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

POSSIBILITES D'UTILISATION DE L'HUILE DE JATROPHA DANS LES MOTEURS DIESELS DU CERCLE DE KITA

Mémoire pour l'obtention d'un master spécialisé en Génie Electrique, Energétique et Energies Renouvelables
Option : *Energie*

Présenté et soutenu publiquement le….. septembre 2010

Par

William FOTSEU NOUMOYE

Travaux dirigés par :

Dr. Joël BLIN
Enseignant chercheur, UTER, GEI, LBEE

François GIRAUDY
Ingénieur Agronome, Eco Carbone, JMI

Ing. Sayon SIDIBE
Doctorant, LBEE

Jury d'évaluation du stage:

Président : ----------
Membres et correcteurs : Joël BLIN
François GIRAUDY
Sayon SIDIBE

Promotion 2009/2010

Dédicace/Citation

Merci Maman
Je t'aime

"Ce n'est pas parce que c'est difficile que nous n'osons pas, c'est parce que nous n'osons pas que c'est difficile" ***Sénèque***

Remerciements

Je voudrais remercier ici :

- *L'éternel Dieu tout puissant, pour tout son amour envers moi.*

- *Le Président du jury ----------, Pour avoir accepté de présider ce jury malgré ses multiples occupations.*

- *Le Dr. Joël BLIN pour m'avoir fait l'honneur de diriger ces travaux.*

- *François GIRAUDY et CHIAKA Berté pour m'avoir accordé leur confiances et initier mes premiers pas dans le mode professionnel, Merci Beaucoup.*

- *Mon encadreur Sayon SIDIBE pour sa disponibilité, ses remarques et l'encadrement apporté tout au long de ces travaux et de mon séjour d'études au LBEB. Nos échanges ont toujours été très enrichissants pour moi.*

- *Mes enseignants du 2iE de Ouagadougou en particulier le Dr. Yao ASSOUMAH pour tous ses précieux conseils.*

- *Au Prof Arona Coulibaly de l'ENI de Bamako, pour ses échanges et son matériel. Merci Messieurs.*

- *Tout le personnel de JMI à Kita, particulièrement à ma collègue de stage Paola pour le bon et dur moment de travail passé ensemble.*

- *Mes parents André et Ange Vine pour tous les sacrifices consentis à mon égard. Je suis le produit de vos efforts conjugués Je ne vous oublierai jamais.*

- *Ma Mère et Sœur, le médecin Adélaïde pour tous ses conseils et son amour inconditionnel.*

- *Mon frères et sœurs Lawrence, Lyna, Yolande, Faustine et Hermine: je ne vous oublierai jamais.*

- *Mes cousins et cousines Elvadas, Brice, Corine, Finesse, Edite, Liliane, Adolph, James*

- *Mon amie Prudence TOWA pour ton écoute, tous tes encouragements, ta disponibilité ta tendresse et ta patience.*

- *Mon ami Patrice Dangang: Merci pour tout.*

- *Joël et Camille, Merci infiniment pour vos lectures et corrections*

- *Tous mes camarades de promotion, dont j'ai eu l'honneur d'être leur responsable, en particulier Sylvain, Marcellin, Amen, Soumaré, Bello.et Ngollo*

- *Tous mes camarades de promotion au Cameroun, en France, en Angleterre, aux USA, en Allemagne, en Tunisie, en Inde, en Cote d'Ivoire…*

- *Toutes les autres personnes que je n'arrive pas à citer ici.*

Sommaire

Dédicace/Citation i
Remerciements ii
Sommaire iii
Liste de Tableaux v
Liste des figures vi
Résumé vii
Abstrat vii
Liste des abréviations viii

1 INTRODUCTION GENERALE 1
1.1 Contexte 1
1.2 Objectifs 1
1.3 Méthodologie 2

2 LES HUILES VEGETALES PURES (HVP) 3
2.1 Généralités sur les huiles végétales carburant 3
2.2 Caractéristiques des huiles végétales carburant 4
2.2.1 Caractéristiques chimiques 4
2.2.2 Caractéristiques physiques 6
2.3 Propriétés physico-chimiques et comparaison de l'huile de jatropha et du gazole 9

3 JMI, TECHNOLOGIE D'EXTRACTION ET CONDITIONNEMENT DE L'HUILE DU POURGHERE 10
3.1 Présentation de Jatropha Mali Initiative 10
3.2 Unité d'extraction d'huile de Jatropha 12

4 INVENTAIRE DES MOTEURS DU CERCLE DE KITA 16
4.1 Typologie des moteurs diesels du cercle de Kita 16
4.2 Potentialité de la demande en huile 17

