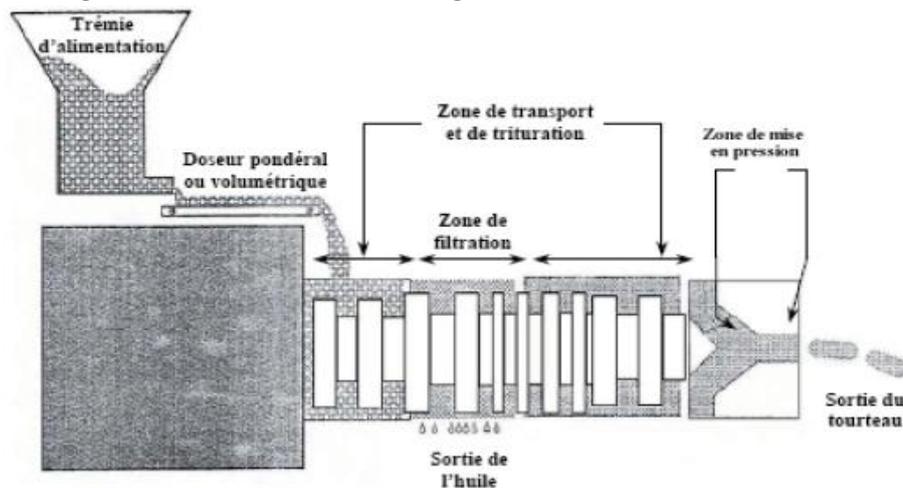


Figure II.4 : Procédé continu d'extraction de l'huile

Un cône, dont on peut régler la position, délimite à l'extrémité de la cage un espace annulaire plus ou moins rétréci et par lequel sort le tourteau. Le réglage du cône, le choix de l'arrangement, la vitesse de rotation sont des facteurs déterminant du degré d'épuisement du tourteau.

Une cage de pression moderne est divisée en deux sections. Les barreaux sont séparés les uns des autres par des petites cales calibrées en acier. L'espacement entre les barreaux n'est

pas le même pour les diverses sections de la cage. il varie en outre suivant la nature de la graine trituré et la façon dont on fait travailler la presses.

De la disposition de ces divers éléments entre eux ,et aussi de choix de pas de vis et de vitesse de rotation de l'arbre ,dépendent le rendement de la presses et son utilisation.

II.2.2.Extraction par solvant

L'extraction par solvants des huiles ou des graisses est essentiellement réalisés industriellement en mettant en contact la matière oléagineuse à traiter avec un solvant approprié. on obtient ainsi une solution d'huile dans le solvant ou miscella dont la concentration varie suivant la qualité du solvant et la richesse en huile de l'oléagineux traité.

Ce miscella , après filtration et concentration et soumis à l'action de la chaleur dans un évaporateur puis une colonne finisseuse sous vide comportant une injection de vapeur pour l'élimination totale des dernières traces de solvant.les vapeurs ainsi produites sont condensés dans des appareils classiques et l'huile obtenu est refroidie et stockée en attendant le raffinage Le solvant condensé est recueilli dans un séparateur ou il est débarrassés de l'eau provenant de la vapeur injectée et de l'humidité des produits traités.

Les farines d'extraction retiennent toujours une quantité de solvant assez importante ; que l'on récupère dans appareils sécheurs . la aussi ,les dernières traces du solvant sont chassées à l'aide de vapeur vive ou sous vide plus ou moins poussés.

a . Les solvants

Parmi les solvants utilisables, nous pouvons citer plusieurs types :les dérivés des pétroles, les solvants chlorés et les alcools, ce pendant l'utilisation de l'un ou l'autre peut être autorisée ou interdite par la réglementation des certains pays. en Europe l'utilisation des solvants comme des auxiliaires technologiques régie par la directive 88/344/CEE du 13 juin 1988 relative au rapprochements des législations des états membres concernant les solvants d'extraction utilisé dans la fabrication des denrées alimentaires et de leur ingrédients.

➤ Les dérivés de pétrole

Le solvant le plus utilisé est l'hexane ,molécule apolaire. Cette extraction repose sur le principe suivant :les composés apolaires comme les corps gras sont insoluble dans les composés polaires comme l'eau, mais soluble dans les composés apolaire tels que l'hexane Le point d'évaporation de l'hexane est inferieur à celui des matières grasses à extraire, il est donc facile à séparer ces deux composés en chauffant leur mélange

➤ Les solvants chlorés

les hydrocarbures présentent malheureusement l'inconvénient d'être inflammable et de donner avec l'air, des mélanges explosifs, on a donc recherché pour le traitement, de certaines

graines de tourteaux, divers solvants chlorés ininflammables, parmi ces derniers le trichloroéthylène bouillant à 87°C sous la pression normale, a été employé. l'efficacité de ce solvant s'est révélé supérieur à celle de l'hexane pour des températures de l'ordre de 55°C.

en contrepartie de cet avantage, il convient de signaler que le trichloroéthylène dissout non seulement dans les matières grasses mais encore de très grosse quantité de gomme, mucilages, phosphatides et pigments colorés contenus dans les graines oléagineuses. son point d'ébullition est, en outre nettement plus élevé que celui de l'hexane ce qui oblige à chauffer davantage au cour de la distillation de miscellas.

Il en résulte que les huiles extraites à l'aide de ce solvant sont généralement plus foncée que celle obtenu par l'hexane. elle ne révèlent très souvent difficiles à les décolorer et les pertes au raffinage sont, par conséquent, plus élevé.

D'autre part la plupart des solvants chlorés comme le trichloroéthylène, doivent être stabilisée avant l'emplois car les vapeurs présentent des dangers de corrosion auxquelles n'échappent pas le matériel même construit en acier inoxydable.

➤ Les alcools

L'alcool éthylique a été utilisé industriellement surtout pour l'extraction de l'huile de soja mais malgré les avantages considérables présentés par ce solvant, il demeure peu employé à cause des contraintes administratives et fiscales.

L'isopropanol peut également être utilisé mais son prix relativement élevé par rapport aux autre solvant comme l'hexane limite leur demande.

b. Extraction discontinue

➤ Extracteurs fixes

Ces extracteurs fixes se composent d'une cuve cylindrique verticale étanche comportant un plancher filtrant à la partie inferieur, un orifice de chargement à la partie supérieur et un tampon de décharge situé latéralement juste au niveau de plancher filtrant. une injection de vapeur sous le plancher filtrant au travers de la masse de produit épuisé permet la récupération de solvant et le séchage de la farine.

Certains de ces appareils sont encore en fonctionnement mais ne sont plus guère utilisé que pour les petites production. il présentent l'inconvénient de donner le taux d'épuisement irrégulier par suite la création de passages préférentiels du solvant dans la masse en traitement, et nécessitent, en outre une manutention pénible pour leur déchargement.

