

# **Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant**

*Gilles VAITILINGOM  
Montpellier, France, octobre 2007*

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>LES HUILES VEGETALES NATURELLES (OU PURES) CARBURANTS.....</b>	<b>3 -</b>
1.1.	GENERALITES : .....	- 3 -
1.2.	CARACTERISTIQUES.....	- 3 -
1.3.	HISTORIQUE : .....	- 6 -
1.4.	AVANTAGES DES HUILES VEGETALES COMME CARBURANT : .....	- 8 -
1.5.	CONCLUSIONS : .....	- 9 -
<b>2.</b>	<b>EXTRACTION, CONDITIONNEMENT DES HUILES VEGETALES CARBURANT.....</b>	<b>10 -</b>
2.1.	COLLECTE DES AMANDES, DES GRAINES OU DES FRUITS.....	- 10 -
2.2.	PRETRAITEMENT AVANT LE PRESSAGE.....	13
	<i>Traitement des fruits à pulpe</i> .....	14
	<i>Traitement des amandes et graines oléagineuses</i> .....	14
2.3.	PRESSAGE ET TRITURATION.....	17
	<i>Pressage des fruits à pulpe</i> .....	17
	<i>Pressage des amandes et graines oléagineuses</i> .....	18
2.4.	TRAITEMENTS ET QUALITE.....	21
2.5.	DECANTATION ET FILTRATION.....	22
2.6.	STOCKAGE ET DISTRIBUTION.....	24
2.7.	CONCLUSIONS .....	24
<b>3.</b>	<b>UTILISATION DES HUILES VEGETALES PURES DANS LES MOTEURS DIESELS.....</b>	<b>25</b>
3.1.	INTRODUCTION : FONCTIONNEMENT DES MOTEURS DIESEL.....	25
3.2.	LES MOTEURS A INJECTION DIRECTE ET LES MOTEURS A INJECTION INDIRECTE.....	26
3.3.	PROBLEMES RENCONTRES LORS DE L'UTILISATION DE L'HUILE VEGETALE PURE CARBURANT .....	29
3.4.	MODIFICATIONS DES CHAMBRES DE COMBUSTION DES MOTEURS A INJECTION DIRECTE: .....	33
3.5.	ADAPTATION TYPE « BICARBURATION » SUR LES MOTEURS A INJECTION DIRECTE:.....	34
3.6.	CONCLUSION .....	36
<b>4.</b>	<b>PERFORMANCES ET POLLUTION COMPAREES ENTRE HUILE VEGETALE ET FIOUL DANS LES MOTEURS DIESELS MODIFIES.....</b>	<b>38</b>
4.1.	PERFORMANCES COMPAREES.....	38
4.2.	POLLUTION COMPAREE.....	39
4.3.	CONCLUSIONS .....	40
<b>5</b>	<b>UTILISATION DES HUILES VEGETALES PURES DANS LES BRULEURS.....</b>	<b>41</b>
5.1.	UTILISATION DES HVP DANS LES BRULEURS EN RESUME : .....	41
5.2.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES BRULEURS MODERNES : .....	42
5.3.	ADAPTATIONS DES BRULEURS POUR UTILISER DES HVP : .....	43
5.4.	PERFORMANCES ET POLLUTION COMPAREES ENTRE FIOUL ET HUILES VEGETALES.....	44
5.5.	APERÇU DES BRULEURS HVP DISPONIBLES SUR LE MARCHE : .....	45
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>46</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>51</b>

## 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. Dans l'état actuel de nos modes de consommation l'apparition de nouvelles sources de carburants renouvelables ou non est une nécessité. L'arrivée de biocarburants dans les fiouls et essences est fortement prévisible que ceux-ci soient issus de ressources nationales ou pas.

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 pour des usages énergétiques comme la carburation automobile, les moteurs fixes (pompes, groupes électrogènes), la combustion (chauffage de bâtiments, serres...), ou certaines applications industrielles (lubrifiants, solvants non toxiques, peintures, encres...).

Ces huiles sont produites à partir d'oléagineux (Canola, Tournesol, Buriti, Babassu, Palme...) sur des terres agricoles, en jachère ou non, en plus ou moins grandes quantités selon les sols et les contextes économiques et agricoles. Le secteur agricole et certaines collectivités territoriales leur accordent une attention de plus en plus importante et s'interrogent sur leur utilisation comme alternative partielle aux énergies d'origine fossile.

*Je remercie Gaëlle Lyon pour sa contribution à ce travail, en particulier dans la réalisation du chapitre 3 de ce document.*

## ABRÉVIATIONS ET SIGLES

BIODIESEL	Esters méthyliques d'huile de colza ou de tournesol
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Cl	Chlore
ETBE	éthyl tertio butyl ether
HVN	Huiles végétales naturelles
HC	Hydrocarbure
HVP	Huiles Végétales Pures
I <sub>2</sub>	Diode
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
OMe	Ester méthylique
OEt	Ester éthylique
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
TIC	Taxe Intérieure de Consommation

# PREMIERE PARTIE : LES HUILES VEGETALES NATURELLES (OU PURES) COMME CARBURANT AGRICOLE

## 1. Les Huiles végétales naturelles (ou pures<sup>1</sup>) carburants

### 1.1. Généralités :

Les substances à partir desquelles sont produites les huiles sont soit des graines ou des amandes soit des fruits. En fait, toutes les graines, tous les fruits et toutes les amandes contiennent de l'huile, mais seuls sont appelés *oléagineux* ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but.

Parmi les graines de plantes cultivées pour leur huile, les plus connues sont : l'arachide, le colza, le ricin, le soja et le tournesol. Il faut y joindre les graines de plantes cultivées pour fournir des fibres textiles - et subsidiairement de l'huile tel que le coton et le lin principalement. Quant aux fruits oléagineux et aux amandes, ils proviennent principalement du cocotier (noix de coco contenant le coprah), du noyer, du palmier à huile (palme et palmiste) et de l'olivier (olives).

### 1.2. Caractéristiques

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. Les triglycérides sont des tri-esters formés par la réaction d'acides gras sur les trois fonctions alcools du glycérol.

### Classification :

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 (semi-siccatives) : indices d'iode de 50 à 100
  - oléiques : olive, arachide, colza, sésame, jatropha curcas, ricin
  
- les huiles di-insaturées (semi-siccatives) : indices d'iode de 100 à 150
  - linoléique : tournesol, coton, maïs, soja,....

---

<sup>1</sup> Le terme anglais Pure Vegetable Oil se traduit mal en français par : « Huile Végétale Pure ». En effet le mot « Pure » signifie « utilisée seule » alors que le sens désigne ici une huile végétale non modifiée chimiquement soit une huile végétale « Naturelle ». C'est sous le nom d'HVP (Huiles Végétales Pures) que celles-ci se diffusent en France.

- Les huiles tri-insaturées (siccatives) : indices d'iode > 150
- linoléiques : lin
  - éléostariques : huile de bois de chine

L'indice d'iode permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile : il varie entre 0 et 200g/100g. Il correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras (NF T60-203). Il est donc en rapport direct avec le degré d'insaturation d'un corps gras : plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé.

Cette mesure consiste à mettre en présence de grande quantité de diiode avec de l'huile (deux atomes d'iodes liés par un atome de chlore et de l'acide acétique, soit  $I_2$  (acide) + Cl (acide)). L' $I_2$  coupe les doubles liaisons et se fixe à l'acide gras. Ensuite, on détermine combien de diiodes ont été capturés par les doubles liaisons. On peut ainsi en déduire le degré d'insaturation du corps gras analysé.

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. Il en est de même pour leurs esters éthyliques ou méthyliques.

### Caractéristiques physiques et carburant des principales huiles végétales :

- **Caractéristiques physiques des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza**

	Masse volumique (20 °C) g.cm <sup>-3</sup>	Viscosité (20 °C) mm <sup>2</sup> /s	Point d'écoulement °C	Point de trouble °C	Point éclair °C	Pouvoir calorifique MJ/kg
<i>Diesel</i>	0,836	6	-18	-9	93	43.8
<i>Ester méthylique de colza</i>	0,880	7	-12	-4	183	41
<i>Coprah</i>	0,915	30*	23/26	28	230	37.1
<i>Palme</i>	0,945	60*	23/40	31	280	36.9
<i>Buriti</i>	0,912 à 25°C	138,3	-4	-		39,08
<i>Ricin</i>	0,955	850-1100	-10 à -20	-	265	37,20
<i>Babassu</i>	0,946	25,5 à 25°C	22/26	26	234	35,28
<i>Coton</i>	0,921	73	-2	1	243	36.8
<i>Pourghère</i>	0,920	75,7	-3	2	236	38.8
<i>Arachide</i>	0,914	85	-1	9	258	39.3
<i>Colza</i>	0,920	78	-6	-4	285	37.4
<i>Soja</i>	0,920	61	-4	-4	330	37.3
<i>Tournesol</i>	0,925	58	-6	-2	316	37.8

\* viscosité cinématique @ 40 °C

- **Caractéristiques “carburant” des huiles végétales comparées au Diesel et à l’ester méthylique d’huile de colza**

	Masse volumique (20 °C) g.cm <sup>-3</sup>	Point éclair °C	Résidu de carbone %	Point d'écoulement °C	Indice de cétane	Pouvoir calorifique MJ/kg
<i>Diesel</i>	0,836	93	< 0.01	-18	50	43.8
<i>Ester méthylique de colza</i>	0,880	183	0.02	-12	52	41
<i>Coprah</i>	0,915	230	0,5	23/26	43	37.1
<i>Palme</i>	0,945	280	0.42	23/40	39	36.9
<i>Buriti</i>	0,912 à 25°C		-	-4	-	39,08
<i>Ricin</i>	0,955	265	0,1	-10	-	37,20
<i>Babassu</i>	0,946	234	0,28	22/26	38	35,28
<i>Coton</i>	0,921	243	0.49	-2	34	36.8
<i>Pourghère</i>	0,920	236	1.31	-3	35	38.8
<i>Arachide</i>	0,914	258	0.5	-1	32	39.3
<i>Colza</i>	0,920	285	0.5	-6	32	37.4
<i>Soja</i>	0,920	330	0.54	-4	30	37.3
<i>Tournesol</i>	0,925	316	0.35	-6	32	37.8

Les huiles végétales ont des caractéristiques similaires à celles du fioul. 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. Mais, si les valeurs présentées dans les tableaux permettent une classification en terme de qualité des huiles végétales, elles ne sont pas directement comparables à celles du fioul. En effet, l’huile de tournesol qui présente un indice de cétane de 32 se comporte mieux dans un moteur diesel que des fiouls de mêmes indices.

En fait, les spécifications actuelles des carburants pétroliers sont issues d'un passé, d'une histoire de l'industrie pétrolière liée étroitement au développement des moteurs à combustion interne. Les valeurs normalisées ou communément admises sont les fruits de données pratiques et empiriques. Beaucoup de ces spécifications sont des tests "pétroles" qui perdent leur sens comparatif dans certain cas.

- la température de distillation : la norme prévoit que 90 % du produit doit être distillé dans la fourchette 282-338°C. Or il n'y a pas de réelle distillation des huiles végétales mais seulement d'une partie des acides gras, puis décomposition thermique.
- le point de trouble : la norme prévoit 2°C, ce qui exclut l'huile de palme, par exemple, solide à 20°C alors qu'elle est considérée comme un bon biocarburant.
- Notons que les points éclair élevés des huiles végétales garantissent une meilleure sécurité du stockage

### **1.3. Historique :**

L'intérêt des huiles végétales en tant que carburant des moteurs à cycle Diesel n'est pas nouveau. Il semble même étonnant aujourd'hui de constater que dans les années 1920, ingénieurs et chercheurs se soient consacrés à l'étude de carburants végétaux.

En effet, c'était une solution très attractive pour les zones coloniales, riches en oléagineux, qui avaient sur place une source d'énergie renouvelable les rendant indépendantes d'approvisionnements problématiques par leur isolement des métropoles.

Les études alors menées l'étaient aussi dans le souci de valoriser un carburant dont les caractéristiques se rapprochaient le plus des huiles de pétrole, ceci sans aucun préalable de non faisabilité ou d'excentricité de telles solutions.

**Citons à ce propos une communication de M Rudolf Diesel (1858-1913) lui-même en 1911**

"On ignore généralement que l'on peut employer directement dans les moteurs diesels les huiles animales ou végétales En 1900, la société OTTO avait exposé à l'Exposition Universelle de Paris un petit moteur qui, à la demande du gouvernement français marchait à l'huile d'arachide et fonctionnait tellement bien que très peu de gens s'apercevait du changement. Le moteur était construit pour employer les huiles\* ordinaires et fonctionnait à l'huile végétale sans aucune modification. J'ai récemment recommencé ces essais sur une grande échelle avec plein succès et ils ont entièrement confirmé les résultats obtenus précédemment. Le gouvernement français avait en vue l'utilisation des grandes quantités d'arachide dont on dispose dans les colonies africaines et qui sont d'une culture facile. On pouvait ainsi doter les colonies d'usines de production de force motrice et d'établissements industriels, sans qu'il soit nécessaire d'y importer de la houille ou du combustible liquide.

Des essais semblables, couronnés du même succès, ont également été faits à Saint Pétersbourg avec de l'huile de ricin. On a même essayé avec plein succès les huiles animales telle que l'huile de poisson."

\* de pétrole (ndlr)

Les exemples de recherches et d'utilisations sont nombreux de 1920 à 1950.

Il y eut des essais isolés mais également des utilisations pratiques et de longue durée au début de la dernière guerre. Notamment dans le port d'Abidjan (Côte d'Ivoire) où le ravitaillement en carburants classiques devenant difficile, la Société de Construction du port utilisa, dans ses moteurs de 50 à 800 chevaux, de l'huile de palme filtrée au filtre - presse à raison de 100 tonnes par mois.

Rappelons aussi que durant la dernière guerre, un convoi de 30 à 40 camions militaires de l'armée française effectuait chaque semaine la liaison Dakar-Alger (3 500 km) Ces camions fonctionnaient à l'huile d'arachide ainsi que tous les autobus de Dakar (Sénégal) à la même époque.



**Pick-up Chevrolet à l'huile de d'arachide, Etat Unis**

Les essais et recherches, renforcés au cours de la guerre, se poursuivirent jusqu'en 1952 dans tous les laboratoires spécialisés français (Laboratoire de Mécanique physique de St Cyr ; UTAC Union Technique de l'Automobile et du Cycle; etc).