5 HUILE DE POURGHERE DANS LE MOTEUR DIESEL 18
5.1 Technologie du moteur diesel 18
5.1.1 Moteurs à injection directe 18
5.1.2 Moteurs à injection indirecte 19
5.2 Cas particulier des Moteurs dits Indiens 19
5.2.1 Les machines de connections mécanique 22
5.2.2 Les machines de connections électriques 22
5.3 Avantages et inconvénients d'utilisation de l'huile de jatropha comme carburant 23

6 SOLUTIONS POUR UTILISATION DES HVP COMME CARBURANT 26
6.1 Généralités 26
6.2 Réalisation d'un kit de Bi carburation 28
6.2.1 Conception 28
6.2.2 Réalisation 30
6.2.3 Coût de Kit 33
6.3 Installation du kit sur un moteur indien 33

7 TESTS ET EXPERIMENTATIONS 34
7.1 Matériel et méthodes 34
7.1.1 Matériel 34
7.1.2 Mesure des températures 35
7.1.3 Mesure des vitesses de rotation de l'arbre à came du moteur 36
7.1.4 Mesure des temps de basculement 36
7.1.5 Détermination du débit volumique de l'huile de jatropha 36
7.1.6 Détermination de la consommation spécifique 37
7.1.7 Qualité de combustion dans le moteur : Procédure de l'expérimentation 37
7.2 Résultats et discussion 38
7.2.1 Températures 38
7.2.2 Vitesse de l'arbre à came 38
7.2.3 Les temps de basculement 38
7.2.4 Débits de l'huile de jatropha 39
7.2.5 Consommation spécifique des carburants 39
7.2.6 Qualité de combustion dans le moteur 40

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 43

Références bibliographiques 45

ANNEXE 47
Annexe 1 : Prénorme sur les HVP carburant 47
Annexe 2 : Cahier de fonctionnement du moteur durant les expériences 48
Annexe 3 : Fonctionnement du moteur selon le principe du cycle à 4 temps 49
Annexe 4 : Fiche de conception du KIT 50
Annexe 5 : Fiche d'installation du KIT 51
Annexe 6 : Fiche d'utilisation du moteur équipé du Kit 53
Annexe 7 : Plaques signalétiques de la presse chinoise et du filtre de 5 microns 54
Annexe 8 : Inventaire des moteurs indiens et potentielles consommations mensuelles en huile de Jatropha 55
Annexe 9 : Fournisseurs potentiels et exemple de devis pour kit de Bicarburation pour groupes électrogènes 57
Annexe 10 : Catalogue des Moteurs diesels du Cercle de Kita 59

Liste de Tableaux

Tableau 2-1: Analyse minimale de contrôle [17].....3
Tableau 2-2: Groupes d'huiles végétale et Indice d'Iode.....4
Tableau 2-3: Propriétés physico-chimique de l'huile de jatropha et du Gazole [13] 9

Tableau 4-1: Type de moteurs diesel, de gazole et de gestion dans le Cercle de Kita.....17
Tableau 4-2: Potentiel de consommation en huile de Jatropha.....17

Tableau 6-1:Prix des pièces du Kit de bicarburation.....33

Tableau 7-1: Spécifications du Moteur 35
Tableau 7-2: Températures d'échappements.....38
Tableau 7-3: Vitesse de rotation de l'arbre à came.....38
Tableau 7-4: Détermination des débits volumiques et massique 39
Tableau 7-5:Simulation de la puissance délivrée, du taux de charge et de la CSE.....39

Liste des figures

Figure 3-1: Cercle de Kita avec les zones d'interventions de JMI [5] 11
Figure 3-2: processus de transformation des graines de jatropha 12
Figure 3-3: Presse chinoise 13
Figure 3-4: Décanteur 14
Figure 3-5: A gauche le filtre chinois et à droite un filtre moderne de 5 microns 14
Figure 3-6: Bidons de stockage 15

Figure 4-1:Exemple de groupe électrogène à BADINGO (gauche) et moteur indien sur PFM à DAFELA (droite) 16

Figure 5-1: Injection indirecte à gauche et directe à droite 19
Figure 5-2: Composition d'un moteur indien [14] 20
Figure 5-3: Différentes pièces d'un moteur Indien [14] 21
Figure 5-4: Appareils de connections mécaniques [14] 22
Figure 5-5: Appareils de connections électriques [14] 23
Figure 5-6: A gauche : Délai d'inflammation plus long et à droite : Dépôt d'encrassement 24
Figure 5-7: A gauche: Délai d'inflammation identique. A droite: Pas d'encrassement 24
Figure 5-8: Gaz rejeté pour T<500°C (à gauche) et T>500°C (à droite) 25