➤ Extracteurs rotatifs

Ces appareils sont constitué par une cuve cylindrique horizontale reposant sur des galets de roulement permettant ainsi la mise en rotation de l'appareil et de son contenu. A l'intérieur des éléments filtrants, composés des tube recouverts d'une toile filtrante. la mise

en relation de l'appareil évite les inconvénients des extracteurs fixes , ainsi que le colmatage trop rapide des surfaces filtrantes .

Un chauffage par double enveloppe et par tubes chauffants intérieur assure le séchage de la farine après extraction .

c. Extraction continue

Le principe de l'extraction continue consiste à assurer , dans un appareil, le déplacement de la matière traitée et celui de solvant ,de telle sorte que cette matière s'appauvrisse régulièrement en huile, tandis que le solvant se transforme en miscella de plus en plus concentré . ce résultat est atteint par une marche à contre courant.

➤ Appareils à immersion

Parmi les appareils à immersion , on peut signaler tout d'abord « hildebrandt » qui fut pratiquement l'un des tous premiers extracteurs continu

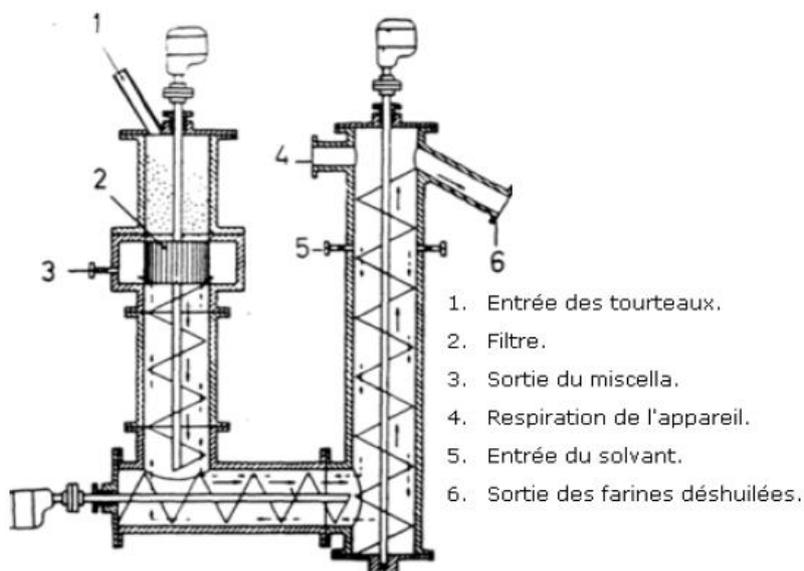


Figure II.5 : extracteur HILDEBRANDT

Cette machine se compose de deux tours verticales cylindriques équipé intérieurement chacune d'une vis transporteuse . les deux tours sont reliées par la base grâce à une autre vis . Ces vis sont perforés et tournent à une vitesse régulière

Les graines sont introduites par un distributeur dans la tour la plus basse et sont entraînées lentement vers le bas par l'intermédiaire de la vis. La vis inférieure reprend la matière et la dirige vers le bas . Le solvant est introduit à la base de la colonne et parcourt cette dernière de bas en haut en s'enrichissant en huile tandis que la matière à traité , amenée au sommet , descend par gravité en s'appauvrissant progressivement. La base de la colonne est en communication avec un élévateur étanche qui remonte la matière jusqu'à une hauteur située au- dessus de niveau de la tête de la colonne ce qui lui permet de s'égoutter avant d'être

introduite dans les tubes sécheurs . le solvant frais est amené , à l'aide d'une pompe , un peu au dessous de la sortie de l'élévateur du solvant . il achève l'extraction en descendant par gravité à contre courant de la matière avant l'entrer au bas de la colonne

➤ **Appareils à percolation**

Ces extracteurs étaient alors construits d'une enveloppe métallique de 15 à 20 m de hauteur à l'intérieur de laquelle se déplace lentement des paniers perforés de grande dimension. Dans ces extracteurs la matière à extraire est amenée successivement dans chaque panier et soumise, sans sortir de son récipient , à l'action du solvant jusqu'à son déchargement après égouttage.

Les miscellas de concentration diverses sont recueillis au fond de l'extracteur , divisé en sept compartiments de section horizontale variable . la circulation s'effectue à l'aide des pompes et des rampes d'arrosage , de façon que le miscella d'un compartiment quelconque soit amené à la rampes d'arrosage située au-dessus de compartiment voisin dans le sens opposés à celui du déplacement des cellules , on réalise ainsi une circulation à contre courant.

➤ **Le procédé FILTRES**

Ce procédé procède par filtration et extraction . l'opération est effectuée en deux temps , tout d'abord dans un mélangeur puis à contre courant dans un filtre rotatif fonctionnant sous vide Dans le premier temps, l'extracteur cylindrique qui comporte intérieurement un dispositif assurant une agitation modérée et un avancement de la matière à traiter , et mis en contact avec un miscella partiel venant du filtre rotatif .le mélange boueux sortant de cet appareil est divisé en continu sur la surface horizontale de filtre rotatif . cette surface est constituée par une toile métallique fixé sur un plateau tournant régulièrement à l'intérieur d'une enveloppe étanche et dont la partie inférieure est divisé en plusieurs secteurs.

L'évacuation de la matière épuisée s'effectue à l'aide d'une vis raclante disposée suivant le rayon de l'appareil . le drainage de la matière entre chaque lavage et à la fin de l'opération est facilité par utilisation d'un vide léger (pression allant de 75 à 460 mm de mercure). Le miscella final contient environ de 30% de l'huile .

d. Récupération de l'huile de miscella

Quel que soit le type de l'appareillage utilisé , nous nous trouvons, en fin d'opération en présence , d'une part , d'un miscella plus ou moins riche en huile , et d'autre part d'une farine d'extraction encore toute imprégnée de solvant qu'il faut récupérer . Pour ce qui est de miscella on commence par le filtrer, soit grâce par un dispositif propre à l'appareil d'extraction lui-même , soit dans un filtre à miscella spécialement conçu et caractérisé par une étanchéité efficace et un décolmatage automatique.

Le miscella filtré est ensuite distillé dans un appareil à un ou plusieurs effets , l'huile brute obtenu est envoyé dans une colonne finisseuse dans laquelle elle est débarrassée des

dernières traces du solvant par l'action conjointe de vide et d'une injection d'une vapeur d'eau. Après égouttage, les farines d'extraction sont envoyées dans une série de tubes sécheurs dans lesquels circule à contre-courant soit un gaz inerte soit de la vapeur. à leur sortie de la colonne, les tourteaux sont acheminés vers un appareil tubulaire de séchage complémentaire qui ramène la teneur en eau à la normale.