Elles ont connu un regain d'engouement vers 1975, à la suite du premier choc pétrolier. Ainsi lors du second choc de 1978, un certain nombre de chercheurs et d'expérimentateurs avaient "rafraîchi" le sujet et fait ressurgir l'intérêt de cette source renouvelable. De très nombreux pays se sont alors lancés dans les recherches.



**Moteur fonctionnant à l'huile de Pourghère, Bamako Mali nov. 1994**  
[www.peracod.net](http://www.peracod.net)



**Moteur à l'huile de palme. Photo CIRAD**



**Brûleur fonctionnant à huile de colza, de tournesol, de palme, de coprah (pulpe séchée de la noix de coco) ou bien encore de pourghère. Photo CIRAD**

Outre les universités, les constructeurs de machines agricoles étudièrent la possibilité d'utiliser les huiles végétales comme substitut du fuel ou du gazole (JOHN DEERE, CATERPILLAR, INTERNATIONAL HARVESTER, VOLKSWAGEN, FIAT, MERCEDES,...) beaucoup d'essais furent réalisés jusqu'en 1984.

#### **1.4. Avantages des huiles végétales comme carburant :**

Parmi les solutions possibles de biocarburants utilisables en agriculture, celle des huiles végétales naturelles présente un grand intérêt et mérite d'être considérée quelle que soit la taille des exploitations agricoles et le contexte de la production.

Ces avantages sont les suivants :

1. Les huiles végétales naturelles ont des propriétés énergétiques proches de celles du fioul. Produites par l'agriculture, elles ne sont pas un substitut direct de l'essence mais bien du gazole qui est le « carburant agricole numéro un ». Par ailleurs les huiles végétales se mélangent très bien aux fiouls.
2. Ce « carburant agricole potentiel » peut être produit directement sur l'exploitation.
3. L'huile végétale est issue de cultures annuelles ou de plantations pérennes existantes. L'impact sur l'écosystème local est aisément évaluable.
4. Les moyens de production s'appuient sur des techniques et des technologies disponibles et existantes en petites, moyennes ou grandes capacités.
5. La qualité requise en tant que carburant n'est pas aussi exigeante que pour l'alimentation humaine. Les stockages et transferts, s'ils exigent de la propreté, ne nécessitent pas de matériaux alimentaires. Une huile impropre ou toxique à la consommation humaine peut être utilisée comme carburant par exemple l'huile de ricin.
6. Leur utilisation en tant que biocarburant peut se faire selon deux voies :
  - en tant que carburant industriel : par trans-estérification à l'aide d'un alcool méthylique ou éthylique ou par cracking catalytique<sup>2</sup>.
  - en tant que carburant local en circuit court d'autoconsommation. Dans ce cas on privilégiera l'usage sous leur forme naturelle.

La première voie nécessite une transformation chimique sophistiquée si l'on ne veut pas générer trop de pertes lors de l'estérification. Cette voie s'applique aux moyens ou gros systèmes. Elle s'éloigne souvent des exploitations agricoles.

La seconde voie peut s'envisager sur les lieux de production de la matière première. Elle est rapidement applicable et peut ne pas nécessiter d'intrants souvent onéreux.

7. L'agriculture produit de cinq à dix fois l'énergie qu'elle consomme. Cette énergie se présente sous la forme de produits alimentaires énergétiques et de sous-produits utilisables pour produire de l'énergie (bagasse de canne à sucre par exemple). Mais aujourd'hui l'agriculture moderne dépend de la mécanisation. Laquelle est totalement dépendante de carburant liquide.

---

<sup>2</sup> Le cracking catalytique est une réaction effectuée à 400°C minimum, elle permet de séparer, sous forme de CO<sub>2</sub>, la partie oxygénée d'une huile végétale et de couper ses longues chaînes en molécules plus petites. Cela permet de se rapprocher de produits pétroliers tels que essence, gazole et gaz.

L'intérêt du circuit court d'autoconsommation d'huile végétale naturelle est qu'il peut produire le carburant nécessaire à la production agricole dans un rapport proche de l'idéal qui est de 1 pour 10. Autrement dit, si je dispose de mécanisation, avec un hectare de tournesol ou de colza, je peux produire 9 hectares d'oléagineux sans recours à du carburant pétrolier. Enfin, l'intérêt, pour des Unités de production agricoles petites ou moyennes, c'est qu'elles peuvent produire sur place trois choses :

- le produit oléagineux alimentaire
- le carburant nécessaire à la production
- le sous-produit (tourteau) utilisable directement en alimentation animale.

#### 8. Avantages écologiques de la production d'huiles végétales biocarburant<sup>3</sup>

Parmi les sources d'énergie produites par l'agriculture, les huiles végétales sont des substituts du fioul, premier carburant agricole. Elles peuvent être directement produites sur place en circuit court. Elles offrent tout ou partie du carburant nécessaire à assurer une augmentation future de la production agricole. Elles ne génèrent pas de rejets indésirables, au contraire ses sous-produits sont utilisables en agriculture et élevage.

#### **1.5. Conclusions :**

Les huiles végétales présentent des caractéristiques proches de celles des fiouls et se révèlent de bons carburants pour les moteurs diesels. Alors, pourquoi aujourd'hui si peu d'applications carburant des huiles végétales ?

L'histoire indique que M. Diesel, inventeur de ce type de moteur, les avait qualifié comme carburant dès 1900. C'est l'évolution économique et industrielle mondiale qui a spécialisé les moteurs vers le pétrole, ressource plus abondante et, hier, plus facile d'accès que d'autres comme les huiles végétales par exemple.

Comme toutes les « énergies vertes », l'huile végétale est en période normale et à moyen terme plus chère que le pétrole. Par ailleurs, 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 (eux-mêmes constructeurs des moteurs).

Enfin, la compétition entre usages énergétique et alimentaire demeure un facteur de blocage fort.

---

<sup>3</sup> L'utilisation d'huiles végétales bio carburant permet de ne pas augmenter le volume de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère (la quantité rejetée pendant la combustion équivaut à la quantité stockée par l'activité photo synthétique des plantes), au contraire de l'utilisation de carburant fossile, et joue donc un rôle positif dans le contrôle de l'effet de serre. En circuit court, l'usage de 1000 litres d'huiles végétales permet d'atteindre 3,2 tonnes de CO<sub>2</sub> évité.

## DEUXIÈME PARTIE - PRODUCTION ARTISANALE DES HUILES VÉGÉTALES : DE LA RECOLTE A L'HUILE

### 2. Extraction, conditionnement des huiles végétales carburant

La production d'huiles végétales à destination carburant utilise les mêmes équipements que la production alimentaire traditionnelle que ce soit à l'échelle artisanale ou industrielle. L'accent sera mis sur les HVP issues de filières courtes, c'est-à-dire issues de la production artisanale que l'extraction soit manuelle ou mécanisée. En réalité, le « gros artisanal » utilise à peu près les mêmes outils que le « petit industriel ».

#### 2.1. Collecte des amandes, des graines ou des fruits.

La récolte peut s'effectuer de deux manières différentes :

- à la main
- à l'aide d'une machine

Toutes les récoltes ne sont pas mécanisées, c'est le cas par exemple du babassu, du buriti ou du palme. Parfois il existe une aide mécanisée à la récolte. La machine suit l'évolution des technologies et permet de gagner du temps, comme pour la récolte du coton qui peut s'effectuer soit à l'aide d'une machine soit à la main.

Dans certain cas, l'usage d'une machine peut entraîner une dégradation des fruits, des graines ou des amandes ce qui peut augmenter l'acidité de l'huile.

En généralisant, la récolte des graines se fait mécaniquement alors que celle des fruits s'effectue à la main.

#### • Famille des palmacées : Babassu, Buriti, Palme



*Récolte des grappes de palme*

Le palmier à huile produit des fruits toute l'année. Les arbres sont donc visités tous les 10 jours afin de récolter des régimes à bonne maturité. Ensuite, ils sont traités dans les 48 heures qui suivent leur récolte. Pour réaliser la récolte, on utilise soit la machette soit le couteau tout dépend de la hauteur du stipe<sup>4</sup> des régimes mûrs.

<sup>4</sup> En botanique, c'est la partie axiale, droite et aérienne de certaines monocotylédones arborescentes, caractérisée par l'absence de rameaux et de branches secondaires



*Buriti*



*Palme*



*Babassu*

- **Pourghère appelé également jatropha**

La maturité des graines s'étale de janvier à juillet suivant les régions. Les capsules de jatropha ne mûrissent pas toutes en même temps ; il faut donc choisir les fruits bien murs c'est-à-dire quand ils sont de couleur brune. La récolte se fait manuellement. On prélève les amandes à l'intérieur des capsules. Ensuite, on casse les amandes

pour extraire les graines, chaque capsule contient 2 graines.

Après la collecte, les graines, les capsules ont encore une teneur en eau importante. Il ne faut pas conserver les graines dans cet état trop longtemps. Il est nécessaire de passer directement à leur préparation.



- **Ricin**

La récolte s'effectue lorsque les capsules sont devenues dures et cassantes en prenant une coloration brunate.



**Capsule de graine de ricin**  
[www.snv.jussieu.fr/](http://www.snv.jussieu.fr/)

Quand le fruit est mur, on peut cueillir les capsules soit à la main soit à la machine.



**Temo-ingrequip**  
Photo Cemagref

Ensuite, on prélève les graines contenues dans celles-ci en écartant les régions médianes de chaque coque.



**Graine ricine.**  
[www.snv.jussieu.fr](http://www.snv.jussieu.fr/)

- **Coton, Arachide, Tournesol et colza**

Au Brésil, quand 80 % des capsules s'ouvrent, l'agriculteur pulvérise un produit appelé maturateur qui accélère la maturité des graines de coton. Ensuite, il vaporise un défoliant qui accélère la chute des feuilles pour faciliter la récolte à la machine. Quand 95 % des capsules sont ouvertes, la récolte peut commencer et les *cotton pickers* entrent en action. La collecte peut s'effectuer de manière manuelle ou à l'aide de machine. La récolte mécanisée a l'inconvénient de récolter des débris de capsules, de brindilles et Les opérations de nettoyage sont donc plus importantes que pour le coton graine récolté manuellement.

de feuilles en même temps que le coton graine.



**Photo David Nance.**  
[www.diplomatie.gouv.fr/](http://www.diplomatie.gouv.fr/)

Les graines de colza et de tournesol sont récoltées grâce à des moissonneuses batteuses.  
Là aussi, des opérations de nettoyage des graines sont nécessaires.

**Tableau récapitulatif : origine de l'huile et type de récolte**

	<b>Origine de l'huile :</b>	<b>Mécanisation de la récolte :</b>	<b>Types de machine</b>
<i>Coprah</i>	amande	non	
<i>Palme</i>	pulpe du fruit	non	
<i>Buriti</i>	Pulpe du fruit	non	
<i>Ricin</i>	amande	oui	Temo-ingrequip
<i>Babassu</i>	amande	non	
<i>Coton</i>	graine	oui	Cotton pickers ou cotton stripper
<i>Pourghère</i>	amande	non	
<i>Arachide</i>	graine	oui	Récolteuse à arachide
<i>Colza</i>	graine	oui	Moissonneuse batteuse
<i>Tournesol</i>	graine	oui	Moissonneuse batteuse



**Récolteuse à arachide**  
[www.omafra.gov.on.ca](http://www.omafra.gov.on.ca)



**Moissonneuse batteuse**  
[www.u-blog.net](http://www.u-blog.net)

## 6.2. Prétraitement avant le pressage.

### Particularité des palmiers à huile (palme, buriti, babassu).



*Fruit du palmier à huile.*  
[www.almes-dv.com](http://www.almes-dv.com)

Le fruit du palmier a la particularité d'être composé de deux parties : d'une noix et d'une pulpe. On procédera à deux traitements distincts pour ces deux parties du fruit car elles fournissent deux huiles différentes :

- un traitement des fruits à pulpe
- un traitement des amandes oléagineuses, pour la noix.

Pour obtenir une huile de bonne qualité, il est indispensable de traiter les régimes dans les 24 heures qui suivent la récolte. La stérilisation a pour objet d'inactiver les enzymes responsables de la lipolyse et de l'oxydation. Les fruits égrappés, sont stérilisés dans des fûts de 200 litres, remplis d'eau bouillante durant 15 à 20 minutes.

Après stérilisation les régimes sont égrappés. Le principe consiste à détacher les fruits des régimes. Les régimes peuvent être battus à la machette ou avec des bâtons pour détacher les fruits. Une méthode traditionnelle consiste à laisser les régimes sous des feuilles pendant 2 à 4 jours afin de favoriser la séparation des fruits des régimes.

## Traitement des fruits à pulpe

- ***Huile de palme***

Après l'égrappage, les fruits sont ensuite cuits dans un fût partiellement rempli d'eau, puis écrasés. Ensuite, on passe à une phase de fermentation avant cuisson ou après le broyage afin de faciliter le pressage. Puis vient une phase de broyage qui peut s'effectuer sous deux formes soit:

- le pilage dans des mortiers
- le foulage au pied, pour des quantités plus importantes.

Après cette étape, on ajoute de l'eau à la masse ainsi obtenue. Ensuite, on procède à la séparation des noix et des fibres par malaxage à la main. Les noix de palmistes se déposent au fond alors que la pulpe surnage. Les noix sont recueillies pour faire de l'huile de palmiste et les fibres de tourteaux lavées et pressées à la main. Une crème huileuse se forme à la surface du liquide. Selon les habitudes régionales, on choisit de ne recueillir qu'elle, ou, au contraire, de conserver l'ensemble du liquide.



**Pilage du palme.**  
La Transformation  
Artisanale des Plantes à  
Huile. Expérience et  
Procédés. (GRET, 1995)

- ***Huile de buriti***

Le buriti a la particularité d'avoir un épicarpe dur à briser et une pulpe qui s'y adhère fortement. Pour effectuer cette séparation, on doit « casser » le fruit. Lorsque le fruit s'éclate, l'épicarpe et la pulpe se séparent facilement du noyau. Il est nécessaire de faire un traitement thermique avant l'extraction par pression de l'huile de pulpe afin de favoriser le rendement.



**Buriti**  
[www.answers.com/topic/  
moriche-palm.](http://www.answers.com/topic/moriche-palm)

## Traitement des amandes et graines oléagineuses

- ***Huile de palmiste***



**Le lavage des noix**  
[www.arcensels.com/fr](http://www.arcensels.com/fr)

La noix de palmiste, recueillie à la suite du malaxage des fruits de palme, est aussi une importante source d'huile. Manuellement, le travail d'extraction est difficile et long. Le problème majeur de cette huile, c'est qu'elle ne se conserve pas



**Foulage effectué avec les pieds.**  
[www.fao.org](http://www.fao.org)

longtemps. Par contre, après séchage, les noix peuvent être stockées durant quelques mois et on peut effectuer le travail d'extraction, selon les besoins ou lorsque les palmiers ne produisent plus de régimes.