Figure 6-1: Principe de la bicarburation [18] 27
Figure 6-2: Effet de la température sur la viscosité de l'huile de jatropha [4] 28
Figure 6-3: Moteur Indien sans adaptation 29
Figure 6-4: Moteur Indien avec adaptation 29
Figure 6-5: Système de réservoirs 30
Figure 6-6: Système de pré filtres 30
Figure 6-7: Système de préchauffage 31
Figure 6-8 : Isolation des durites 32
Figure 6-9: Système de basculement 32

Figure 7-1: Tachymètre à gauche et Sondes Thermocouple à droite 34
Figure 7-2: Moteur indien 35
Figure 7-3: Nez d'injecteur, Soupapes et Tête de piston néttoyés 40
Figure 7-4: Nez d'injecteurs (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha 40
Figure 7-5:Soupapes (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha 41
Figure 7-6: Tête de piston (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha 42

Résumé

La filière huile des biocarburants serait une des solutions à la substitution des produits pétroliers liquides (Gazole) en zones rurales et périurbaines. Le document suivant traite la possibilité d'utiliser de l'huile de jatropha dans les moteurs diesels, la solution préconisée est la bicarburation. L'étude a été faite durant quatre (4) mois de stage au Mali, dans le cercle de KITA et au sein de la société jatropha Mali Initiative (JMI). Le moteur diesel ayant servi pour l'adaptation et l'expérimentation est un moteur indien à injection indirecte, de 8 CH, faisant 850 tr/min et ayant un seul piston vertical. Un kit de bicarburation, fait de pièces locales, a été conçu pour équiper ce moteur. Des essais ont été faits au gazole et à l'huile de jatropha pendant 30 h chacun. Au cours de ces essais, les consommations spécifiques ont été simulées, les niveaux d'encrassement on été comparés, des paramètres tels que les temps de basculement ont pu être déterminés. Des fiches pour la fabrication du Kit, son montage sur un moteur et son utilisation ont été conçues.

Mots clés : huile de jatropha, kit bicarburation, moteur diesel, système de préchauffage, JMI, cercle de Kita….

Abstrat

The oil industry of biofuels may be one solution to the substitution of liquid petroleum products (diesel fuel) in rural and urban perished. The following work concern the possibility use of jatropha oil in diesel engines, recommended solution is bi-fuel. The study has been made for four (4) months of internship in Mali, in the circle of Kita and in society name JMI. The diesel engine used for the adaptation and experimentation is an Indian motor indirect injection, 8-CH, doing 850 rpm and having a single vertical piston. A bi-fuel kit, made of local parts, was designed to equip the engine. The experiments have been trying to diesel and jatropha oil for 30 hours each. During these experiments, specific consumption were simulated, levels of dirtying have been compared, parameters such as switching time could be determined. Sheets for manufacturing the kit, fitted to a motor and its use have been designed.

Keywords: jatropha oil, kit bi-fuel diesel engine preheating system, JMI, circle of Kita....

Liste des abréviations

HC: Hydrocarbone
Ca: Calcium
CH: Cheveaux
CO: Monoxyde de Carbone
CIRAD: Centre International de Recherche Agronomique et de Développement
CSE: Consommation Spécifique
EMHV: Esters Méthyliques d'Huiles Végétales
GES : Gaz à Effets de Serre
HVP : Huile Végétale Pures
HVB: Huiles Végétales Brute
IO: Indice d'Iode
JMI : Jatropha Mali Initiative
MAM : Manutention Africaine Mali
Mg : Magnésium
NO_X: Oxydes d'azote
OMD: objectifs du Millénaire pour le Développement
OPEP : Organisation des pays exportateurs de pétrole
PE : Point Eclair
PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur
PMF : Plate-forme Multifonctionnelles
ppm: Partie par million
2IE: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
SOGEP : Société de Gestion d'Energie Privée

1 INTRODUCTION GENERALE

1.1 CONTEXTE

Le jatropha est apparu ces dernières années comme une alternative crédible au gasoil dans certaines conditions et, accessoirement, un moyen d'améliorer les revenus des producteurs agricoles africains. Par ailleurs, l'accès à l'énergie en milieu rural en Afrique en général et au Mali en particulier, est fortement déficitaire, le gasoil étant à la fois difficilement accessible et de plus en plus cher.