II.3.Raffinage des huiles [2 ,6]

Les huiles peuvent avoir une destination alimentaire ou industrielle. Dans les deux cas elles doivent être traitées tant pour leur donner la qualité correspondant au but poursuivi que pour faciliter leur conservation. Les huiles comestibles subissent un raffinage plus complet que les autres et pour cette raison nous nous bornerons à décrire celui-là.

II.3.1.Définition

Le raffinage est défini dans le décret n°73.139 [2] sur les graisses et les huiles comestibles « a pour but de débarrasser l'huile de toutes les impuretés, on lui donnant un aspect limpide, un goût une odeur agréable et d'améliorer les caractères organoleptiques. Le raffinage est une garantie de pureté, de stabilité et le maintien des qualités nutritionnelles de l'huile. Le raffinage fait appel toute une série d'opérations physiques et chimiques, fort complexes ayant pour but d'éliminer les composés mineurs indésirables responsables des goûts et des odeurs spécifiques des huiles brutes et de leur mauvaise conservation ».

II.3.2.Les objectifs du raffinage

- Eliminer les produits indésirables pour avoir un produit d'un bon niveau de pureté et de stabilité tels : produits d'oxydation, les phosphatides, les métaux, les pesticides et autres produits mineurs.
- Réduire le niveau de la couleur.
- Préserver le contenu en vitamines.
- Minimiser les pertes en triglycérides.
- Protéger les triglycérides des dégradations au cours du process

II.3.3.Les opérations essentielles du raffinage

- la démucilagination,
- la neutralisation ou désacidification,
- le blanchiment,
- Désodorisation,

- **la démucilagination**

la démucilagination d'une huile consiste à :

- créer des interfaces entre l'huile et l'eau.

- Laisser au contact des deux phases un temps suffisant pour les molécules de phosphatides aient le temps de s'adsorber
- Utiliser éventuellement un adjuvant intervenant chimiquement ou physiquement.

- **Désacidification**

Les corps gras, démuliginés ou non , doivent être débarrassés des acides libres qu'ils contiennent , à cet effet il existe deux groupes de procédés :

- Les procédés qui consistent à extraire les acides :

- Par neutralisation
- Par distillation neutralisante
- Par séparation au moyen de solvants sélectifs

-Les procédés transformant les acides gras libres en glycérides neutres reconstituant ainsi l'huile initiale.

- **Blanchiment**

Les huiles débarrassés des produits nocifs et des acides gras libres ,ont généralement acquis une teinte plus ou moins foncée due à la présence de pigments colorés ou des produits à groupements chromogène qui peuvent accentuer cette teinte au cours de stockage ultérieurs. Le blanchiment a pour objet d'éliminer ces corps indésirables. On opère généralement au moyen de matières absorbantes comme certaines terres activées ou le charbon actif.

- **Désodorisation**

Les huiles neutralisées et décolorées présentent une odeur et un gout particulier de par leur origine et aussi en raison des traitements effectués pendant le raffinage. Les produits responsables de ces odeurs sont en général des substances volatiles diverses (aldéhydes, cétone , carbone, ...) apportées naturellement par la graine ou le fruit mais aussi par les réactifs utilisés au cours du raffinage.

Le but de la désodorisation est donc d'effectuer sans altérer les triglycérides . pour obtenir ce résultat on procède par distillation sous vide poussé, à une température relativement élevée et avec injection de vapeur d'eau surchauffée.

Chapitre III : Utilisation des huiles végétales comme carburants

III.1.Introduction

L'après pétrole, unique fournisseur de carburants liquides, est inéluctable parce que depuis la fin des années 80 les découvertes couvrent à peine l'augmentation de la demande mondiale [7]. Dans l'état actuel de nos modes de consommation l'apparition de nouvelles sources de carburants renouvelables ou non est une nécessité.

Dans ce contexte de forte croissance des prix du baril de pétrole et de préoccupations environnementales, certains acteurs socio-économiques, issus notamment du monde agricole et para agricole, commencent à s'intéresser à l'utilisation des huiles végétales pures comme alternative partielle aux énergies d'origine fossile [8].

III.2.Caractéristiques des huiles végétales pures

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires [5].

Tableau III.1 :Composition chimique de gazol et d'une huile végétale [9]

	gazol	Huile végétale
carbone	86%	77%
hydrogène	14%	12%
oxygène	0%	11%

III.3.Classification des huiles végétales pures [10]

Les huiles végétales peuvent se diviser en 4 grands groupes, l'indice d'iode servant à les discriminer :

- les huiles dites saturées de type : indices d'iode de 5 à 50
 - lauriques : coprah, palmiste, babassu,...
 - palmitiques : palme, buruti
 - stéariques : karité
- les huiles monoinsaturées : indices d'iode de 50 à 100
 - oléiques : olive, arachide, colza, sésame, jatropha curcas, ricin
- les huiles di-insaturées : indices d'iode de 100 à 150
 - linoléique : tournesol, coton, maïs, soja,....
- Les huiles tri-insaturées : indices d'iode > 150
 - linoléniques : lin
 - éléostariques : huile de bois de chine

L'indice d'iode permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile .Il correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras (NF T60-203). plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé.

Globalement, d'un point de vue « qualité » carburant plus l'huile est saturée meilleure elle est. Ou, plus faible est son indice d'iode meilleure elle est. En revanche les huiles saturées présentent des températures de solidification élevées et posent ainsi des problèmes pratiques d'utilisation.

III.4. Caractéristiques physiques et "carburant" des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza [11]

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza

	Masse volumique (20°C) g.cm ⁻³	Viscosité (20°C) mm ² /s	Point d'Écoulement °C	Point de Trouble °C	Point éclair °C	Pouvoir Calorifique Mj/kg
Diesel	0.836	6	-18	-9	93	43.8
Ester méthylique De colza	0.880	7	-12	-4	183	41
Coprah	0.915	30*	-	-	230	37.1
Palme	0.945	60*	-	-	280	36.9
Buriti	0.912 à 25°C	138.3	-4	-	-	39.08
Ricin	0.955	850-1100	-10 à -20	-	265	37.20
Rabassu	9.946	25.3 à 25 °C	-	-	234	35.28
Coton	0.921	73	-2	1	243	36.8
Pourghère	0.920	75.7	-3	2	236	36.8
Arachide	0.914	85	-1	9	258	39.3
Colza	0.920	78	-6	-4	285	37.4
Soja	0.920	61	-4	-4	330	37.3
tournesol	0.925	58	-6	-2	316	37.8

*viscosité à 40 °C

Tableau III.3 : Caractéristiques "carburant" des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza

	Masse volumique (20°C) g.cm ⁻³	Point éclair °C	Résidus de Carbone %	Point d'Écoulement °C	Indice de cétane	Pouvoir Calorifique Mj/kg
Diesel	0.836	93	< 0.01	-18	50	43.8
Ester méthylique De colza	0.880	183	0.02	-12	52	41
Coprah	0.915	230	0.5	-	43	37.1
Palme	0.945	280	0.42	-	39	36.9

Buriti	0.912 à 25°C	-	-	-4	-	39.08
Ricin	0.955	265	0.1	-10 à -20	-	37.20
Rabassu	9.946	234	0.28	-	38	35.28
Coton	0.921	243	0.49	-2	34	36.8
Pourghère	0.920	236	1.31	-3	35	36.8
Arachide	0.914	258	0.5	-1	32	39.3
Colza	0.920	285	0.5	-6	32	37.4
Soja	0.920	330	0.54	-4	30	37.3
tournesol	0.925	316	0.35	-6	32	37.8

Les huiles végétales ont des caractéristiques similaires à celles du gazol . En particulier, un indice de cétane qui indique une aptitude au fonctionnement en cycle Diesel. Plus il est élevé, plus le carburant est apte à l'auto inflammation.

III.5.Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels [11]

III.5.1.Introduction : fonctionnement des moteurs Diesel

Dans un moteur diesel, la combustion se déclenche par auto-inflammation : le combustible finement nébulisé par un injecteur est introduit dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne la valeur à laquelle le mélange s'enflamme. L'énergie dégagée par la combustion engendre alors un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle.

III.5.2.Les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte

Globalement, il existe deux familles de moteurs à cycle Diesel : les moteurs à injection direct et les moteurs à injection indirecte.

Les moteurs à injection directe : Ils équipent les tracteurs agricoles et routiers, et grand nombre de moteurs industriels de toute puissance .

Les moteurs à injection indirecte : Ils désignent les moteurs à préchambre, à chambre de turbulence, à chambre à réserve d'air, etc. Ce sont des moteurs à chambre de combustion « divisé».

III.5.3.Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant [10]

Parmi les caractéristiques physico-chimiques particulières des huiles végétales, deux d'entre elles influencent directement le bon fonctionnement des moteurs diesels : la viscosité élevée qui pose des problèmes d'ordre pratique et la composition chimique en acides gras qui entraîne une chaleur élevée d'évaporation et ne permet pas une distillation complète des huiles végétales

➤ La viscosité

La viscosité des huiles est significativement plus élevée que la viscosité des gazoles à température ambiante ce qui pose des problèmes de pompage et d'écoulement à travers les tuyaux et les filtres. Mais également une détérioration des caractéristiques du jet injecté dans la chambre du moteur. Dans le schéma ci-dessous, la zone verte figure la zone de viscosité normalisée pour les équipements diesels. Il est à noter qu'à partir de 83°C l'huile de colza (courbe a) respecte les exigences techniques établies. Un constat similaire peut être fait pour les autres huiles (sauf le ricin qui nécessite plus de 150°C). Les températures de réchauffage à atteindre sont fonction de la viscosité de l'huile ou du mélange fioul/huile en présence. Par exemple, le mélange 50 % fioul et 50 % colza (courbe b) ne devra être réchauffé qu'à 62 °C « seulement »

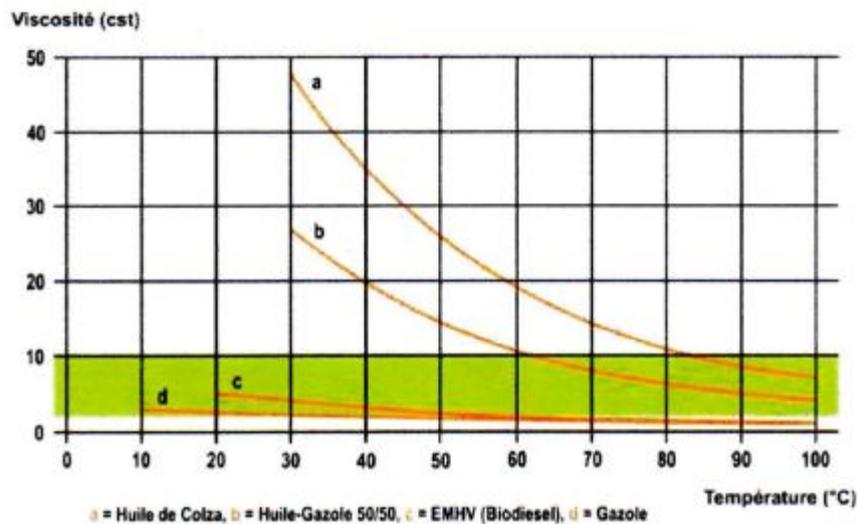


Figure III.1 : Viscosité du carburant en fonction de la température [12]

L'ajout d'un réchauffeur et d'une pompe dans le circuit d'alimentation permettra d'éliminer le problème des viscosités des huiles végétales

➤ Influences de la composition chimiques des huiles [13]