Les noix ont une coque très dure. Elles sont concassées manuellement entre une pierre et une planche de bois ou avec une machine appelée concasseur. On observe de nombreuses pertes dues à une mauvaise séparation de la coque et de l'amande. Pour y remédier, au préalable on effectue un séchage des noix pour que la grosseur des amandes diminue, ce qui facilite une séparation nette sans brisure de l'amande. Une fois le décortiquage effectué, les amandes sont triées et nettoyées de tout débris, lavées et séchées, grillées pour être rendues plus friables.

Mécanisés, le décortiquage puis le broyage s'effectuent avec facilité en employant des équipements standards.



**Concasseur palmiste  
a rouleaux**  
[www.ourworld.compuserve.com/](http://www.ourworld.compuserve.com/)

- **Huile d'arachide**

Lorsque les plans sont arrachés, ils sont ensuite mis à ressuyer<sup>5</sup> à même le sol un jour ou deux. Après ressuyage, les plants d'arachides fanés sont rassemblés et mis à sécher. Le ressuyage puis le séchage ont pour effet de diminuer le taux d'humidité d'environ 35 % à plus ou moins 10 %.



**Séchage des noix d'arachide**  
[www.omafra.gov.on.ca/](http://www.omafra.gov.on.ca/)



**Ressuyage traditionnel**  
[www.afd-lv.org](http://www.afd-lv.org)



**Décortiqueur d'arachide**  
[www.tinytechindia.com](http://www.tinytechindia.com)

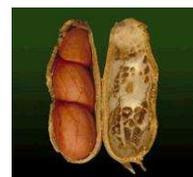
La première étape du traitement de l'arachide est le décortiquage pour séparer les graines des gousses. Il peut s'effectuer à la main ou à l'aide d'un décortiqueur (voir photo ci-dessus).



**Graine d'arachide avec  
tégument.**  
[www.afd-lv.org](http://www.afd-lv.org)

Après élimination du tégument qui entoure les graines, les graines sont broyées et réduites en pâte entre les meules d'un moulin ou au pilon dans un mortier. La mouture obtenue est ensuite cuite à la vapeur jusqu'à ce qu'elle suinte l'huile.

Une autre méthode consiste à cuire les amandes sur un feu modéré avec brassage permanent. Les amandes broyées



**Graine d'arachide  
dans les gousses**  
[www.afd-lv.org](http://www.afd-lv.org)

<sup>5</sup> sécher, faire perdre son excès d'eau.

chauffées seront ensuite pressées dans une presse à vis manuelle ou hydraulique.

- ***Huile de coton***

On procédera à un nettoyage du coton graine par des machines qui le débarrassent des grosses impuretés (feuilles, tiges, capsules...). Puis, il est égrené, c'est-à-dire que l'amande est séparée de la fibre pour la fabrication de l'huile.

Ensuite, le traitement s'apparente à celui de l'arachide, semi-décortiquées ou broyées au pilon. Les graines de coton forment un broyat d'où sera extrait l'huile manuellement ou mécaniquement.



**Coton avec capsule**  
[www.snv.jussieu.fr](http://www.snv.jussieu.fr)

- ***Huile de tournesol et de colza***

Après triage et nettoyage, les graines sont rarement décortiquées. Les préparations avant extraction sont similaires à celles de l'arachide ou des graines de coton.

- ***Huile de ricin***

Les fruits sont cueillis après mûrissement. Ils sont mis à sécher et lorsque les gangues sont sèches, elles libèrent leurs graines. Ensuite, elles sont nettoyées, débarrassées des restes de gangues et de certaines peaux résiduelles. Après, on procède à une étape de traitement thermique, antérieur à la phase d'extraction de l'huile, qui consiste à cuire et à sécher les graines. Cette cuisson permet la coagulation de certaines protéines, ce qui est nécessaire pour permettre une extraction efficace de l'huile. Elle s'effectue à une température de 80°C, en autoclave. Après avoir cuit, la matière est séchée à 100°C, on arrive à diminuer le taux d'humidité jusqu'à 4 % environ.

- ***Huile de babassu***



**Concassage des noix de babassu**  
[www.handsontv.info](http://www.handsontv.info)

Le concassage des noix de Babassu pour en extraire les amandes est une opération délicate. Il faut des chocs violents pour casser la coque ce qui entraîne l'écrasement de l'amande d'où l'augmentation de l'acidité. Ces amandes contiennent entre 63 et 70% de matière grasse.



**Noix de babassu**  
[www.seifenmanufaktur.ch](http://www.seifenmanufaktur.ch)

- ***Huile de pourghère***

Une des étapes des prétraitements est la torréfaction ce qui consiste à chauffer les graines au soleil sur une feuille en plastique noir pendant plusieurs heures ou sur un feu pendant 10 minutes. Ensuite, les graines sont broyées, bouillies et l'huile qui surnage est recueillie. Ce même broyat peut être préparé quand on effectue une extraction mécanisée.



### 2.3. Pressage et trituration.

Elle s'effectue en trois étapes :

- ✓ le pressage/trituration à froid, sans modification chimique,
- ✓ la décantation
- ✓ la filtration.

Pour produire l'huile, on peut installer les équipements de l'huilerie (silo de stockage des graines, presse, cuves de décantation et filtre) sous un abri ou dans un hangar.

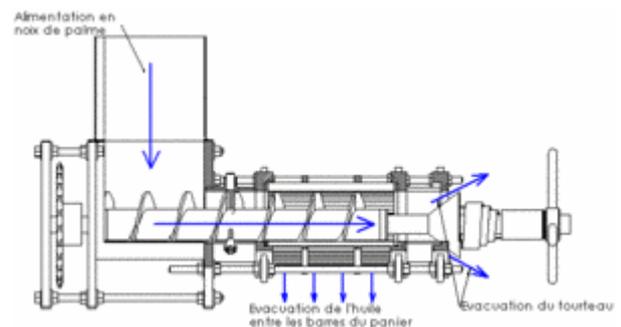
### Pressage des fruits à pulpe

- Huile de palme et huile de buriti

Pour la production de l'huile de palme, on peut procéder à deux méthodes différentes :

- extraction manuelle
- extraction thermique/mécanique

Ces techniques peuvent également être appliquées pour l'obtention de l'huile de buriti.



**Presse à vis sans fin pour huile de palme.**  
**Modèle COLIN.**  
[www.isf-iai.be](http://www.isf-iai.be)

L'extraction peut être mécanisée. On parvient ainsi à un rendement nettement supérieur. Pour cela, on peut utiliser le pressage ce qui permet d'obtenir l'huile de palme brute et les tourteaux. Les principaux procédés sont :

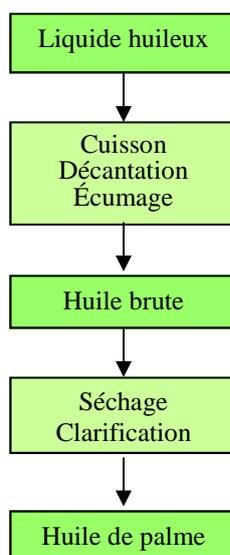
– les presses hydrauliques, presses à vis sans fin ou à barreau, qui laissent 9 à 11% d'huile sur fibre sèche.

– les presses en continu qui laissent entre 8 à 9% d'huile sur fibre sèche mais qui cassent beaucoup les noix et qui extraient des huiles fortement chargées en boue.

– lesessoreuses centrifuges qui conviennent bien aux fruits pauvres en pulpe.

– le malaxage/lavage qui consiste à laver la pulpe avec de l'eau très chaude pour entraîner l'huile. Mais sa récupération dans les boues est difficile.

### Extraction manuelle traditionnelle de l'huile de palme





**Presse manuelle à huile de palme. Amazonie**  
Photo CIRAD

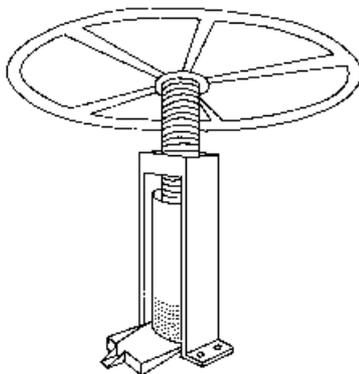
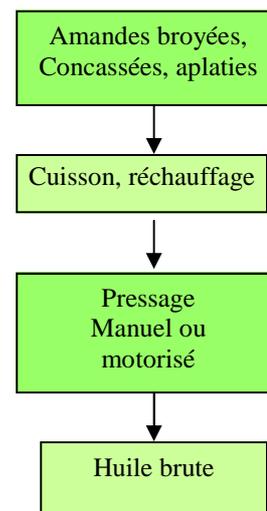


**Pressoir manuel (palme,...)**  
[www.ourworld.compuserve.com](http://www.ourworld.compuserve.com)

## Pressage des amandes et graines oléagineuses

- Huile de palmiste
- Huile de coton
- Huile d'arachide
- Huile de ricin
- Huile de babassu
- Huile de pourghère
- Huile de tournesol et de colza

Le pressage est optimisé avec un taux d'humidité de graines ou amandes compris entre 5 et 8 % et un taux d'impuretés inférieur à 2 %.



**Presse à noix de palme**  
[www.codeart.org](http://www.codeart.org)

Pour ces différentes graines oléagineuses, on peut utiliser soit des presses manuelles soit des presses motorisées. Toutes les presses motorisées sont équipées d'une vis, mais la cage de presse et la forme de la vis sont différentes d'une marque à l'autre et aussi en fonction de l'amande traitée.

Les presses manuelles font souvent appel à l'ingéniosité de leur concepteur qui cherche à appliquer une très forte pression à un lot d'amandes préparées pour l'extraction. Pressions par cric hydraulique, vis de vérin, bras de levier (voir photo ci-dessus) sont toutes efficaces. On peut obtenir de très bons taux d'extraction avec ces équipements le plus souvent fabriqués artisanalement. En revanche les quantités horaires d'huile produite sont très réduites. Au delà de 10 litres d'huile par jour on préférera une presse motorisée.

➤ **Les presse à vis à barreaux (40kg/h à plus de 2 000 kg/h) :**

L'huile passe à travers des barreaux ou des anneaux dont l'espacement est réglable en fonction du type de graines à presser. Un diamètre croissant de la vis augmente la pression sur les graines. L'espacement en sortie de presse est également réglable, les tourteaux sortent sous la forme de plaquettes ou écailles.



*Presse à barreaux*

➤ **Presse à vis à cage percée (< 50 kg/h) pour les petites capacités**



*Presse à vis pour huile de palme*

Une bague de réchauffement évite les blocages dans les buses au démarrage. Les tourteaux sortent sous forme de granulés.

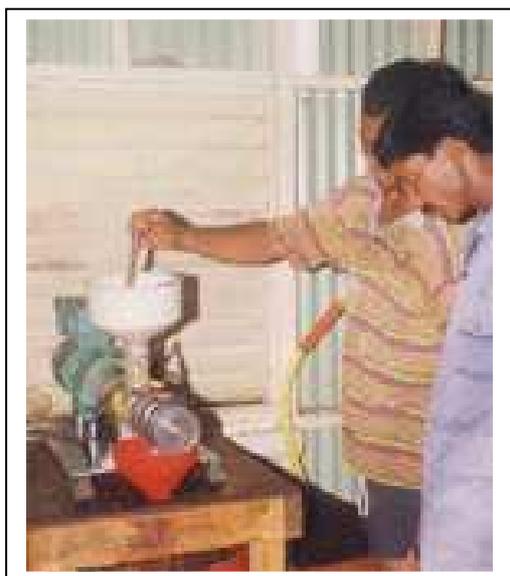
Le corps de la presse est percé pour permettre l'écoulement de l'huile au fur et à mesure du pressage. La vis présente un diamètre croissant pour augmenter la pression en fin de parcours des graines. Les tourteaux passent dans des buses interchangeables dont ils épousent la forme.

Selon le type de presse et la manière dont on presse les graines, on obtient des tourteaux avec des teneurs en matières grasses différentes allant de 7 à 25 %. Par ailleurs, le rendement d'extraction est lié à la vitesse de rotation de la vis et au diamètre de la buse de sortie : plus la vitesse de rotation est faible et le diamètre de la buse réduit, plus le rendement d'extraction est élevé. Toutefois dans ce cas, le rendement horaire décroît.

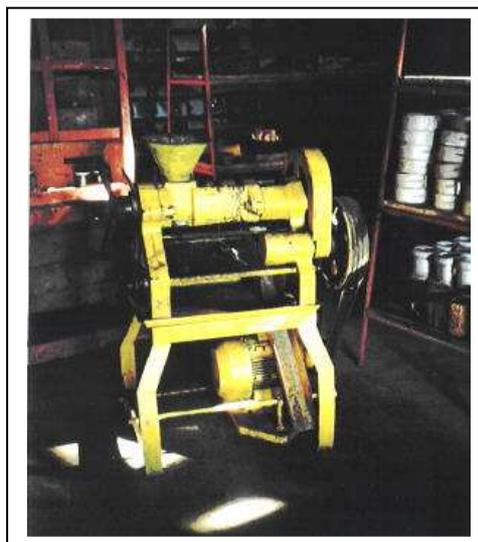
Le pressage industriel utilise le même type de matériels mais à plus grande échelle. L'industrie ajoute généralement une étape de raffinage des huiles. C'est une succession de traitements tels que : la désodorisation, la décoloration, la neutralisation, etc...



**Presse 20 litres/h : noix de coco, Tournesol...**  
**Polynésie française, 1984**  
**Photo CIRAD**



**Presse de petite capacité**  
**Noix de Coco, Tournesol : 10 litres/h : Fiji 2002**  
**Photo CIRAD**



**Presse 40 litres/h pour des cultures variées :**  
**Tournesol ; Cuba nov 2002**  
**Photo CIRAD**

## **2.4. Traitements et qualité.**

Les exigences de « qualité carburant » sont différentes de celle des huiles alimentaires. Elles dépendent également du type d'oléagineux traité : coprah et palme ne contiennent pas de cires comme le tournesol, lequel contient peu de gommes comparé au colza. Par ailleurs, elles sont liées au procédés d'extraction utilisé : les huiles brutes industrielles sont chargées de phosphore et de cires ce qui ne sera pas le cas des huiles artisanales. D'autre part, la qualité dépend de la manière dont on extrait l'huile mais aussi de la qualité de la graine ou du fruit récolté ainsi que de son stockage avant pressage.