Dans ce contexte, le développement d'une production de jatropha par les agriculteurs locaux peut permettre de répondre à ce défi. Pour autant, tous les problèmes techniques ne sont pas résolus et l'utilisation d'huile dans les moteurs ne peut pas se faire dans n'importe quelles conditions.
Dans le Cercle de Kita, au Mali, la société Jatropha Mali Initiative (JMI, décrite plus loin) a fait le pari du développement d'une production locale avec les agriculteurs et d'une amélioration globale de l'accès à l'énergie dans le Cercle. 2009 ayant vu l'arrivée des premières graines (et donc des premiers litres d'huile), il était important pour cette société de mieux connaître son marché potentiel et de mettre en place les conditions les meilleures pour l'atteindre.

C'est dans cette optique que Jatropha Mali Initiative (JMI), société à droit malien spécialisée dans la production d'huile de jatropha, avec la collaboration de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ont proposé le thème de stage portant sur les possibilités d'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs diesels du cercle de Kita.

1.2 OBJECTIFS

Les objectifs du stage étaient les suivants :

- Faire un inventaire des moteurs présents dans le cercle ;
- Savoir dans quelles conditions ils pourraient utiliser de l'huile de jatropha ;
- Tester dans un deuxième temps l'utilisation de cette huile.

1.3 METHODOLOGIE

Le stage s'est déroulé selon la chronologie suivante :

1. Revu bibliographique générale du domaine ;
2. Tournées de terrain afin de répertorier les moteurs diesels présents dans les communes et villages du cercle de Kita ;
3. Choix du type de moteur à tester et conception et montage du kit de bicarburation conçu à partir des pièces locales ;
4. Tests avec gazole et de l'huile de jatropha. Une attention particulière a été portée sur le colmatage des filtres à carburant et l'encrassement des pièces d'injections et de combustion. Enfin une comparaison des fonctionnements au gazole et à l'huile a été faite.

Dans ce document, lorsque nous parlerons de jatropha, il s'agira du *Jatropha curcas L.* encore connu sous le nom de pourghère ou bagani en langue Bambara.

2 LES HUILES VEGETALES PURES (HVP)

2.1 GENERALITES SUR LES HUILES VEGETALES CARBURANT

Parmi les biocarburants utilisables dès aujourd'hui ou à très court terme, les huiles végétales ont l'avantage d'avoir fait récemment l'objet de nombreux travaux. Les premières expériences d'huile végétale carburant sont attribuées à Rudolf Diesel lui-même lors de l'exposition universelle de Paris en 1900. Depuis, les huiles végétales tropicales ont fait l'objet d'études, de tests et même d'utilisations massives (seconde guerre mondiale) en fonction des aléas liés aux coûts ou à la disponibilité du pétrole. Mais les grands travaux de recherche menés dans les années 1950 partout dans le monde sur les moteurs polycarburants n'incluaient pas les huiles végétales qui, de ce fait, n'ont jamais eu le statut de carburant potentiel [8]. Toutefois, dans les années 70, l'embargo déclaré par les pays de l'OPEP, l'augmentation subséquent des prix du pétrole et la crainte d'une pénurie de carburant d'une part et le triple défi qui nous attend dans les prochaines années : la disparition programmée du pétrole, l'augmentation de l'effet de serre, le besoin de proposer des sources de revenu aux agriculteurs ont ravivé l'intérêt pour les carburants de remplacement notamment les HVP.

Propriétés physicochimiques des huiles : les HVP ont des propriétés physico-chimiques différentes de celles du gazole, ce qui amène à prendre des précautions nécessaires en vue de leur utilisation comme carburant dans les moteurs diesels. En Europe, une prénorme européenne, la DIN 51605, récapitule les critères à respecter pour obtenir une huile végétale, de colza, de qualité carburant ainsi que les paramètres et les méthodes d'analyse (Voir Annexe 1). Le Mali, à l'instar des autres pays d'Afrique, n'en dispose pas encore. Cette prénorme renseigne également sur les facteurs qui doivent entrer dans l'analyse minimale de contrôle, en production d'huile carburant.

Tableau 2-1: Analyse minimale de contrôle [17]

Teneurs	***Unités***	***Max***	***Méthodes d'analyse***
Teneur en particules	mg/kg	24	DIN EN 12662
Acidité	mg KOH/g	2,0	DIN EN 14104
Teneur en phosphore	mg/kg	12	DIN EN 14107
Teneur en Ca et Mg	mg/kg	20	DIN EN 14538
Teneur en eau	%	0,075	DIN EN ISO 12937
Teneur en cire *Total	mg/kg	100 *ppm*	Chromatographie