a. Pour des températures de chambre inférieures à 500 °C

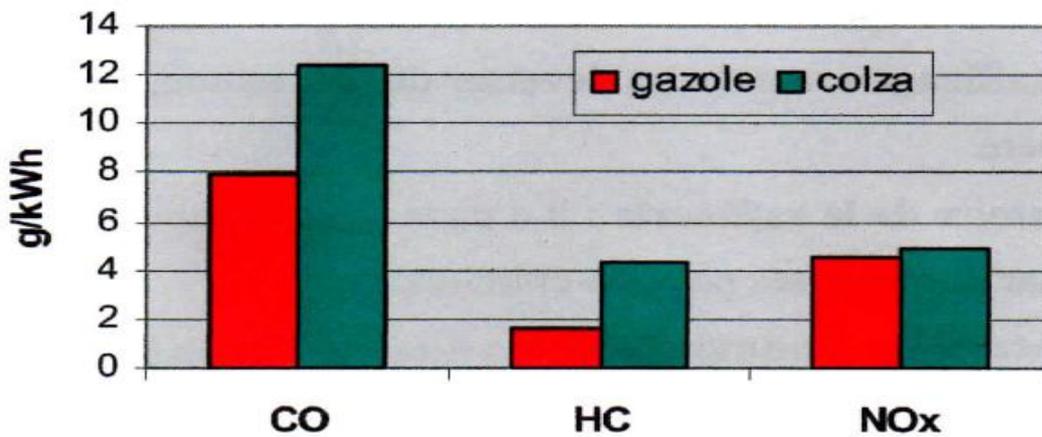


Figure III.2 : Gaz rejeté avec une température inférieure à 500°C

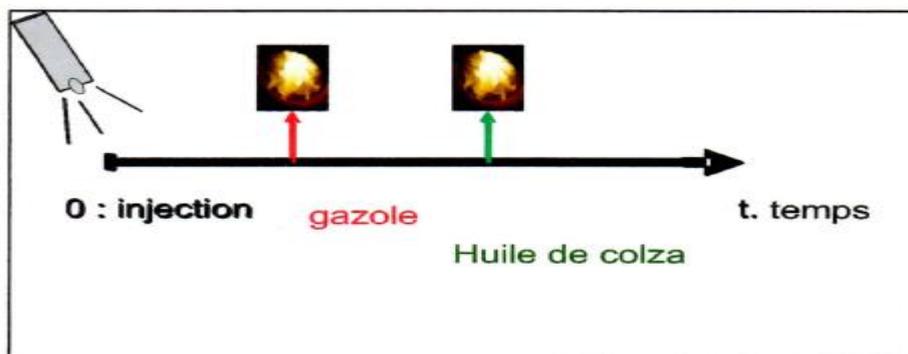


Figure III.3 : Délai d'inflammation en fonction du carburant

Le délai d'inflammation est plus long pour une majorité des huiles quand la température de la chambre de combustion est inférieure à 500°C. Par ailleurs, la combustion de l'huile, même réchauffée, purifiée et raffinée, ne s'effectue pas complètement ce qui entraîne des pertes de puissance et de rendement et des rejets en CO, NOx et HC plus importants pour les huiles que pour le gazole. De plus, au niveau mécanique, il se produit dégradation et un encrassement des nez d'injecteurs, des segments et des cylindres conduisant à des détériorations mécaniques

b. Pour des températures de chambre supérieures à 500 °C

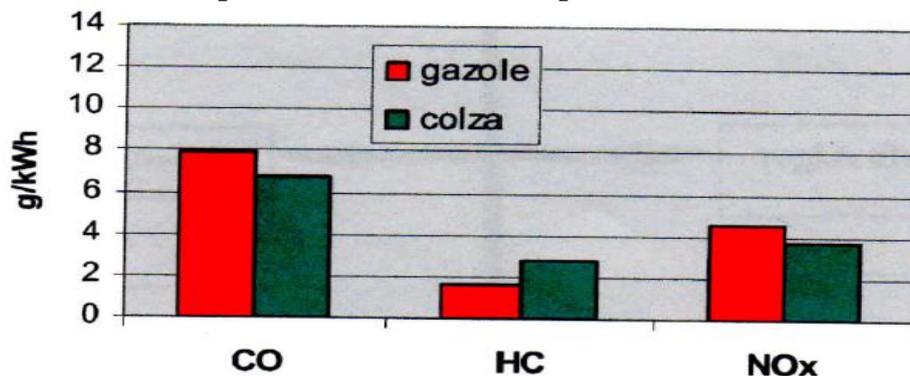
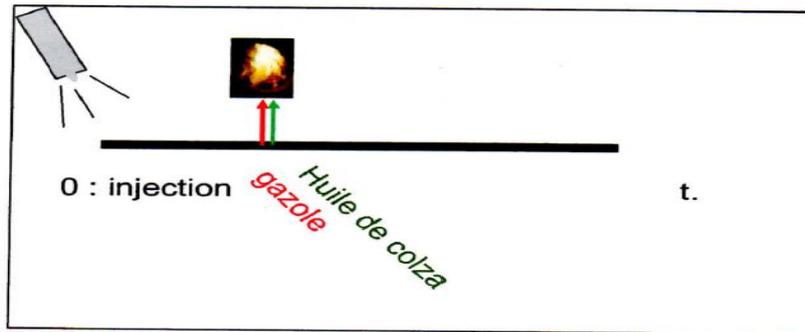


Figure III.4 : Gaz rejeté avec une température supérieur à 500°C**Figure III.5 :** Délai d'inflammation en fonction du carburant

Nous constatons une amélioration de comportement de l'huile. Le délai d'inflammation est quasi-identique à celui du gazole et, la combustion étant complète, les rejets observés peuvent être moins importants que ceux du gazole. Globalement, le fonctionnement est correct et très peu différent du fonctionnement au gazole avec des performances équivalentes et des rendements globaux parfois meilleurs que ceux du gazole.

III.5.4. Solutions proposées pour résoudre les problèmes [11]

Il est possible de résoudre les difficultés d'usage pratiques des huiles végétales en les réchauffant afin de ramener leur viscosité dans des valeurs proches de celles des produits pétroliers.

Une fois la viscosité de l'huile ou du mélange ramenée dans les valeurs acceptées par les équipements d'alimentation des moteurs, il demeure les problèmes de combustion incomplète dus à la nature chimique différente des huiles vis-à-vis des fiouls et gazoles.

Il apparaît que si la température moyenne de la chambre de combustion est suffisamment élevée, les huiles végétales courantes brûlent complètement avec de bons rendements globaux et des niveaux d'émissions polluantes similaires à celles des gazoles.

Il y a plusieurs façons de s'assurer d'un niveau de température suffisant des chambres de combustion :

- par modifications mécaniques des pistons et de pièces internes au moteur,
- sans modifications mécaniques en utilisant un fonctionnement en bicarburation

➤ Modifications des chambres de combustion des moteurs à injection directe

Si l'on ne veut pas modifier le carburant, on peut agir sur les chambres de combustion afin que les conditions de températures lors du fonctionnement permettent une combustion complète des huiles végétales.

Mais ces modifications doivent respecter la conception et l'architecture interne du moteur tout en respectant les matériaux et les jeux fonctionnels mécaniques. Il faut alors que

les températures maximales atteintes restent raisonnables. Cet aspect est important et représente un des avantages forts de cette solution. A tout moment les utilisateurs peuvent remplir le réservoir indifféremment avec de l'huile ou du fioul.

➤ **Adaptation type « bicarburation » sur les moteurs à injection directe**

Une autre voie permet de ne pas faire de modifications internes des moteurs, c'est l'adoption d'un circuit d'alimentation en bicarburation. Ce procédé a été mis en place sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes. Il consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gazole. Sur ce circuit, on trouve en série :

- un filtre à carburant adapter à l'huile végétale, un réchauffeur, pour réduire la viscosité de l'huile et se rapprocher de celle du gazole
- une pompe de circulation et de gavage de la pompe à injection,
- une électrovanne qui permet de basculer d'un carburant à un autre ; c'est-à-dire permettant au véhicule de fonctionner soit au gazole soit à l'huile végétale pure.