Pour favoriser une certaine qualité de l'huile végétale carburant, il est nécessaire de ne pas laisser trop de temps entre la préparation et l'extraction.

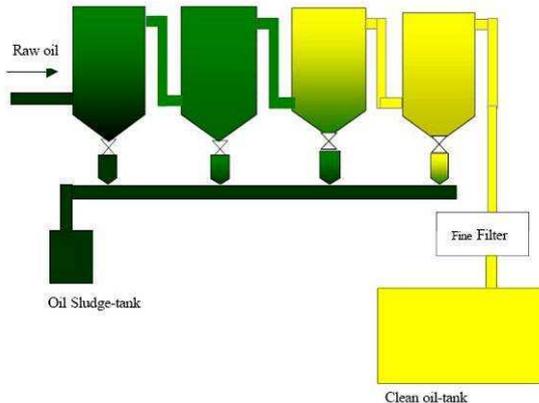
Par ailleurs, il faut privilégier une pression à basse température. Un cisaillement trop important des graines produit une élévation de température de l'huile. Ce point est important, car une température élevée favorise la libération dans l'huile des phospholipides contenus dans les parois cellulaires des graines. **Ces derniers sont des facteurs d'encrassement lors d'une utilisation dans des moteurs ou des brûleurs. Précisons que l'apparition de phospholipides en quantités indésirables est surtout liée au pressage du colza. Ce n'est généralement pas le cas pour les graines de tournesol qui, en revanche, génèrent des cires tout aussi indésirables.** Il n'y a pas de cires non plus dans les huiles de palme ou de babassu et leur contenu en phospholipides est généralement faible.

Pour améliorer la qualité des huiles végétales, on procède à une série de traitement. Pour les huiles naturelles carburant, les traitements sont simples mais les huiles doivent respecter les exigences citées ci-dessous :

- Elles doivent contenir peu de matières insolubles. Moins de 500 ppm après une filtration à 10 microns.
- Elles ne doivent pas contenir plus de 50 ppm de phosphore (révélateur des phospholipides. On mesure leur taux par le dosage du phosphore).
- Elles ne doivent pas contenir plus de 500 ppm de cires.

Pour répondre à ces différents critères et à la normalisation des huiles végétales carburant, on effectue une décantation puis une filtration afin d'éliminer les impuretés et de diminuer la teneur en phospholipides et en cire.

## 2.5. Décantation et filtration.



Le procédé de décantation est simple. Il consiste à mettre en série des cuves et à introduire l'huile d'après pressage. Les matières les plus lourdes sont entraînées au fond des cuves. Le trop plein passe dans la cuve suivante et ainsi de suite jusqu'à clarifier suffisamment l'huile.

La figure ci-joint, nous montre un des procédés de décantation. Il a la particularité d'avoir des vannes afin d'éliminer les matières en fond de cuve. Les simples cuves en cascade sont efficaces mais elles ont l'inconvénient de devoir être nettoyées régulièrement.

**Pour utiliser l'huile dans un moteur ou comme combustible en chaudière, il est nécessaire de nettoyer l'huile par filtration.** Celle-ci s'effectue soit directement en sortie de presse, soit après des phases de décantation. Il est préférable de l'effectuer après décantation afin de minimiser le temps de filtration et les problèmes rencontrés lors de la filtration d'une huile chargée en impuretés (obstruction des filtres, usure du matériel de filtration,...).

Dans le cas d'utilisation en chaudière une filtration à 10  $\mu\text{m}$  est généralement suffisante. Mais pour éviter l'encrassement des filtres à gazole des moteurs, il faut une filtration minimum de l'huile de 5  $\mu\text{m}$ , mais on peut affiner jusqu'à une porosité de 1  $\mu\text{m}$ . Plus on utilisera un filtre de fine porosité plus on optimisera la qualité de l'huile ; mais on aura un temps de filtration beaucoup plus long.

Il existe plusieurs systèmes de filtration :

- à cartouche. Les cartouches, qui doivent être changées tous les 6 000 à 8 000 litres, éliminent les particules supérieures à 1  $\mu\text{m}$ . Ces filtres sont interdits pour les usages alimentaires en raison des composés utilisés pour leur fonctionnement mais sont utilisables pour de l'huile carburant.

- à plaque. Des cadres de filtration en coton ou en polypropylène retiennent les impuretés. L'huile est « recirculée » à travers le « gâteau » formé par les impuretés jusqu'à ce qu'on atteigne le degré de filtration souhaité (filtration par accumulation).

Une autre technique consiste à faire passer l'huile sous pression entre les cadres (filtration tangentielle). L'huile ne fait alors qu'un seul passage.

- à membrane. Des poches existent en différentes matières et plus plusieurs grades de filtration (100 à 1  $\mu\text{m}$ ). La plupart sont lavables et peuvent

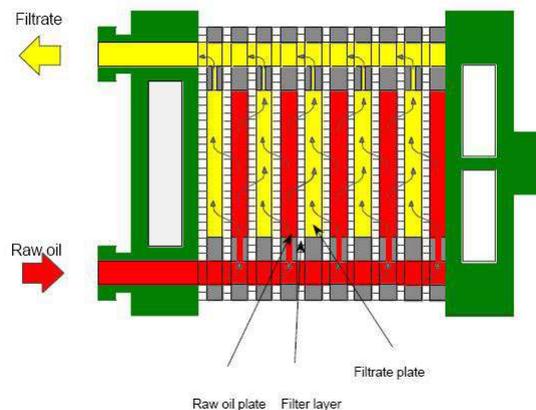
être utilisées 3 à 4 fois. Ces poches sont adaptées aux petites productions (<1000 litres/jour) telles que celles des circuits courts.

Pour obtenir une huile carburant filtrée à  $1\mu\text{m}$ , il est préférable de procéder à deux filtrations successives. La première filtration permet d'éliminer toutes les particules de tailles supérieures à la porosité du filtre choisi (par exemple  $50\mu\text{m}$ ) tout en gardant un débit suffisant.

Ensuite, on effectue une seconde filtration avec le filtre de faible porosité ( $1\mu\text{m}$ ) pour éliminer toutes les particules d'une taille supérieure à  $1\mu\text{m}$ .

L'emploi d'une seule filtration entraîne des colmatages du filtre dont la fréquence est fonction du taux d'impuretés de l'huile à traiter. L'intérêt d'une bonne étape de décantation apparaît ici, même si cette dernière mobilise volumes et espaces dans les ateliers de production.

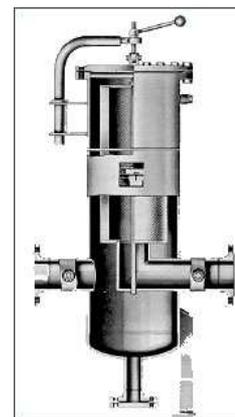
Operation Diagram Plate Filter



**Exemple de filtre à plaque**  
Photo CIRAD



**Exemple de Filtre presse**  
[www.presse-filtre-huile.com](http://www.presse-filtre-huile.com)



**Filtre automatique**  
[www.solutions-filtration.com](http://www.solutions-filtration.com)

## **2.6. Stockage et distribution**

Afin de minimiser la pollution d'une huile végétale, il est préférable de stocker les graines plutôt que l'huile. Car le stockage de l'huile reste un poste exigeant de qualité et de propreté (citernes propres et réservées à l'huile végétale). La distribution de la citerne aux réservoirs des engins doit également respecter la propreté de l'huile.

Pour favoriser une bonne conservation de l'huile, des précautions de stockage devront être appliquées telles que:

- l'utilisation d'un matériel adapté : cuves insensibles à l'acidité en raison de la présence d'acide gras libre. Les cuves en métal sont à éviter car le cuivre et le fer favorise l'oxydation de l'huile. Sans être en inox, elles peuvent être en polyester par exemple (on évitera les PVC). Elles doivent être hermétiques pour protéger l'huile de la poussière et de l'oxygène de l'air,
- la conservation des cuves à une température constante pour éviter l'oxydation de l'huile, elles doivent être abritées de la lumière et de l'humidité,
- Le nettoyage régulier des cuves.



[www.lyonne.com](http://www.lyonne.com)

Au cours de la distribution, il faut éviter de pomper au fond des cuves. Cette précaution est à prendre en considération car une décantation se poursuit lors du stockage donnant ainsi des fonds de cuve de moins bonne qualité. Cette remarque est valable pour tous les carburants.

## **2.7. Conclusions**

Produire de l'huile naturelle carburant peut s'envisager en utilisant les outils artisanaux ou industriels existants pour la filière alimentaire. Mais si les exigences de qualité sont moins grandes et moins coûteuses qu'en production alimentaire elles demeurent néanmoins obligatoires. Elles concernent essentiellement la filtration et le stockage. Néanmoins, le respect des teneurs en sédiments est parfois plus contraignant pour les huiles carburant que pour les huiles alimentaires en particulier dans les pays tropicaux.

## TROISIEME PARTIE : UTILISATION DE L'HUILE VEGETALE EN TANT QUE CARBURANT

### 3. Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels.

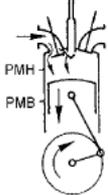
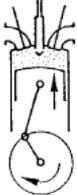
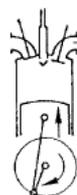
#### 3.1. Introduction : fonctionnement des moteurs Diesel.

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.

#### Cycle Diesel à Quatre temps

Les moteurs diesels fonctionnent selon le principe du cycle à quatre temps qui comprend les phases suivantes : admission, compression, inflammation-détente et échappement.

Course du piston	Phases	Opérations	Schéma
Premier temps du P.M.H. au P.M.B.	Admission	Remplissage des cylindres avec de l'air à pression atmosphérique ou précomprimé.	
Deuxième temps du P.M.B. au P.M.H.	Compression	l'air est fortement comprimé et porté à une température supérieure à celle d'auto-inflammation du carburant (+ de 400 °C). Le rapport volumétrique est très élevé (15/1 à 22/1).	
Troisième temps du P.M.H. au P.M.B.	Inflammation - détente	le carburant est injecté sous pression (100 à 200 bars) en fin de compression. Il s'enflamme spontanément au contact de l'air échauffé. La combustion dure tant que dure l'injection	
Quatrième temps du P.M.B. au P.M.H.	Echappement	évacuation des gaz brûlés	

Chaque cycle correspond à deux tours de vilebrequin. On exprime généralement le temps au cours d'un cycle en degrés angulaires de rotation du vilebrequin ( $^{\circ}V$ ). Ainsi, au régime de 3000 tr/mn par exemple, 1  $^{\circ}V$  représente 0.056 ms ; un cycle, soit 2 tours de moteur, s'effectue en 40 ms.

Délai d'inflammation : le carburant injecté doit s'auto enflammer sous l'effet de l'élévation de température résultant de la forte compression de l'air. En fait, il s'écoule un certain temps entre le début de l'injection et le début de la combustion. Cet intervalle de temps s'appelle le délai d'inflammation.

### 3.2. 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** (voir figures suivantes).

\* **les moteurs à injection directe**. Ils équipent les tracteurs agricoles et routiers, et grand nombre de moteurs industriels de toute puissance : de 0,5kW jusqu'au mégawatt. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les huiles végétales naturelles. Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées ils connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement. Ces problèmes sont la formation de dépôts charbonneux à l'intérieur du moteur (voir photos suivantes) et une forte *dispersion cyclique*<sup>6</sup> pouvant conduire à des dégâts mécaniques parfois importants.



*Piston injection directe au fioul. Photo CIRAD*



*Piston injection directe : 21 heures huile végétale Photo CIRAD*

L'utilisation de mélanges significatifs d'huile végétale et de fioul (contenant plus de 10 % d'huile) ne résout pas les problèmes. L'encrassement existera toujours, seul le temps de formation est fonction du taux d'huile végétale.

\* **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 « divisée ».

<sup>6</sup> Certains cycles connaissent des « ratées » d'allumage. Jusqu'à 1 cycle tous les 50, c'est inaudible sur un moteur 4 cylindres

Ils équipent les véhicules automobiles, certains très gros moteurs industriels (supérieur au Mégawatt), l'ensemble des engins devant polluer le moins possible leur environnement. Enfin, une gamme encore bien fournie de petits moteurs industriels.

Ces derniers tolèrent les huiles végétales brutes (mais filtrées efficacement). Un fonctionnement correct est même à signaler avec les moteurs à chambre de turbulence (répandue en automobiles Diesel).

Mais les tendances des 20 dernières années les ont rendus minoritaires face aux injections directes moins "gourmands" en carburant.

### **L'huile végétale naturelle dans des tracteurs non modifiés : réalité ou mythe ?**

Les huiles végétales brutes ou raffinées ne sont pas utilisables en l'état dans des moteurs diesels à injection directe. Ces derniers équipent les tracteurs agricoles depuis plus de 25 ans, or on entend dire que nombre d'utilisateurs emploient depuis longtemps, dans la plus grande discrétion, des huiles de colza ou de tournesol dans leurs propres tracteurs n'ayant subi aucune modification. Qu'en est-il de ces informations ?

Faute de pouvoir accéder à des témoignages vérifiables, rappelons les raisons qui obligent à modifier les moteurs à injection directe.

Lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, ces moteurs présentent des températures moyennes de chambre inférieures à 200°C. Or, l'huile de tournesol possède une température de point éclair largement supérieure à celle du fioul : 316°C pour l'huile contre 96°C pour le fioul. 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 » semblables à ceux bien connus des friteuses de cuisine. 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 et/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). Si alors la dilution d'huile végétale dans le lubrifiant dépasse 3% il peut y avoir une rapide polymérisation de l'huile de graissage provoquant le grippage total du moteur.

Dans les moteurs diesels à injection indirecte de type « chambre de turbulence », la température moyenne de la *pré-chambre*\* est d'environ 500 à 600°C dès 10 % de puissance délivrée. Les huiles végétales brûlent complètement.