*Cristalisable	75 *ppm*	gazeuse Seuils à valider

2.2 CARACTERISTIQUES DES HUILES VEGETALES CARBURANT

2.2.1 Caractéristiques chimiques

❖ *Teneur en huile et profil en acides gras*

Les huiles sont essentiellement (supérieur à 95 %) composées de triglycérides, dont la structure chimique comporte du glycérol estérifié par trois acides gras. Le solde est composé principalement de phosphatides, stérols et alcools qui peuvent influencer les caractéristiques de l'huile (odeur, couleur) [25]. La composition d'une huile en acides gras qui lui confère ses qualités nutritionnelles, ses particularités et sa texture. On distingue plusieurs types d'acides gras : Les acides gras dits « saturés » n'ont pas de double liaison dans leur chaîne carbonée, ils sont présents dans les graisses animales et dans les graisses végétales, c'est la teneur et la position de ces acides gras qui détermine la texture de l'huile, plus une huile sera riche en acides gras saturés, plus elle sera solide aux températures normales [25] ; Les acides gras insaturés quant à eux présentent une ou plusieurs doubles liaisons dans leur chaîne carbonée, on parle alors d'acides gras mono-insaturés ou poly-insaturés. On trouve ces acides gras insaturés plus souvent dans les huiles végétales. L'acide gras mono-insaturé le plus courant est l'acide oléique. Les deux principaux acides gras polyinsaturés des huiles sont l'acide linoléique et l'acide-linolénique. En se servant de l'indice d'iode, les huiles végétales peuvent être classées en quatre groupes tel que donné par le tableau suivant [9].

Tableau 2-2: Groupes d'huiles végétale et Indice d'Iode

Type d'huile	Acides	Exemples	Indice d'iode
	Laurique	coprah, palmiste, babassu	
Huiles saturées	Palmitique	buruti, palme	5 - 50
	stéarique	karité	
Huiles monoinsaturées	Oléique	arachide, colza, jatropha, sésame, ricin, olive…	50 – 100
Huiles di-insaturées	linoléique	tournesol, coton, maïs, soja…	100 - 150

❖ *Teneur en soufre*

Le soufre contribue à l'émission de particules et de dioxyde de soufre par l'échappement ainsi qu'à la formation de dépôts acides dans l'huile lubrifiante. Les HVP n'en contiennent pas.

❖ *Teneur en phosphore*

La teneur en phosphore indique la présence de phospholipides. Ce paramètre est très important pour un usage carburant. En effet, ces phospholipides sont responsables d'encrassement des soupapes et de la chambre de combustion des cylindres lors de l'utilisation d'huile végétale carburant (phénomène de gommage). Cet élément peut se retrouver en plus ou moins grande quantité dans l'huile selon les conditions de trituration. Ainsi, un pressage à froid, autour de 50°C, offre l'avantage de produire une huile dont la teneur en phosphore est fortement réduite [20]. Pour la fabrication de l'EMHV, les huiles obtenues par extraction industrielle, c'est-à-dire pression à chaud plus extraction à l'hexane, ont des teneurs en phospholipides en excès, et peuvent atteindre les 500 ppm [25]. Ces huiles issues d'une extraction industrielle nécessitent donc une étape de dégommage dans le processus de raffinage, pour une utilisation future comme carburant, ce qui diminue l'efficacité énergétique de cette filière.

❖ *Teneur en cendres*

Les cendres ont un pouvoir abrasif qui doit être limité pour éviter des problèmes au niveau de la pompe d'injection, des injecteurs et des cylindres [25].

❖ *Teneur en eau*

La présence d'eau dans le carburant, quel qu'il soit, pourra poser des problèmes tout au long du circuit de carburant (réservoir, filtre, etc.). Ce paramètre est donc à surveiller et dépendra de l'humidité de la graine et des conditions de stockage de l'huile [25].

❖ *L'acidité*

L'huile contient naturellement des acides gras libres. La quantité d'acides gras sera d'autant plus grande que la graine sera altérée (par les conditions agro-climatiques de récolte, conditions de séchage et de stockage). Sous l'action d'une enzyme, la lipase, les triglycérides libèrent leurs acides gras, provoquant l'acidification de l'huile [25]. Lorsque des graines s'acidifient, la quantité d'huile que l'on peut en tirer diminue. La teneur en acides gras libres, qui s'exprime par l'indice d'acide (ou l'acidité), est une bonne indication du niveau d'altération de la graine. D'après quelques expériences, il est prouvé que le contact de l'air a une influence plus importante sur l'acidification de l'huile que la lumière bien que les valeurs soient acceptables [25].

❖ *L'oxydation*

L'indice de peroxyde permet d'estimer le niveau d'oxydation de l'huile. Il s'exprime en nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras. Pour ce paramètre également, on observe une plus forte influence de l'air que de la lumière. L'oxydation améliore l'indice de cétane, c'est-à-dire la capacité de l'huile à s'enflammer, ce qui est plutôt positif dans l'utilisation de l'HVP carburant [25].