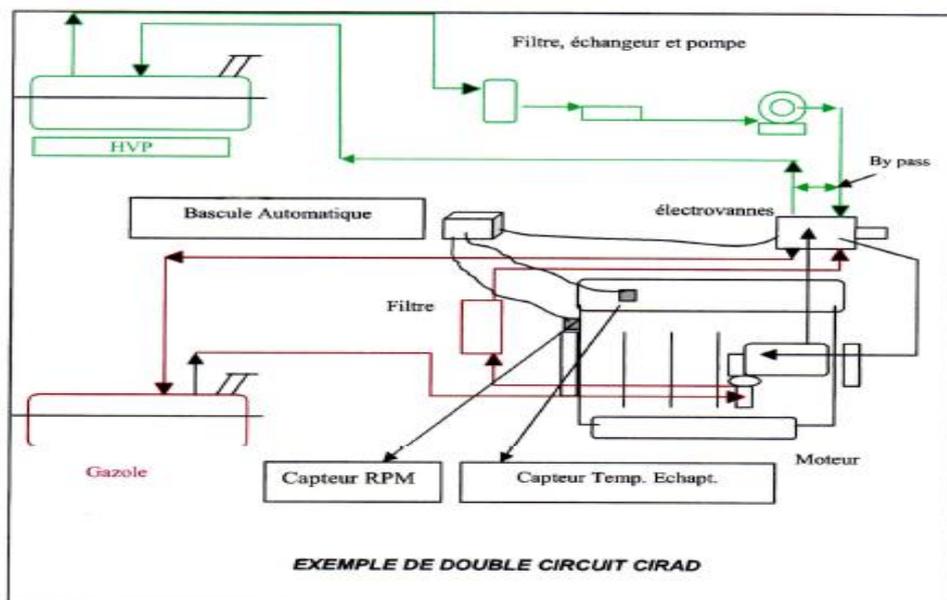


Figure III.6 : Modifications du circuit d'alimentation

III.6. Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés [11]

Résultats pour le tracteur New Holland TM 150

Tableau III.4 : Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés

Tracteur N°	TM150 original fioul	TM150 modifié tournesol
N tr/mn	1350	1456
Puissance kw	81.4	75.4

Consommation en carburant l/h	23.4	24.0
Température air admis °C	21	22
Température échappement °C	383	435
CO ppm	1218	960
CO ₂ %	8.6	8.0
HC ppm	53	82
O ₂ %	9.1	10.0
NO _x ppm	1530	1450
Excès air	0.79	0.93

III.7. Conclusion

Les huiles végétales et leurs dérivés (Biodiesel,...) font partie des solutions de remplacement et de complément des produits pétroliers. Elles sont par nature de bons substituts des fiouls et gazoles avec des taux potentiels de mélange allant jusqu'à 100 % et des rendements globaux plutôt meilleurs que les gazoles .

Mais, les huiles ne respectent pas, par nature, les spécifications standards établies pour les produits pétroliers, ce qui pose des problèmes techniques à leur usage dans les moteurs courants et leur interdit des homologations d'usage dans beaucoup de pays développés . Enfin, la compétition entre usages énergétique et alimentaire demeure un facteur de blocage fort .

Chapitre IV : Contrôle de qualité des huiles

IV .1.Introduction

Pour garantir la qualité des huiles produites, il faut veiller à la qualité desdits produits via plusieurs contrôles faisant intervenir les techniques de la chimie analytique instrumentale et non instrumentale [4].

IV.2.Echantillonnage

Tableau IV.1 :Echantillons d’huiles étudiés et provenance

échantillon	provenance	N°
Huile Elio neuve	Cevital	H01
Huile Elio usagée	Friture	H02
Huile Fleurial	Cevital	H03
Huile brute	Cevital	H04
Huile d’olive ouest	Sig	H05
Huile d’olive Soummam	Huilerie traditionnelle	H06
Huile d’olive	Huilerie moderne	H07

IV.3.Composition des certains huiles végétales dans le marché national [6]

Fleurial : 100% tournesol.

Canda : 100% colza.

Oléol : 60% tournesol + 40 % soja.

Elio : 55% tournesol + 40% soja + 5% olive.

IV.4.Analyse physico-chimique

Les résultats d’analyses pour les différents échantillons sont donnés pour une température T=20 °C

IV.4.1.Analyse chimique

a. Acidité (norme iso 660)

L’acidité est la quantité d’acides gras libres exprimée en pourcentage (%) d’acide oléique.

➤ Matériels utilisés

- Burette 25 ml ;
- Erlen meyer 250 ml ;
- Pipette en plastique ;
- Eprouvette 50 ml.

➤ **Solutions utilisées**

- Phénolphtaléine ;
- Solution KOH 0.5N ;
- Solution KOH 0.1N ;
- Solvants : mélange volume à volume 25 ml d'éther-di éthylique + 25 ml d'éthanol ou 50 ml d'éthanol seulement.

➤ **Mode opératoire**

- Peser 20g d'huile sur une balance analytique ;
- Ajouter 50 ml du mélange éther-di éthylique + éthanol ou 50 ml d'éthanol et mélanger ;
- Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine ;
- Titrer gouttes à gouttes avec une solution KOH 0.1N, jusqu'à l'obtention d'un virage (couleur rose).

➤ **Expressions du résultat**

L'indice d'acidité se calcule avec la relation suivante [6] :

$$\text{Indice d'acidité} = \frac{56,1 \cdot V(\text{KOH}) \cdot C(\text{KOH})}{M}$$

Avec 56.1 : constante ;

V (KOH) : volume du titre ;

C (KOH) : concentration de la solution KOH (0.1N ou 0.5N)

M : prise d'essai (20g).

Finalement, l'acidité se calcule avec la relation suivante :

$$\text{Acidité} = \frac{\text{Indice d'acidité}}{2}$$

➤ **Résultats**

Tableau IV.2 : Acidité des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
L'acidité(%)	0.20	0.20	0.18	0.66	3.32	3.10	3.32
Valeur normale	-	-	-	< 2	< 3.3		

IV.4.2. Analyse physique

a. Densité

Définition : La densité mesurée à 20°C d'une huile est le rapport du poids d'un certain volume de cette huile à pression atmosphérique à une température donnée au poids de même volume d'eau à 20°C.

Principe : Les huiles fortement acides ont une densité inférieure à celles des huiles neutres correspondantes, et aussi les acides gras ont une densité inférieure à celle de leurs glycérides.

Mode opératoire : mettre 200 ml d'huile à analyser dans une éprouvette de 250ml, tremper le densimètre dans l'éprouvette et attendre qu'il se stabilise, lire directement sur le densimètre la valeur de la graduation correspondante à la surface du liquide.