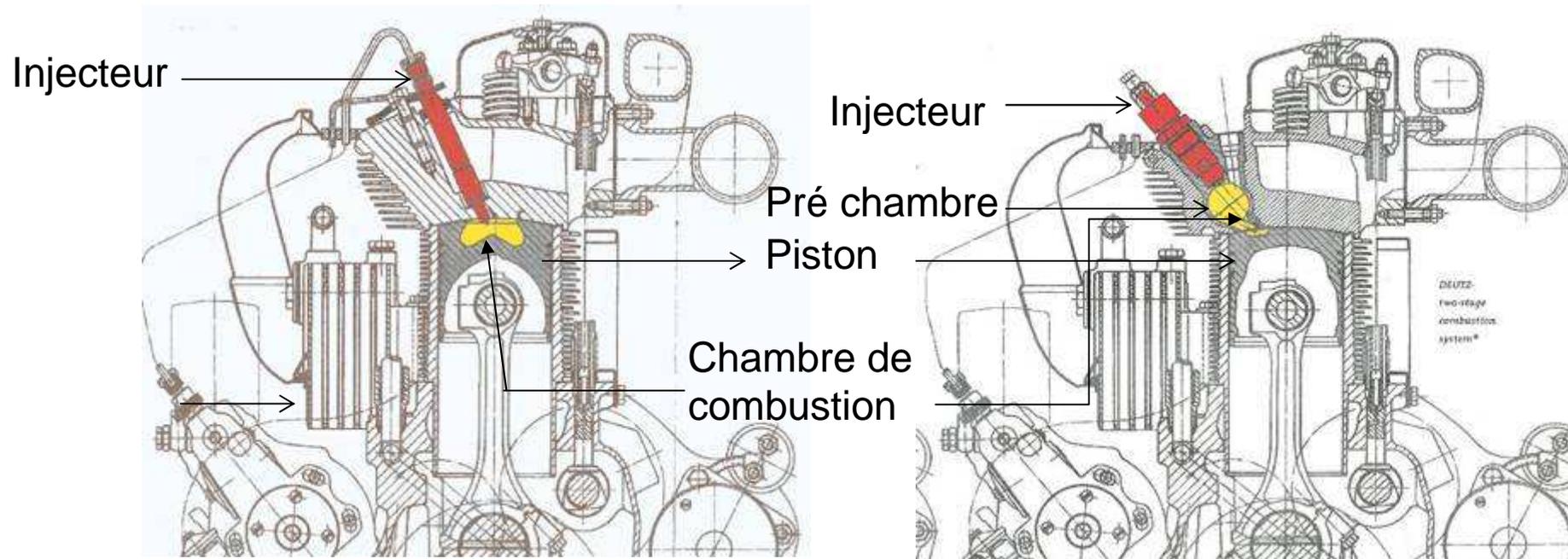
Enfin, et c'est ce dernier point qui peut faire douter de la véracité des témoignages, les pompe à injection rotatives (Lucas CAV rotodiesel et Stanadyne) qui équipent un très grand nombre de tracteurs agricoles, cassent par temps froid quand le pourcentage d'huile dépasse 35%. Voilà qui aurait dû engendrer une toute autre réputation à l'huile naturelle avant de décourager les plus fanatiques compte tenu des coûts élevés des pompes à injection en pièce détachée.

\*: ici il s'agit de chambre « divisée ».

(Schéma G. Vaitilingom ; sources Deutz)

Moteur à injection direct (DI)

Moteur à injection indirect (IDI)



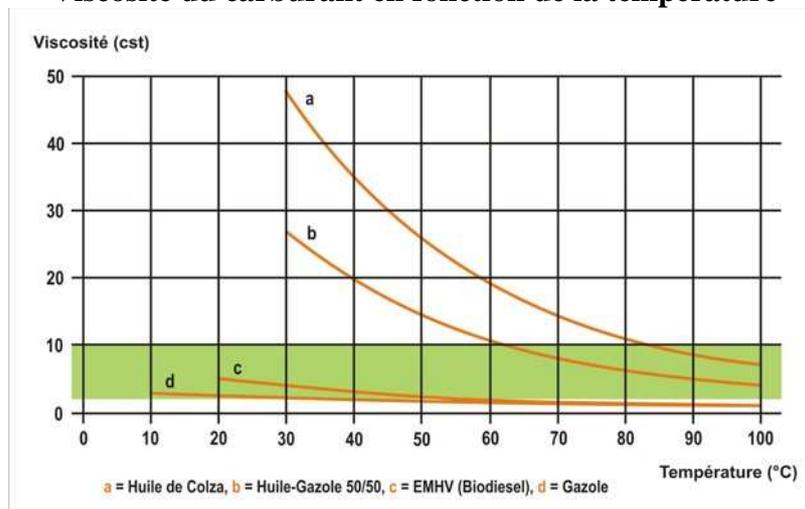
### 3.3. Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant

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 ».

Viscosité du carburant en fonction de la température

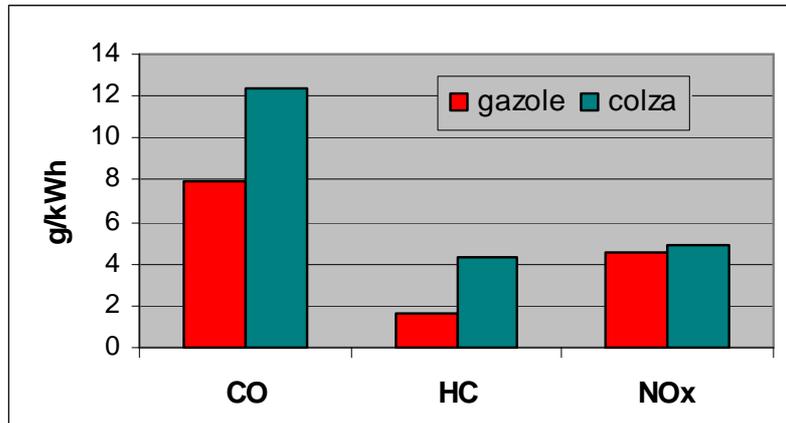


[www.huilecarburant.free.fr](http://www.huilecarburant.free.fr)

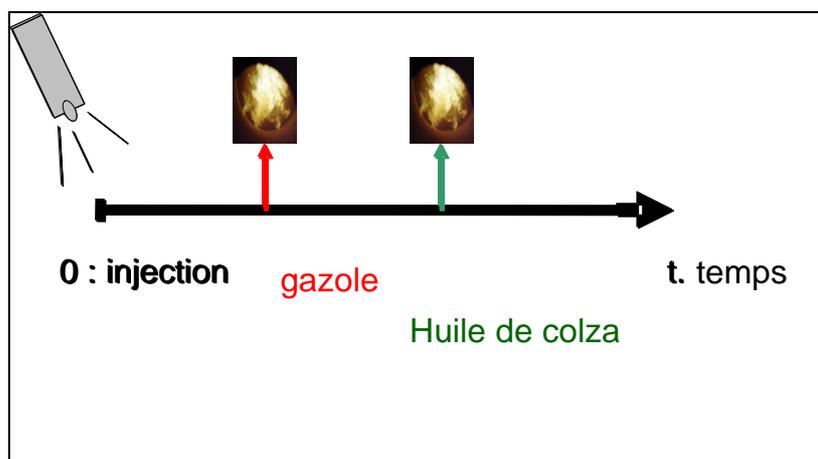
L'ajout d'un réchauffeur et d'une pompe dans le circuit d'alimentation permettra d'éliminer le problème des viscosités des huiles végétales.

## ☞ Influences de la composition chimiques des huiles

Pour des températures de chambre inférieures à 500°C



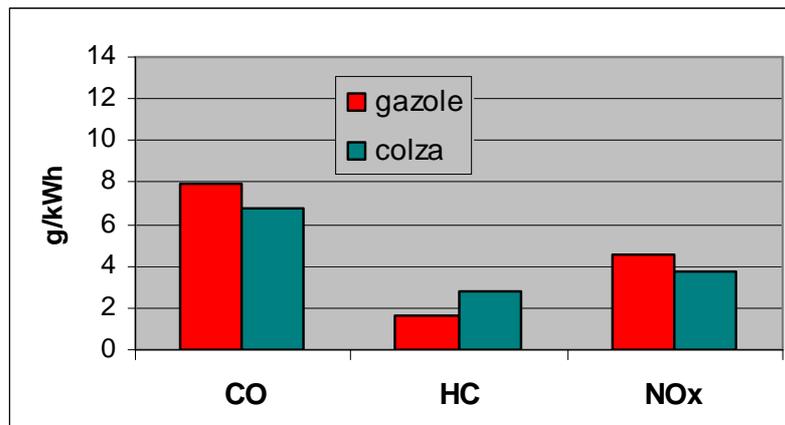
Gaz rejeté avec une température inférieure à 500°C.  
Schéma CIRAD



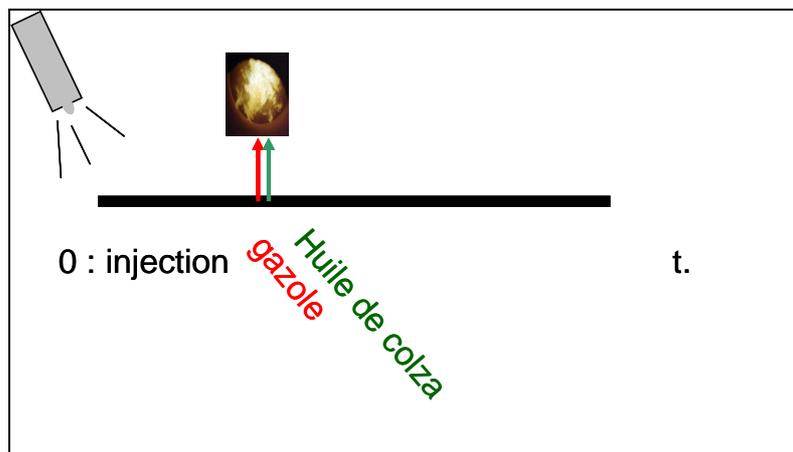
Délai d'inflammation en fonction du carburant.  
Schéma CIRAD

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 (voir figures suivantes). 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.

### Pour des températures de chambre supérieures à 500°C



*Gaz rejeté avec une température supérieure à 500°C.  
Schéma CIRAD*



*Délai d'inflammation en fonction du carburant.  
Schéma CIRAD*

Pour des températures de chambre supérieures à 500°C, il est constaté une nette 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.

☞ **En conclusion :**

- 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 (voir paragraphes suivants) :
  - par modifications mécaniques des pistons et de pièces internes au moteur,
  - sans modifications mécaniques en utilisant un fonctionnement en bicarburant.

### **3.4. Modifications des chambres de combustion des moteurs à injection directe:**

Si l'on ne veut pas modifier le carburant (estérification par exemple), 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.

Ce type de modifications, développées au CIRAD depuis 1990, permet toujours l'usage du fioul (et donc de tout mélange d'huile et de fioul) sans pertes de puissance et sans interventions mécaniques supplémentaires. 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.

#### **Description des modifications des pistons :**

Ils sont modifiés pour recevoir une chambre de forme spéciale en acier réfractaire.

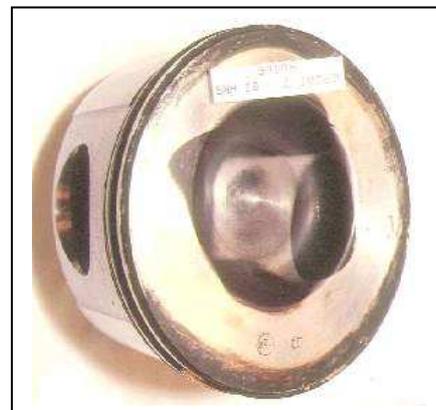


**Conception CAO des modifications.**  
Photo CIRAD



**Exemple de réalisation.**  
Photo CIRAD

On constate qu'après 500 heures de fonctionnement à l'huile de colza, le piston est intact. L'huile a la qualité d'être lubrifiante, cette caractéristique permet d'allonger la longévité des pièces du moteur.



**Piston modifié après 500 heures à huile de colza**  
Photo CIRAD

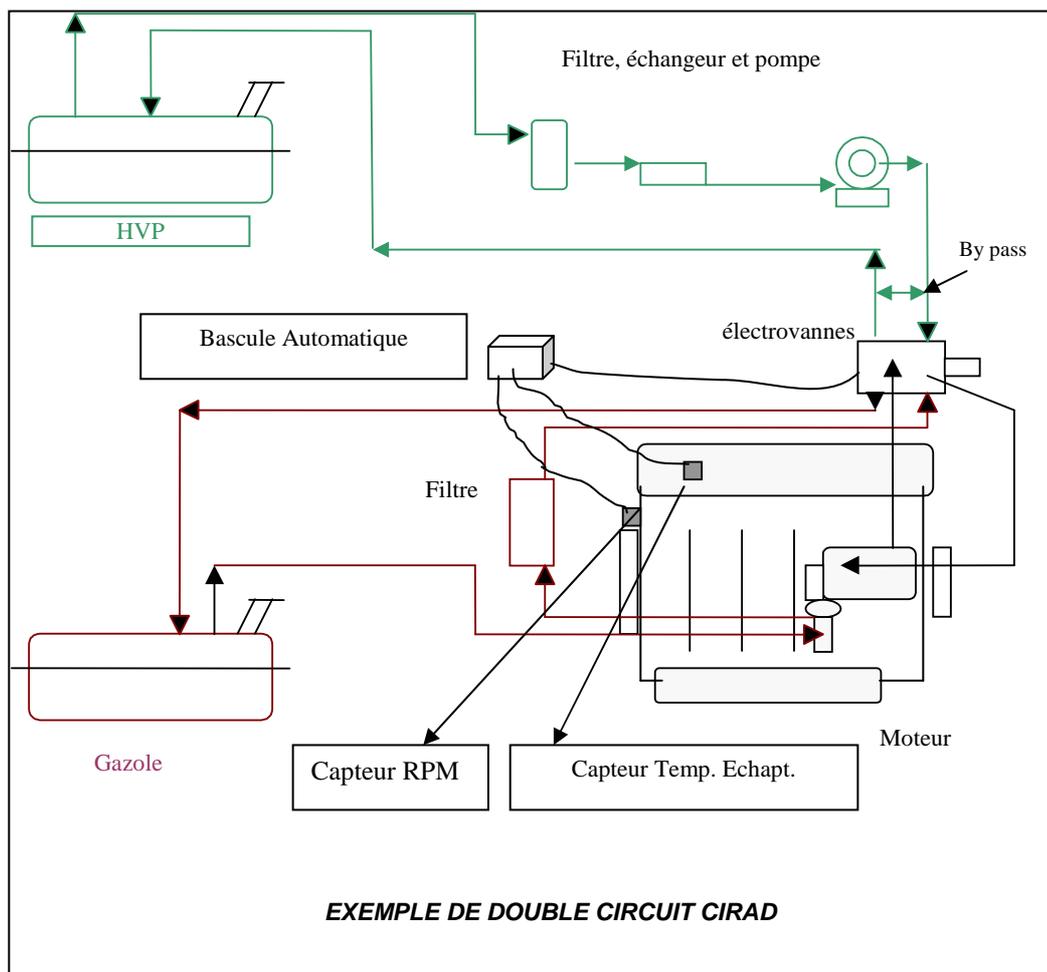
### 3.5. Adaptation type « bicarburation » sur les moteurs à injection directe:

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 et appliqué par le CIRAD 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'HVP.