2.2.2 Caractéristiques physiques

❖ *Point éclair*

Le point éclair d'un liquide se définit comme la température la plus basse à laquelle la concentration de vapeurs émises est suffisante pour produire une déflagration au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'un point chaud mais insuffisante pour produire la propagation de la combustion en l'absence de la "flamme pilote" [25]. Les produits peuvent être classés en fonction de leur point-éclair :

- < 0°C : extrêmement inflammables
- de 0°C à 21°C : facilement inflammables
- de 21°C à 55 °C : inflammables

Dans le cas de l'huile de jatropha, le point éclair (PE) est beaucoup plus élevé que le gazole. Ceci présente à la fois un avantage et un inconvénient majeurs. La combustion de l'HVP est rendue plus difficile, notamment au démarrage, puisque la température nécessaire à la combustion est d'environ 275°C (environ 75°C pour le fioul). Cependant, une valeur élevée de ce point éclair est synonyme de sécurité pour le stockage et la manutention du produit.

❖ *Indice de cétane*

L'indice de cétane (IC) traduit l'aptitude d'un combustible pour moteur diesel à s'enflammer. Cette caractéristique est particulièrement importante pour le diesel (ou les agrocarburants équivalents) où le carburant doit s'auto enflammer sous l'effet de la compression de l'air enfermé dans le cylindre. Le zéro de l'échelle de cet indice est donné par la valeur du méthylnaphtalène qui a une forte résistance à l'inflammation et la valeur 100 est donnée par le cétane qui s'enflamme très facilement [25]. Un indice IC trop bas provoque :

- des difficultés de démarrage à froid
- une augmentation du niveau de bruit
- augmentation du délai d'inflammation.

Par contre, un indice trop élevé (> 60) :

➢ réduit le bruit du moteur mais
➢ présente un mauvais rendement thermodynamique.

L'indice de cétane est au moteur diesel, ce que l'indice d'octane est au moteur à essence. L'indice de cétane et le point éclair constituent les propriétés d'inflammabilités d'un carburant.

❖ *Pouvoir Calorifique Inférieur*

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) se définit comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible. Elle s'exprime en kJ/kg. Le pouvoir calorifique des différentes huiles végétales sont proches les uns des autres mais inférieures d'environ 10% au PCI du carburant diesel. Cependant, en raison de la légère différence de densité, le PCI des huiles végétales exprimé par unité de volume se rapproche de celui du diesel. Les conséquences de la faible valeur du PCI des HVP comparées à celui du gazole sont

la surconsommation d'environ 8% en huile, la baisse de la puissance du moteur et la baisse du rendement thermique [16], [12].

- *Viscosité cinématique*

Elle s'exprime en centistokes. La viscosité des HVP est plus élevée que celle du gazole (Tableau 2-3) et elle augmente avec l'abaissement de la température, l'insaturation et la longueur des chaînes carbonées [20]. L'augmentation du poids moléculaire entraîne une augmentation de la viscosité et l'augmentation de l'insaturation entraîne, à longueur de chaîne constante, une diminution de la viscosité [25]. Son incidence sur le moteur diesel sera traitée plus loin.

- *Densité*

La densité peut être définie comme étant le poids de produit contenu dans un volume déterminé (un litre) dans des conditions déterminées. Ainsi, pour les carburants, la température de mesure est fixée à 15°C [25]. La densité des HVP trouve son intérêt pour l'utilisation de l'huile en mélange. En effet la densité des HVP est voisine de celle du gazole ce qui signifie que le mélange HVP/gazole est homogène et que les deux carburants ne se séparent pas.

- *Contamination*

Ce paramètre est un des plus importants pour une utilisation carburant de l'huile. Cette mesure permet en effet de déterminer la pureté de l'huile ainsi que l'efficacité du processus de filtration de l'unité de production. Une contamination trop importante conduira à un colmatage prématuré des filtres pour gazole, à un encrassement du circuit de carburant et peut avoir un effet abrasif sur certains organes sensibles (pompe, injecteurs). Les résultats d'analyse faite sur de l'huile ayant subi une filtration à 10 µm conduisent à des valeurs très élevées, ce qui doit conduire à une réflexion sur la filtration mise en place : cartouches de filtration inadaptées pour la filtration d'huile ou nécessité de descendre à des niveaux de filtration plus bas (1-5µm) [25].