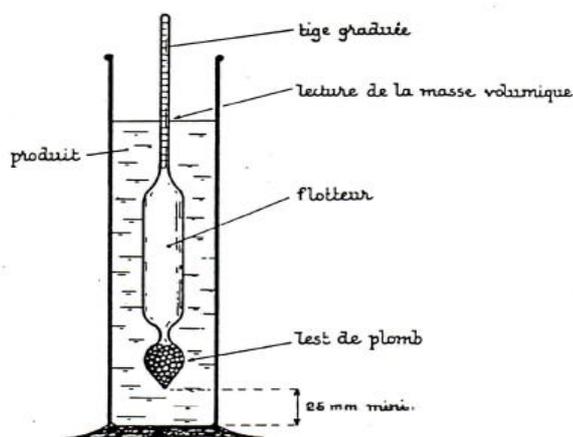


Figure IV.1 : Analyse de densité

➤ Résultats

Tableau IV.3 : Densité des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
Densité à 20°C	0.919	0.919	0.919	0.919	0.913	0.913	0.914
Valeur normale	[0.915 ,0.964]						

b. Couleur

La qualité des huiles peut être déterminée à partir de la couleur . Pour cela nous avons utilisé un appareil spectrophotomètre en mesurant l'absorbance des différents échantillons .

Principe

Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution, une partie de celle-ci est absorbée par le soluté. L'intensité de la lumière transmise I est donc inférieure à I_0 . On définit l'absorbance de la solution comme [14] :

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

On parle aussi de transmittance définie par la relation :

$$T = \frac{I}{I_0} \text{ c'est-à-dire que } A = -\log T$$

➤ Résultats

Tableau IV.4 : Absorbance des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
absorbance A	0	0.025	0	0.14	0.10	0.02	0.10
Valeur normale	-	-	-	-	-	-	-



Figure IV.2 : Comparaison visuelle de la couleur .

c .Point de trouble et point d'écoulement

➤ Principe et définitions

Point de trouble

Le point de trouble, observé tous les degrés en refroidissant le produit, correspond à l'apparition d'un trouble distinct il correspond au début de solidification de l'huile.

Point d'écoulement

Par observation tous les 3°C, en inclinant le tube pendant 5 secondes, on repère la température pour laquelle dans ces conditions le produit ne coule plus. Le point d'écoulement est déterminé en ajoutant 3°C à la température précédente.

Mode opératoire

L'échantillon est placé dans un tube à essais cylindrique à fond plat. Ce tube est muni d'un bouchon portant un thermomètre, et est placé à l'intérieur d'une jaquette refroidie par un mélange réfrigérant .

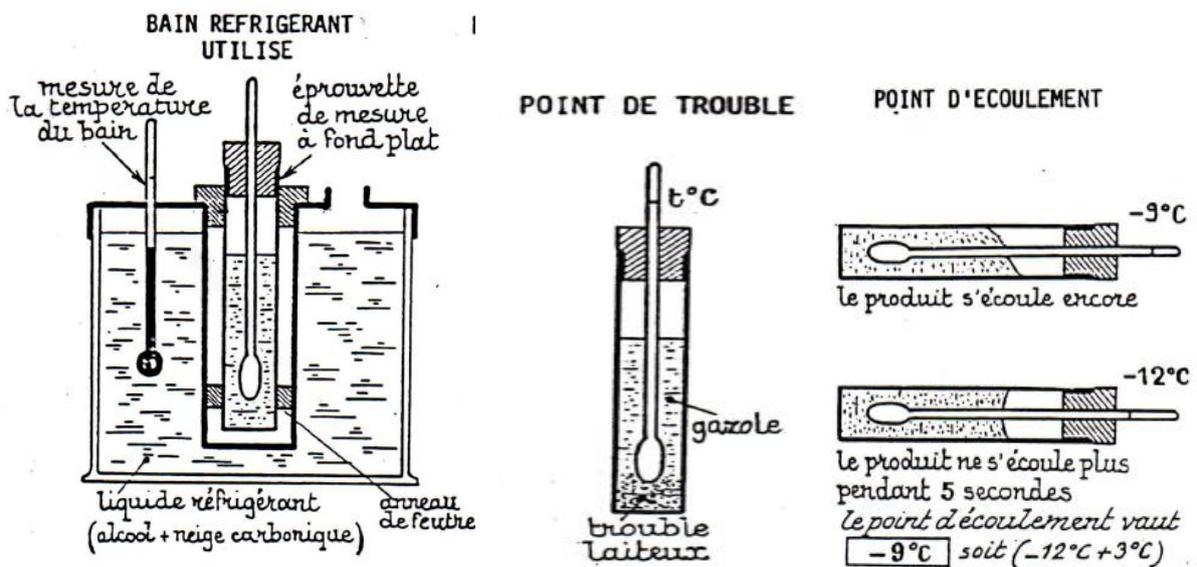


Figure IV.3 : Analyse du point de trouble et d'écoulement

➤ **Résultats**

Tableau IV.5 : Point de trouble et point d'écoulement des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
Point de Trouble °C	1	1	1	2	1	3	3
Valeur normale °C	[1 ,5]						
Point d'Écoulement °C	-8	-7	-8	-8	-10	-5	-7
Valeur normale °C	>-10				>-7		

b. Indice de réfraction

La mesure de l'indice de réfraction permet d'avoir très rapidement une idée de la composition d'un mélange liquide.

Principe

La lumière quand elle change de milieu (en traversant par exemple l'interface entre l'air et l'eau) change légèrement de direction; l'angle que fait le rayon incident avec l'horizontal (angle i) est plus grand que celui que fait le rayon réfracté (angle r).

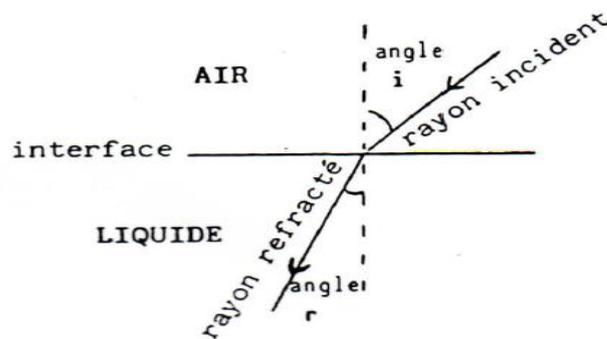


Figure IV.4 :Principe de la réfraction de la lumière

Pour une température et un liquide donnés, le rapport des sinus des angles i et r est constant quelque soit l'angle avec lequel le rayon incident arrive sur l'interface. Ce rapport est appelé indice de réfraction par rapport à l'air du liquide considéré et on le note " n ". Il est caractéristique d'un liquide qu'il soit pur ou mélange.

Mode opératoire

Une goutte de liquide à tester (0,5ml) est déposée sur le prisme principal du réfractomètre (1) qui a préalablement été nettoyé scrupuleusement. Le couvercle du réfractomètre (2) est alors refermé puis l'opérateur tourne la molette (3) de l'appareil jusqu'à ce que la ligne (de séparation entre la zone claire et la zone obscure) qu'il regarde par l'oculaire "visée" (4) soit en correspondance avec le réticule (5). Il lit alors l'indice de réfraction par l'autre oculaire (6) où il voit une échelle directement graduée en indice de réfraction (7). Il note la valeur de n pour la température de l'essai.