- **Schéma des modifications du circuit d'alimentation :**



- **Contrôle des conditions de bascule gazole/huile végétale**

Le principe de la bicarburation est simple : tant que les chambres de combustion n'ont pas les niveaux de température suffisants pour une bonne combustion de l'huile végétale, le moteur reste alimenté en gazole.

Dès que la température des chambres est suffisante le système de bascule pilote l'électrovanne qui alimente alors le moteur grâce au circuit huile végétale.

Le pilotage du système de bascule peut s'effectuer en contrôlant ces deux paramètres:

- la température d'échappement,
- la vitesse de rotation du moteur

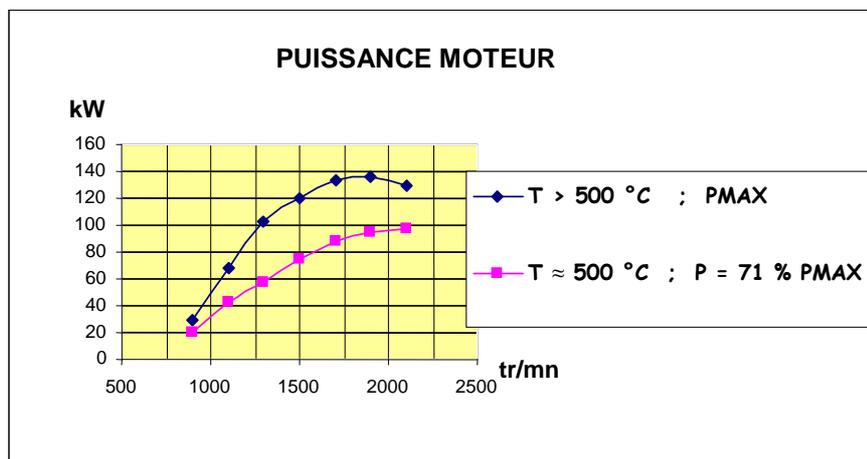
☞ **La température de l'échappement**

La température des gaz d'échappement est proportionnelle à la température moyenne des chambres de combustion. On peut la mesurer en plaçant une sonde au niveau de la sortie des chapelles d'échappement dans le flux gazeux.

☞ **La vitesse de rotation du moteur**

On peut la mesurer grâce à des capteurs de rotation qui seront connectés au système de bascule automatique. Il est à noter que pour des applications à vitesse constante (groupes électrogènes, certains groupes de pompage,...) ce capteur est inutile. La valeur de la vitesse est directement programmée comme constante dans le système de bascule.

- **Importance de la charge<sup>7</sup> du moteur sur la bascule gazole/huile végétale.**



Enveloppe de pleine charge et courbe à charge partielle sur un moteur à injection directe. Graphique CIRAD

Le graphique ci-dessus présente les courbes de puissances mesurées sur un moteur diesel à injection directe.

- La courbe supérieure relie les points de puissance maximale pour différentes vitesses de rotation du moteur, elle est appelée « courbe enveloppe à pleine charge ».

<sup>7</sup> Pourcentage de la puissance d'un moteur pour une vitesse de rotation donnée.

- La courbe inférieure relie les points de puissances intermédiaires pour différentes vitesses de rotation, elle est appelée « courbe de puissances à charge partielle ». Il est possible de tracer de nombreuses « courbes à charges partielles » qui s'intercaleront entre puissance « nulle » et « l'enveloppe à pleine charge ». Mais celle-ci est particulière : elle relie des points de puissance à différentes vitesses où la température d'échappement en sortie de culasse est d'environ 500°C. Pour chaque vitesse de rotation, tout point en dessous de cette courbe affichera une température d'échappement inférieure à 500°C car la quantité de carburant brûlée sera insuffisante pour l'atteindre.
- Par contre, tout point compris entre les deux courbes correspondra à des températures supérieures à 500°C où il sera donc possible d'injecter de l'huile végétale sans souci de combustion.

Dans l'exemple ci-dessus la puissance à 1800 tours par minutes représente 71 % de la puissance maximale à cette même vitesse de rotation, ou autrement dit : à 71 % de charge. Ce qui signifie que le moteur ne fonctionnera à l'huile végétale que lorsque la puissance demandée au moteur dépassera 71 % du maximal de puissance à cette vitesse de rotation (à 1500 tr/mn, c'est à 65 % de la puissance maximale que le passage à l'huile s'effectuera).

### **3.6. Conclusion**

L'utilisation des huiles végétales carburants nécessite parfois des modifications importantes sur les moteurs et les circuits d'alimentation.

La modification des moteurs à injection directe rend possible l'utilisation d'huiles végétales pure en substitution des fiouls. Il est aussi possible d'adapter des systèmes de bicarburation permettant l'utilisation d'une part significative d'huile végétale sans avoir à modifier les parties internes des moteurs. Il faut rappeler que le bon fonctionnement du moteur dépend également de la qualité du carburant.



*Tracteurs avec moteur à injection direct modifié. Huile de tournesol, France, 2001*  
Photo CIRAD



*Tracteur Deutz à injection indirecte. Huile de colza, France, 1998 Photo CIRAD*

#### 4. Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés

La quasi-totalité des tracteurs agricoles et des moteurs à poste fixe sont à injection directe. Il conviendra donc de les modifier pour qu'ils puissent utiliser de l'huile végétale naturelle comme biocarburant en circuit court d'autoconsommation.

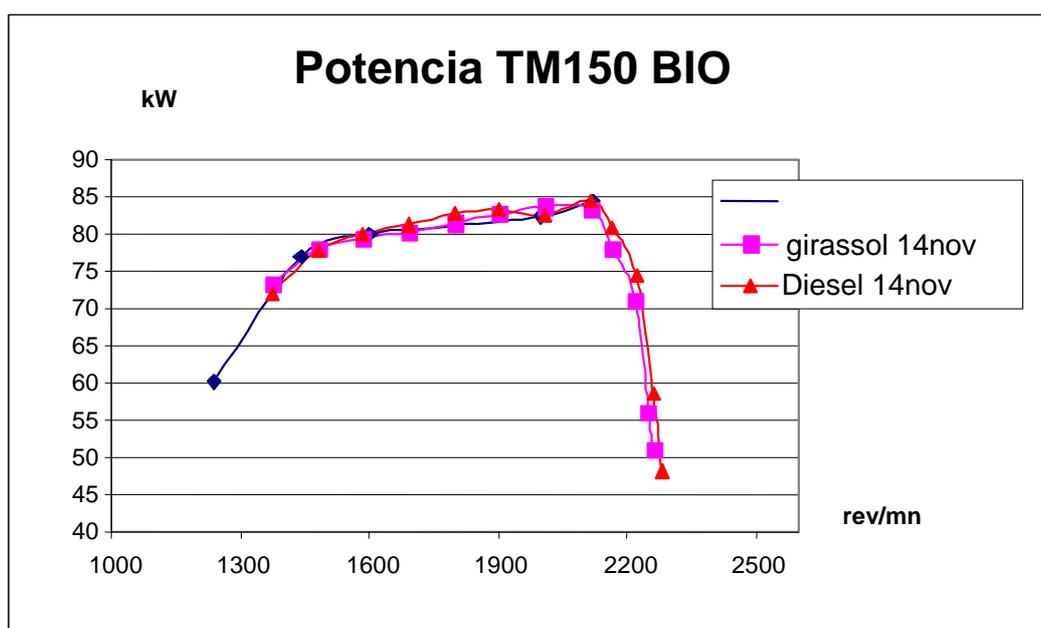
L'impact de ces modifications sur les performances et la pollution des gaz d'échappement pourra être vérifié au Brésil, mais il devrait être très semblable aux résultats ci-dessous obtenus avec de l'huile de tournesol, issue d'un circuit court d'autoconsommation, et deux tracteurs New Holland et John Deere modifiés et équipés (voir chapitre 3.4).

Par ailleurs, la longévité des moteurs est augmentée quand ils utilisent de l'huile végétale comme carburant et l'entretien est le même qu'au fioul. Ceci a été vérifié par plusieurs cotations effectuées selon la procédure CEC M-02-A-78 à la demande du Cirad.

##### 4.1. Performances comparées.

Les puissances obtenues sont très proches. A puissance égale on observe une augmentation de la consommation horaire de 5 % en volume. Ceci est directement dû au plus faible pouvoir calorifique de l'huile de tournesol. Les rendements des moteurs sont améliorés avec le tournesol.

*Puissance comparée entre fioul et huile de tournesol Tracteur New Holland TM150.*



#### **4.2. Pollution comparée**

Deux tracteurs modifiés et deux tracteurs non-modifiés sont comparés. Les résultats des deux tracteurs modifiés montrent une très bonne comparaison avec le fioul sur les produits toxiques CO, HC et NOx. Les tracteurs respectent les limites de polluants imposées par les normes européennes d'homologation définies par les directives de l'ISO 8178 et les facteurs de pondération du cycle C1.

Par ailleurs, le CO<sub>2</sub> rejeté par les deux tracteurs au tournesol ne participe pas à l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère car celui-ci sera remobilisé par la croissance de la plante lors du cycle cultural suivant.

#### **Emissions au couple maximal au régime correspondant**

##### **Résultats pour le tracteur New Holland TM 150**

<i>Tracteur N°</i>	<b>TM150 orig. fioul</b>	<b>TM150 BIO tournesol</b>
<i>N tr/mn</i>	1350	1456
<i>Puissance. kW</i>	81.4	75.4
<i>Puissance ch</i>	110.6	102.4
<i>Consommation en carburant l/h</i>	23.4	24.0
<i>Température air admis °C</i>	21	22
<i>Température échappement °C</i>	383	435
<i>CO ppm</i>	1218	960
<i>CO2 %</i>	8.6	8.0
<i>HC ppm</i>	53	82
<i>O2 %</i>	9.1	10.0
<i>NOx ppm</i>	1530	1450
<i>Excès air</i>	0.79	0.93

## Emissions au couple maximal au régime correspondant

### Résultats pour le tracteur John Deere 7710

<i>Tracteur N°</i>	<b>JD 7710 orig. fioul</b>	<b>JD 7710 BIO tournesol</b>
<i>N tr/mn</i>	1304	1302
<i>Puissance. kW</i>	110.2	102.2
<i>Puissance ch</i>	149.7	138.9
<i>Consommation en carburant l/h</i>	27.8	25.9
<i>Température air admis °C</i>	20	22
<i>Température échappement °C</i>	608	609
<i>CO ppm</i>	2143	692
<i>CO2 %</i>	10.1	9.7
<i>HC ppm</i>	53	59
<i>O2 %</i>	7.3	7.8
<i>NOx ppm</i>	1246	1324
<i>Excès air</i>	0.54	0.59

### 4.3. Conclusions

- Les huiles végétales naturelles sont utilisables dans les moteurs diesels à injection indirecte sans modifications de ces derniers.
- Par contre les moteurs diesels à injection directe doivent être modifiés pour pouvoir utiliser les huiles végétales naturelles (palme, coco, colza, tournesol,...). Cependant ces modifications n'empêchent pas l'usage du fioul. Les réservoirs des engins peuvent donc accepter de l'huile végétale, du fioul et tout mélange de ceux-ci.
- Les performances sont identiques et la pollution à l'échappement est en faveur des huiles végétales.
- Enfin la longévité des moteurs est accrue quand ils utilisent les huiles végétales naturelles.

## 5 Utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs.

### 5.1. Utilisation des HVP dans les brûleurs en résumé :

Les caractéristiques énergétiques des huiles végétales sont suffisamment proches de celles du fioul pour que l'on puisse s'attendre à une substitution aisée dans un brûleur.

	Gazole	Huile de coton	Huile de coprah
Densité (kg/dm <sup>3</sup> ) 20°	0.836	0.921	0.915
Pouvoir Calorifique Inférieur (kJ/kg)	43800	36400	37950
Indice de Cétane	50	34	41
Composition chimique (% masse)			
C	85.1	76.7	73.1
H	14.9	11.8	12.0
O	-	11.4	14.8
Formule globale	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	C <sub>17.94</sub> H <sub>33.18</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>13.17</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>

*Caractéristiques physico-chimiques utiles à la prédiction des performances globales*

Le problème de la nature physico-chimique différente des HVP vis à vis du fioul se retrouve pour les applications brûleurs : mauvaise combustion avec les réglages fioul et encrassement des parties "froides" des chaudières. Il est donc nécessaire de les adapter et/ou de les modifier.

Les brûleurs pour fioul "lourd" se prêtent mieux à l'usage des HVP (après quelques réglages et adaptations quand même). Mais on ne les trouve généralement que dans des puissances allant de 300 kW à 1000 kW.

Des études et des mises en œuvre en conditions réelles de brûleurs de moyenne puissance (de 150 à 400 kW) modifiés pour les HVP ont eu lieu avec Cirad il y a dix ans. Les résultats très positifs ont montré qu'il est possible de les utiliser jusqu'à 100 % d'HVP. Aujourd'hui, quelques constructeurs commencent à s'engager sur ce créneau de puissance.

En matière de petits brûleurs (< 50 kW), les offres sont nombreuses mais pas toujours fiables. Seuls quelques modèles ont faits leur preuve mais dans des puissances de 50 kW et plus. Dans la gamme 20 à 30 kW, ce qui correspond aux installations domestiques individuelles, il y a très peu d'offres sérieuses.

## 5.2. Principe de fonctionnement des brûleurs modernes :

Un jet pulvérisé de carburant est assuré grâce à une pompe volumétrique mécanique, il est accompagné d'un flux d'air de combustion contrôlé respectant la quantité d'air nécessaire à la combustion complète de la quantité de carburant augmenté d'un excès d'air prédéterminé (3 à 5 % d'oxygène supplémentaire).