2.3 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET COMPARAISON DE L'HUILE DE JATROPHA ET DU GAZOLE

Les propriétés physico-chimiques de l'huile de jatropha et du gazole sont les suivantes :

Tableau 2-3: Propriétés physico-chimique de l'huile de jatropha et du Gazole [13]

Caractéristiques	Huile de jatropha	Gazole
Densité (g/cm^3)	0,92-0,93	0,815-0,855
Point éclair (°c)	340	55
Point de solidification (°C)	-5	-
Viscosité cinématique à 20°C (10^{-6} m^2/s)	75,7	2-8
Indice d'iode	103	-
Incide de saponification	198	-
Indice de cétane	23-51	45
Pouvoir Calorifique (kJ/kg)	39 628	45 000
Indice de Conradson (%)	0,45	0,35
Pouvoir calorifique volumique (kJ/L)	36,524	37,24
Poids moléculaire moyen (kg/mol)	870	200

Ce tableau permet de comparer les contraintes physiques (viscosité, PCI…) et chimiques (teneur en phosphore, acidité…). L'huile de jatropha a une viscosité et un point éclair très supérieurs à ceux du gazole. Ces contraintes constituent des barrières à l'utilisation de l'huile du jatropha comme carburant dans les moteurs diesels. Des solutions seront cependant exposées dans les prochaines rubriques pour pallier à ces barrières. Dans le prochain chapitre, nous allons nous intéresser à JMI et à la manière dont elle produit son huile de jatropha.

3 JMI, TECHNOLOGIE D'EXTRACTION ET CONDITIONNEMENT DE L'HUILE DU POURGHERE

Ce chapitre présente brièvement la société Jatropha Mali Initiative (JMI) où nous avons effectué le stage et au processus de transformation de la graine de jatropha en huile.

3.1 PRESENTATION DE JATROPHA MALI INITIATIVE

JMI est une entreprise de droit malien implantée à Kita dont les parts sont détenues par l'entreprise française Eco-Carbone, l'entreprise malienne Déguessi Vert, la firme pharmaceutique suisse Novartis respectivement à hauteur de 60%, 19% et 21%. Elle est impliquée dans le développement de la culture de jatropha dans le cercle de Kita. Grâce à un système de contractualisation volontaire, les paysans du cercle peuvent décider de planter du jatropha en plantation afin de vendre la production de graines à JMI à un prix fixe, évitant ainsi la prise de risque par les paysans. En retour, JMI leur garanti un suivi régulier, un soutien technique spécifique à la culture du jatropha, ainsi qu'un accès au crédit pour l'achat des plants de jatropha.

La figure, Figure 3-1, de la page suivante présente le cercle de Kita avec les communes où JMI intervient.