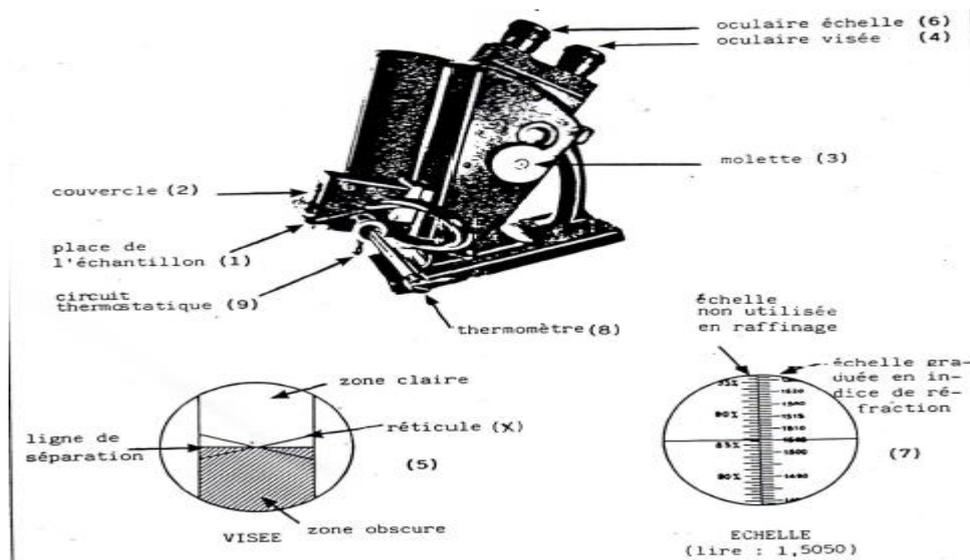


Figure IV.5 :Réfractomètre

➤ Résultats

Tableau IV.6 :Indice de réfraction des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
Indice de réfraction	1.473	1.473	1.470	1.469	1.464	1.464	1.464
Valeur normale	1.460-1.470						

e. Viscosité

Définition et principe

La viscosité est une propriété très importante pour les huiles végétales . D'une façon générale elle caractérise leur résistance à l'écoulement .Elle est liée aux difficultés que rencontrent les particules de fluide dans leur libre déplacement les unes par rapport aux autres.

Les méthodes utilisées pour déterminer la viscosité conduisent à adopter 2 définitions différentes :

la viscosité dynamique traduit la réalité des frottements intérieurs entre les particules de fluide. Elle s'exprime le plus souvent en milli Pascal secondes plus connus sous l'appellation centipoises (abréviation : cP).

la viscosité cinématique prend en compte, en plus des frottements internes, la masse volumique ou densité du liquide. Cette dernière intervient chaque fois que l'on détermine une viscosité en mesurant un temps d'écoulement sous charge. On conçoit en effet que le temps obtenu dépend non seulement de la viscosité propre du liquide mais aussi de la densité. La viscosité cinématique s'exprime dans le système SI en m^2/s . On préfère souvent utiliser le mm^2/s qui correspond à l'unité la plus connue de viscosité cinématique : le centistoke (abréviation cSt)

La viscosité cinématique est calculée à partir du temps d'écoulement par la formule :

Viscosité cinématique (en cSt) = C.t

C : constante du viscosimètre qui dépend de la taille du capillaire du viscosimètre utilisé

Dans notre cas C=3.11

t : temps d'écoulement en secondes.

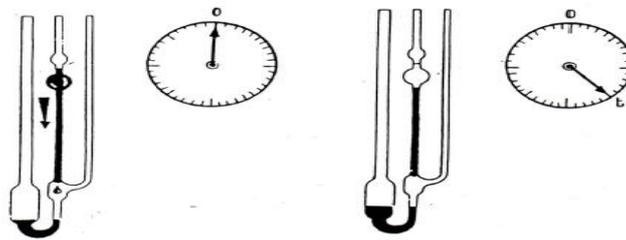


Figure IV.6 :Viscosimètre Ubbelhode

➤ Résultats

Tableau IV.7 :Viscosité des échantillons

analyse	échantillons						
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07
Viscosité Cst à 20°C	69	71	63	60	75	81	69
Valeur normale(Cst)	60-80						

Le but de ce travail était , à travers l'analyse et la caractérisation physico-chimique de plusieurs échantillons d'huiles de différents provenance, de mettre au point un protocole de caractérisation simple et accessible.

Après une partie théorique sur les corps gras en général , leur caractéristiques physico-chimiques et leurs utilisations , nous avons collecté plusieurs échantillons d'huiles de différents provenances et les avons analysés au laboratoire.

Nous avons déterminé leur densité, indice de réfraction, couleur, point de trouble et point d'écoulement , viscosité et indice d'acide qui était les plus accessibles et les plus importants. Les résultats ont été comparés aux normes des huiles de tables .

Par ailleurs l'aspect biocarburant étant envisagé, il serait nécessaire de pousser plus loin les investigations afin de compléter les essais réalisés .

Ce travail n'est qu'une ébauche qui nous a permis d'entre voir l'utilité d'une telle étude qui mérite d'être poursuivie .

Bibliographie

[1] **ROGER FRANCOIS** «Les industries des corps gras » Technologie et documentation
11,rue Lavoisier 1974.

[2] **M. KEBOUCHI** « Raffinage des huiles végétales »Rapport de stage dans l'usine de
Cevital Bejaïa 2008

[3] **ELISABETH VERLING et MARLIENE FRENOT** « Biochimie des aliments
diététique » 2eme édition 2001.

[4] [www .azaquar.com](http://www.azaquar.com)

[5] **Christine CHENE** « les matières grasses »
Site internet : www.adrianor.com

[6]documents et protocoles fournies par l'usine de Cevial

[7] Rapport de l'Agence internationale de l'énergie 2009

[8]Conférence Internationale « Enjeux et Perspectives des Biocarburants pour l'Afrique ».
Ouagadougou, Burkina Faso, 27-29 novembre 2007.

[9] www.goole.com
les huiles végétales pures de la graine au pot d'échappement

[10] Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en
France ADEME/DIREN Price Waterhouse Coopère Décembre 2002

[11] Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
(CIRAD)
Site internet : www.cirad.fr

[12] www.huilecarburant.free.com

[13] **PATRICK ROUSSET** « Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles
végétales » Brazilia 2008

[14] www.wikipédia.org/wiki/spectrophotométrie