	Gazole ou FOD	Huile de coton	Huile de coprah
Pco pouvoir comburivore g.air/g.carb.	14.84	12.35	11.86

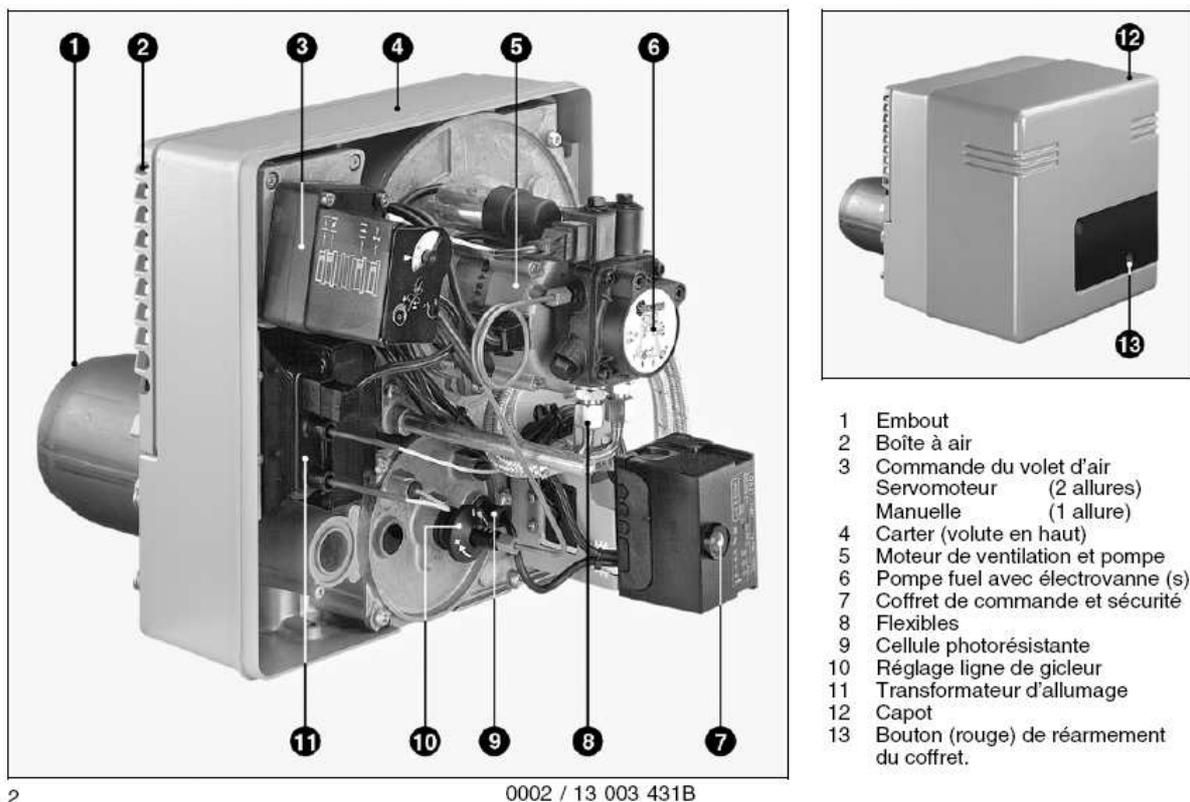
Pouvoirs comburivores comparés (sans excès d'air).

Le jet est assuré par un gicleur choisi pour son débit à une pression déterminée et en fonction de la géométrie de la chambre de combustion.

Généralement, un moteur électrique entraîne la pompe de pression et le ventilateur d'air de combustion.

Un système de contrôle/commande assure le fonctionnement et les mises en sécurité du brûleur.

La plupart des brûleurs, en particulier les petits brûleurs domestiques, utilisent les mêmes organes (pompes, ventilateurs, boîtiers de contrôle) provenant de quelques équipementiers.



Document Cuenod

### **5.3. Adaptations des brûleurs pour utiliser des HVP :**

La viscosité des huiles végétales a une forte influence sur les équipements des brûleurs. Ceci a pour conséquence la nécessité de régler spécialement ces derniers voire de changer certains éléments tels que les gicleurs. Mais, quelle que soit la taille du brûleur, il reste à vérifier, une fois les exigences technologiques remplies, si la combustion des huiles végétales est complète et quelles sont les performances globales et la pollution émise, comparées au fonctionnement gasoil.

#### **Huile de Palme Brute et brûleurs : problèmes rencontrés et modifications à effectuer :**

- Si l'on ne réchauffe pas le mélange combustible, l'allumage ne se produit pas dès une incorporation de 25 à 30 % d'huile de palme.
- Les mélanges jusqu'à 50/50 sont utilisables s'ils sont réchauffés à au moins 80 °C et homogénéisés et si la pression de pulvérisation en sortie de pompe est remontée de 10-11 à 15-16 bars.
- Pour des mélanges de 50 à 75 % d'huile de palme il est nécessaire de réchauffer le combustible à au moins 100°C. La pression de pulvérisation en sortie de pompe doit être remontée à 18-20 bars.
- Pour des taux supérieurs à 75 % et jusqu'à 90 % d'huile, il est possible d'obtenir un fonctionnement correct avec une température de mélange de 120°C et une pression de pulvérisation de 20 bars.
- A 100 % d'huile, la température doit être de 140°C et la pression de pulvérisation en sortie de pompe de 25 à 30 bars, sinon il n'y a pas allumage de la flamme.

Il apparaît généralement qu'après la seule intervention en réglages (140 °C pour l'huile et 30 bars de pression), les premiers essais à 100 % montrent :

- un démarrage totalement fiabilisé,
- des teneurs en polluants des fumées bien en dessous des normes admises en Europe.

Avec cependant :

- un encrassement rapide du foyer,
- un « gouttage » de la tête de combustion.

Il faut alors :

- redéfinir un modèle de gicleur mieux adapté,
- re-concevoir le déflecteur d'air,
- redéfinir les réglages d'admission d'air.

#### Les problèmes d'encrassement :

Sur la plupart des modèles de brûleurs, le déflecteur d'air (partie froide car ventilée en permanence) s'encrasse. La conséquence est que le détecteur de flamme (cellule photoélectrique) fini par ne plus « voir » assez de lumière et arrête le fonctionnement du

brûleur par sécurité d'absence de flamme. Pour exemple, ces arrêts se produisaient tous les 4 à 5 jours avec un mélange 50/50 colza/fioul (voir photos suivantes).



*Déflecteur d'air après 4 jours à 50/50, tournesol/fioul (à droite : après nettoyage) photo Cirad*

Par ailleurs, si trop de gouttelettes échappent à la combustion on va les retrouver sous forme de produits partiellement polymérisés sur les parois les plus « froides » des échangeurs de chaleur (les tubes de fumées par exemple) ce qui va rapidement diminuer leur capacité de d'échange. On retrouve ici les problèmes rencontrés dans les chambres des moteurs diesels quand ils sont utilisés à des charges insuffisantes

#### **5.4. Performances et pollution comparées entre fioul et Huiles végétales**

Exemples de résultats obtenus :

Si tous les réglages et adaptations sont effectués on obtient de bons résultats sur les performances et les émissions aussi bien en petits brûleurs qu'en brûleurs de moyenne puissance.

**Exemple 1** : brûleur Riello N10 (34 à 100 kW), 100% coton (essais Cirad 2007)

TYPE DE COMBUSTIBLE	100% coton	Fioul
CO2 %	8.3	9.3
CO mg/kWh	13	1
O2 %	9.9	8.3
NO mg/kWh	125	113
NOx mg/kWh	130	118
SO2 ppm	0	74
TEMP. FUMÉES °C	705	662
TEMP. AMBIANTE °C	22	22

*Pression en sortie de pompe : 18 bars. Température du mélange : 40°C*

**Exemple 2** : brûleur Cuenod C22.2, application en chauffage collectif, 100 % huile de colza (essais Cirad/Iribiom 1996).

Les essais ont porté sur le brûleur C22.2 (160 à 240 kW) modifié par le Cirad et Iribiom. Des locaux de la mairie d'Orléans ont été chauffés pendant 3 mois uniquement à l'huile de colza..

TYPE DE COMBUSTIBLE	100 % COLZA	Fioul
CO2 %	11.2	10.7
CO mg/kWh	4.8	1.3
O2 %	6.2	6.4
NO mg/kWh	71	93
NOx mg/kWh	74	98
SO2 ppm	0	21
TEMP. FUMÉES °C	228	236
TEMP. AMBIANTE °C	23	19

**Pression en sortie de pompe :30 bars. Température de l'huile de colza : 140°C**

Rappel : les limites selon EN267 sont : CO < 110 mg/kWh ; NOx < 185 mg/kWh.

### 5.5. Aperçu des brûleurs HVP disponibles sur le marché :

- Riello : propose des modèles adaptés aux HVP et garanti de 34 à 1000 kW.  
<http://www.riello.fr>
- Raps Heizung (HPO) : propose un modèle de 40 à 90 kW  
<http://www.raps-heizung.de>
- Kroll : propose des modèles de 50 à 200 kW  
<http://www.kroll.de>



**Brûleur spécial huiles végétales Riello/Cirad ; 300 à 1100 kW  
Huile de palme brute, Cameroun, 2007. (photo Cirad)**

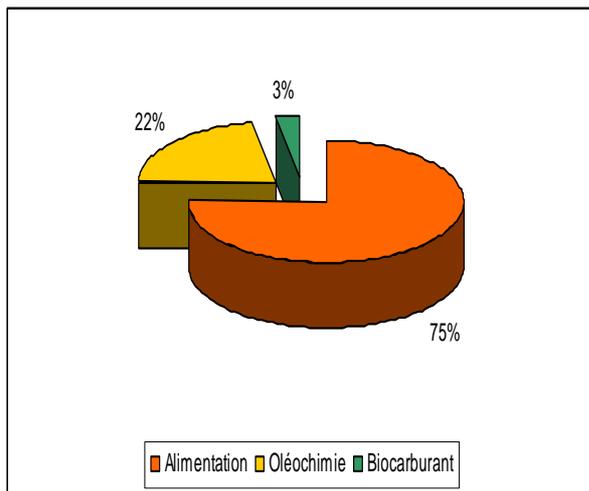


**Brûleur spécial Riello/Cirad ; 34 à 110 kW  
Huile de coton brute, 2007. (photo Cirad)**

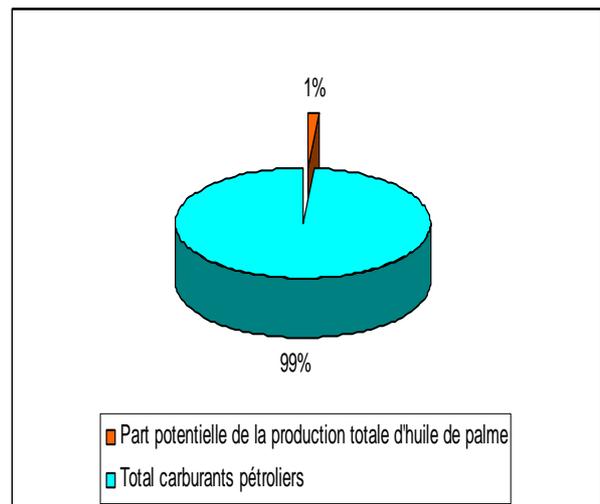
## 6. Conclusions et perspectives.

### Conclusions :

- 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. Leur champs d'application est actuellement essentiellement local ou régional car les quantités d'huiles produites ne représentent que quelques pour cents des quantités de carburants pétroliers consommés. L'huile de palme, par exemple, qui est la première huile mondiale, voit sa production croître de 8 % chaque année à des  **fins alimentaires** car de toute façon avec 38 millions de tonnes annuelles elle ne permettrait que 6 jours de transports par an (voir diagrammes suivants).



**Production annuelle mondiale  
d'huile de palme et de palmiste**  
37,6 millions de tonnes



**Consommation annuelle mondiale  
de pétrole pour les transports**  
2 482 millions de tonnes équivalent pétrole

En revanche, des groupe agroindustriels comme Sifca en Côte d'Ivoire ou Socapalm au Cameroun, ne détourneraient que 5 % de leur production d'huile de palme pour être totalement autonome en carburant.

La génération d'électricité comme le machinisme agricole ou les transports utilisent essentiellement des moteurs diesels. Ce qui limite l'usage de l'éthanol qui est un carburant pour moteur à essence. Les Huiles Végétales Pures, HVP, sont le carburant idéal pour de l'autoconsommation et des cycles courts d'utilisation.

Il faut néanmoins réaliser des adaptations ou des modifications des moteurs pour assurer un bon fonctionnement avec des HVP. Ceci étant fait, les puissances sont identiques avec des surconsommations de 5 à 8 % en volume, la longévité est au moins égale à celle observée avec les produits pétroliers.

La production est envisageable en micro unités comme en unités semi industrielles. Une fois produites, ces HVP doivent remplir un certain nombre d'exigences en terme de spécifications afin de garantir un minimum de qualité à l'utilisateur.

□ Plusieurs exemples peuvent illustrer l'intérêt des HVP en usage local : l'utilisation en agriculture pour une autonomie en combustible, la relance d'activités alliée à une indépendance énergétique dans un contexte insulaire.

➤ **L'utilisation d'huile de tournesol comme carburant des tracteurs agricoles** a été évoquée et illustrée dans les chapitres précédents. L'opération menée dans le sud-ouest de la France consistait à produire de la graine de tournesol, à en extraire l'huile ceci avec des engins et des équipements utilisant cette même huile comme seule source de carburant. Les bilans sur trois années sont les suivants :

**Par hectare de tournesol :**

- Quantité d'huile végétales produite en moyenne : 1000 litres
- Quantité d'huile végétales carburant utilisée pour le cycle cultural\* : 100 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour sécher les graines\*\* : 9 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour produire l'huile\*\*\* : 26 litres

**Le bilan moyen exprime la possibilité de produire 866 litres d'huile de tournesol alimentaire par hectare en toute autonomie en carburant.**

- \* : tracteurs modifiés et alimentés avec l'huile de tournesol,
- \*\* : séchoir équipé d'un brûleur modifié et alimenté avec l'huile de tournesol,
- \*\*\* : presse et chauffoir électrique alimentés grâce à un groupe électrogène utilisant l'huile de tournesol produite.



*Tracteur 150 Hp. modifié, Flamme de combustion dans le séchoir, groupe 9 KVA alimentant la presse à huile : tous utilisant l'huile de tournesol comme seul carburant. (photos*

➤ **L'exemple d'Ouvéa, Iles Loyauté, Nouvelle Calédonie.**

Ouvéa est une Ile de 3500 habitants.

En général, les petites îles ne possèdent pas le marché intérieur suffisant pour initier une production locale qui puisse bénéficier d'une économie d'échelle.

Sur l'île d'Ouvéa, l'activité traditionnelle de production de coprah a été abandonnée à la fin des années quatre vingt. Elle a repris grâce à l'installation d'une huilerie

Coopérative en fin 1991. L'huile produite sert à la fabrication de savons mais aussi à :

- un groupe électrogène de 80 KVA, fonctionnant à l'huile de coprah, qui alimente l'huilerie en électricité. Sa consommation horaire est de 15 litres quand l'huilerie produit 150 litres d'huile par heure.
- deux motopompes de 5 kW modifiées en fonctionnant à l'huile de coprah pour la distribution publique d'eau potable.
- un véhicule municipal à l'huile de coprah.
- un groupe de puissance de 200 KVA fonctionnant à l'huile de coprah et fournissant l'électricité à l'usine de désalement d'eau de mer de l'Ile.
- un groupe de 45 KVA alimentant des installations municipales,
- un groupe de 300 KVA installé dans la centrale de production d'électricité de l'Ile et fonctionnant à l'huile de coprah depuis 2004 selon le principe de bi-carburation exposé au chapitre 3.

**Le bilan fait ressortir que le total d'huile de coprah consommé par ces groupes et engins représente 400 tonnes de coprah par an ce qui amène des revenus à 120 coopérateurs et leurs familles tout en évitant l'importation de 200 000 litres de gasoil et la production de 640 tonnes de CO2 fossile.**

### **Perspectives :**

Face au développement obligatoire de nouveaux carburants renouvelables, tels ceux de « seconde génération » issus de procédés de gazéification suivi de catalyse, quelle place restera-t-il aux HVP ? Ces dernières, longtemps considérées comme des solutions « historiques » donc du passé, ont-elles des perspectives face à la modernisation des motorisations Diesel qui se répandent depuis 2000 ? Enfin, les huiles d'origine agricoles (c'est-à-dire la quasi-totalité de celles dont on parle) sont décriées à cause de la compétition annoncée entre terres énergétiques et terres alimentaires. Mais la situation en 2007 en reflète en rien celle de demain et d'autres solutions de productions d'huiles végétales sont en cours de développement dans les laboratoires de recherche.

- ◆ En matière de recherche d'une meilleure qualité d'huiles végétales carburant, des travaux sont entrepris au Cirad et dans d'autres laboratoires pour étendre les spécifications établies par les allemands pour le colza aux autres huiles et en particuliers aux huiles tropicales.

En effet, la prénorme Allemande DIN 51 605 sur la qualité de l'huile de colza comme carburant fixe, comme pour les produits pétroliers, une teneur maximale en sédiments de 24 ppm. Il est nécessaire pour la vérifier d'établir un protocole permettant de définir avec précision cette quantité de sédiments.

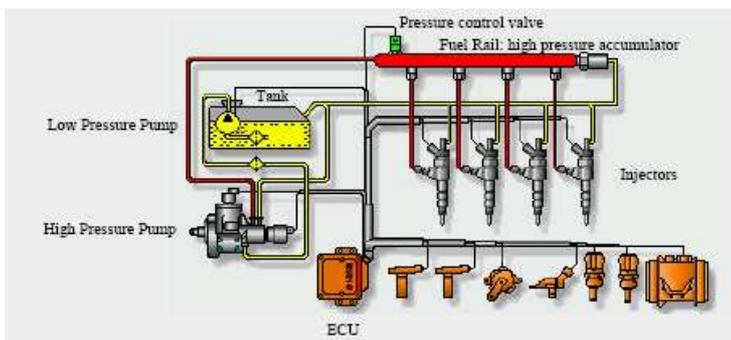
En fait il s'avère que les protocoles ISO 663 (analyse des corps gras d'origines animales et végétales) et ISO 12 662 (analyse des produits pétroliers liquides) montrent des lacunes dans l'analyse des huiles végétales pour moteur diesel. Les résultats n'étant pas répétables, voir totalement aléatoires.

Le Cirad a décidé de travailler à la mise en place d'un nouveau mode opératoire tenant compte de la viscosité plus importante de la plupart des huiles par rapport aux produits pétroliers et des points de fusion très élevés de certains acides gras. Ceci pourrait

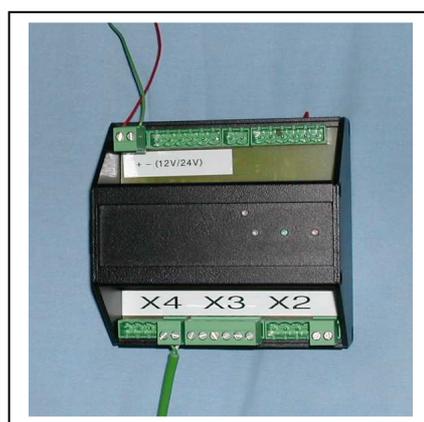
déboucher sur un « cahier de spécifications » incluant différentes fiches par groupes d'huiles végétales ou animales.

- ◆ Les nouveaux systèmes de contrôle d'injection Diesel rendent plus exigeante la « préparation » du carburant : tolérance de filtration abaissée à 1  $\mu\text{m}$ , viscosité faible. Les plus répandus sont les « *common rail* ». Les réglages ajustés pour les fiouls et gazoles ne sont plus adéquats pour les huiles plus visqueuses à température égale. Il faut donc, soit augmenter significativement la température des HVP, soit modifier les paramètres de pilotage électroniques. En revanche, si ces adaptations sont faites, les hautes pressions d'injection des systèmes « *common rail* » ajoutées au pilotage des masses injectées sont plus favorables aux HVP que les systèmes classiques d'injection.

Pour ces applications, les systèmes de bicarburant décrits précédemment s'adaptent bien. Il faut s'assurer d'un bon préchauffage des HVP et de la présence d'une pompe de gavage permettant des pressions de 3 à 6 bars avec des débits en accord avec le système « *common rail* » installé (exemple : 300 litres/heures pour du 200 kW Bosch). Le pilotage des passages de gazoles à HVP se faisant correctement grâce à un système de bascule électronique (voir photos ci-dessous et description paragraphe 3.5).



**Système Common Rail Bosch (doc. Bosch)**



**Module de bascule Gasoil/Huile Végétale (doc. Cirad)**

- ◆ Le développement d'autres sources d'huiles végétales que celles utilisées pour le marché alimentaire et agroindustriel classique pourrait ouvrir de nouvelles perspectives aux « HVP carburant » produites et utilisées localement.

- Le *Jatropha curcas* qui produit une huile non alimentaire, car contenant une toxine, pourrait faire l'objet de sélection et d'amélioration variétale. Car si cette plante s'accommode bien de conditions semi-arides sa production décroît avec les quantités d'eau disponibles annuellement. Cultivée en plein champ, elle présente le risque d'acculer à la famine les milliers de paysans sous contrat qui auraient dédié leurs terres à la production de Biodiesel. Alors même que les villages, qui regroupent jusqu'à 80 % de la population, n'ont pas un accès à l'énergie suffisant pour envisager des perspectives de développement. Ceci pourrait changer si une variété comestible voyait le jour. Des pays comme l'Inde, le Burkina Faso et d'autres entament des travaux plus orientés vers l'agronomie et les systèmes de culture du *Jatropha* que vers les utilisations de l'huile qui par ailleurs ont été étudiés en détails par le Cirad dans les années 90.

- La production de biocarburants lipidiques par des microalgues. Produire un biocarburant sous forme d'huiles ou d'ester de méthyl à partir de microalgues autotrophes est possible. Ces microorganismes peuvent accumuler des acides gras jusqu'à 80% de leur poids sec permettant d'envisager, en théorie, des rendements à l'hectare supérieurs d'un facteur 30 aux espèces oléagineuses terrestres.

On estime entre 200 000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes, une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie. Comparativement aux espèces oléagineuses terrestres, ces microalgues présentent de nombreuses caractéristiques favorables à une production d'acides gras :

- **Rendements de croissance et par conséquent des productions** à l'hectare supérieurs aux espèces oléagineuses terrestres (de 20 à 75 m<sup>3</sup> d'huile par hectare et par an selon les sources).
- **Rendement photosynthétique** beaucoup plus élevé
- **Plasticité métabolique** bien plus importante permettant plus facilement d'orienter la bioproduction vers certains acides gras
- **Maîtrise du cycle de l'azote et du phosphore** en contrôlant le recyclage des éléments nutritifs
- Pas d'apport de **phytosanitaires**
- **Nombreux sous-produits** valorisables
- Technologie exploitable dans les **pays en voie de développement**

Le succès de ce type de production pourrait contribuer à l'usage des HVP tout en ménageant les terres vivrières traditionnelles. L'autre intérêt est la possibilité de sélectionner les algues en fonction de la composition en acides gras attendue. Ces recherches se développent dans les pays développés et le Cirad est partenaire d'un projet de l'Agence Nationale de la Recherche intitulé : « Shamash ».

## Bibliographie

- *Ouvrages et publications :*

BATTAIS Liliane, DEFAYE Serge et VAITILINGOM Gilles

« Perspectives de développement de l'utilisation des huiles végétales pures hors utilisation biocarburant », Ademe Aquitaine, France, juin 2006.

BIGOGNO C., KHOZIN-GOLDBERG I., et al.

"Lipid and fatty acid composition of the green oleaginous alga *Parietochloris incisa*, the richest plant source of arachidonic acid." *Phytochemistry* 60(5): 497-503. 2002.

BORREDON Marie-Elisabeth, MOULOUNGUI Zéphirin

« Chimie pour le développement durable – Les biotensioactifs », LCA, Toulouse, France, octobre 2006.

CENTRE TECHNOLOGIQUE DU MINAS GERAIS / CETEC

« Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais »

Volume 1 : « Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais », 1983

Volume 2 : « Transesterificação de óleos vegetais », 1983

CHIRAT Nathalie

Thèse de doctorat : « Etude de la qualité de carburants dérivés des huiles végétales - Approche méthodologique », Université de Montpellier 2, France, décembre 1996.

DE THEUX Barthélémy

Rapport de fin d'étude : « Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel », ECAM, Belgique, 2003-2004.

EIER ETSHER

Rapport de la journée énergie sur la biomasse énergie organisée par le groupe EIER ETSHER, mai 2006 :

« Formation sur la biomasse énergie », Burkina Faso, mai 2006.

F. FUHRER, A. LIMACHER, H. MIKLE, M. TRUTTMANN, R. FRIEDLI, M. PASQUIER, H. PFEFFERLI, R. SCHNELLER, G. GREMAUD

« Graisses comestibles, huiles comestibles et graisses émulsionnées », chapitre 7. Manuel suisse des denrées alimentaires MSDA, Suisse, 2005.

Guide pratique : « La Transformation Artisanale des plantes à huile - Expérience et procédés »

GRET, France, 1995.

E. GUIRAL et C. SAINT-CYR

« Voyage d'étude sur les huiles végétales pures », Rhonalpénergie-Environnement, France, mars 2005

GACHE Mélody, CIRAD

Rapport : « Etude de la teneur en sédiments dans les huiles végétales destinées aux moteurs diesels. IUT, Université de Perpignan, France, juillet 2007.

HENNING Reinhard, SIDIBE Yaya et SANANKOUA Oumou

Rapport intermédiaire du Projet Pourghère DNHE – GZT

« Production et utilisation de l'huile végétale comme carburant », Mali, novembre 1994.

LE CHIEN Hoang, Directeur Division Oléochimie VALAGRO - France

Compte rendu de la rencontre Franco-Brésiliennes sur les biocarburants – 27,28, 29 novembre 2006 Brasilia, Brésil.

LIENNARD Alain,

Thèse de doctorat : « Analyse de la durabilité socio-économique d'un processus de développement insulaire : La Nouvelle-Calédonie », Université de Montpellier 1, France, 2003

LIENNARD Alain, VAITILINGOM Gilles

« Etude sur les condition technico-économiques de l'utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs de navires de pêche professionnelle », Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, France, janvier 2007.

MARTIN Georges, GRAILLE Jean, MAYEUX Alain, DOUMERGUE Christine  
« Possibilités d'emploi de diverses Huiles tropicales dans les moteurs Diesel- Recensement et caractérisation », CIRAD, France, octobre 1983.

PIOCH Daniel, VAITILINGOM Gilles  
"Palm oil and derivatives: fuels or potential fuels?" OCL vol. 12 n°2, March-April 2005.

PRANKL Heinrich, KÖRBITZ Werner, MITTELBACH Martin, WÖRGETTER Manfred  
« Review on biodiesel standardization world-wide », Mai 2004.

K. REINHARD et TIANASOA RAMORAFENO  
« Le manuel *Jatropha* », Novembre 2005

TRAN Gilles  
« Le coton et ses co-produits en alimentation animale » - Revue de l'Alimentation Animale n°482, Novembre 1994.

VAÏTILINGOM Gilles  
Thèse de doctorat : Huiles végétales - Biocombustible diesel « Influence de la nature des Huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité-carburant », Université d'Orléans, janvier 1992.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain  
"Various vegetable oils as fuel for Diesel and burners: *Jatropha curcas* particularities". Biofuels and industrial products from *J. curcas*. Ed. Technische Universität Graz, Austria. 1997. p 98-109.

VAITILINGOM Gilles, PERILHON Christelle, LIENNARD Alain, Gandon Michel..  
Development of rape seed oil burners for drying and heating. Industrial Crops and Products, Elsevier. Vol. 7, p. 273-279, 1998.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain  
« Expérimentation d'un groupe fonctionnant à l'huile de coprah sur l'île d'Ouvéa – bilan après 2500 heures ». CIRAD, Nouvelle Calédonie, 1998.

VAITILINGOM Gilles  
« Les huiles végétales biocarburants pour les moteurs diesels », CIRAD, France, novembre 2004

VAITILINGOM Gilles  
« Performances globales théoriques des moteurs diesels alimentés par l'huile de Tournesol ou de colza », CIRAD, France, janvier 2005.

VAITILINGOM Gilles  
« Utilisations énergétiques de l'huile de coton », Cahiers Agricultures Vol. 15, n°1, janvier-février 2006

• **Sites Internet :**

[www.acces.inrp.fr/](http://www.acces.inrp.fr/)

[www.europeus.org](http://www.europeus.org)

[www.treehugger.com](http://www.treehugger.com)

[www.bioking.nl](http://www.bioking.nl)

[www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

[www.uidaho.edu/bioenergy/](http://www.uidaho.edu/bioenergy/)

[www.bcmad.com](http://www.bcmad.com)

[www.institut.hvp.free.fr](http://www.institut.hvp.free.fr)

[www.canola-council.org](http://www.canola-council.org)

[www.peracod.net/.../moteur-a-huile-Inde.htm](http://www.peracod.net/.../moteur-a-huile-Inde.htm).

[www.cirad.fr/](http://www.cirad.fr/)

[www.trame.org](http://www.trame.org)