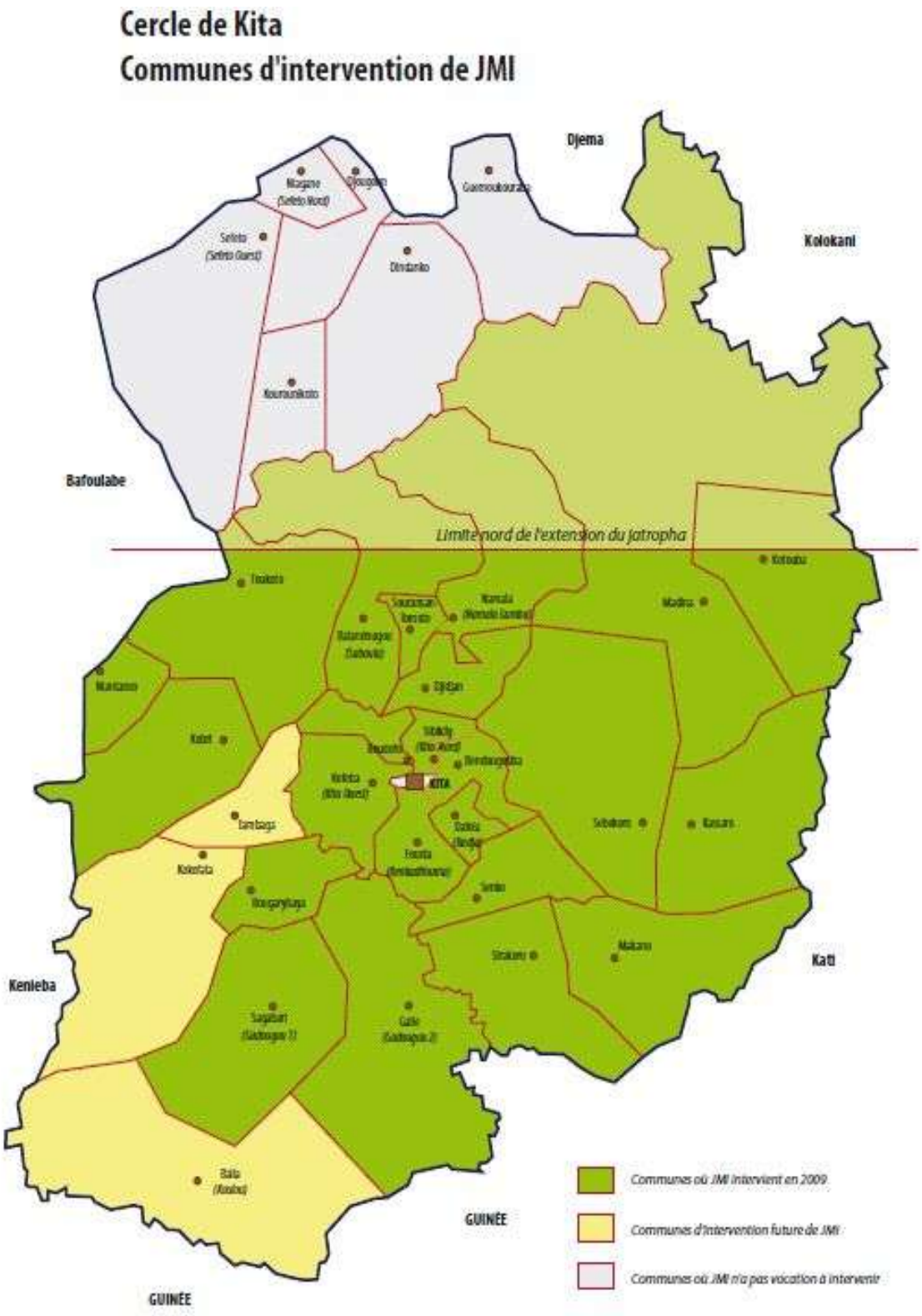


Figure 3-1: Cercle de Kita avec les zones d'interventions de JMI [5]

3.2 UNITE D'EXTRACTION D'HUILE DE JATROPHA

Grâce à une petite unité industrielle, d'une capacité de 80 litres en moyenne par jour avec une trituration de 400 kg de graines, équipée de deux presses à vis (presses chinoises, voir Figure 3-3), d'un décanteur et des filtres produit de l'huile de jatropha. Les différentes étapes de production de cette huile depuis la réception des graines sont les suivantes :

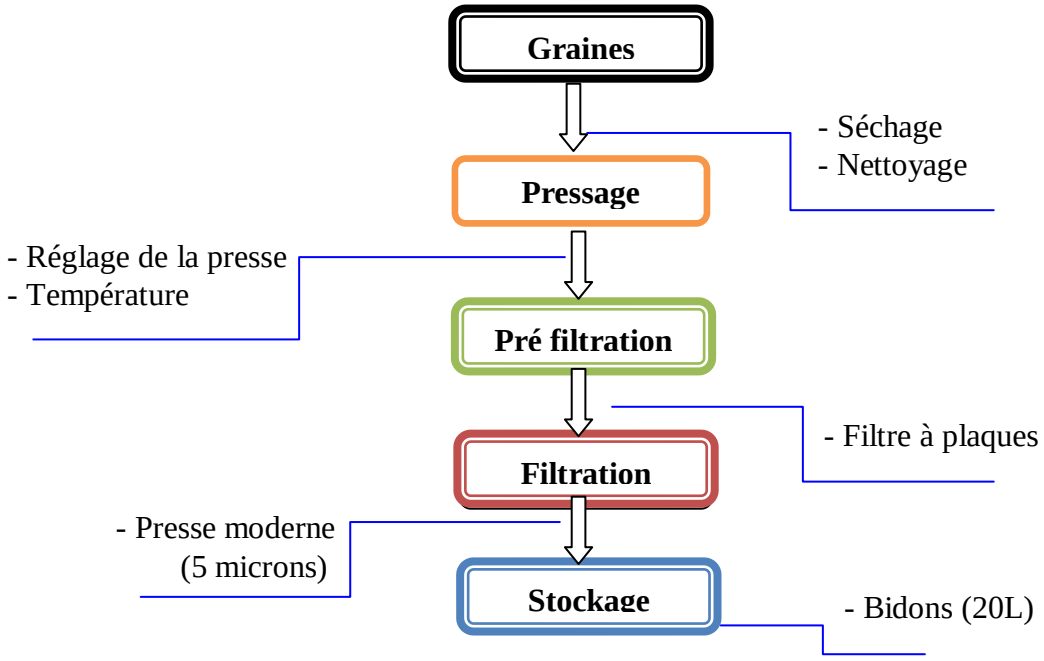


Figure 3-2: processus de transformation des graines de jatropha

- **Nettoyage**

Une fois les graines arrivées à l'usine, elles sont soigneusement nettoyées, le processus utilise un tamis. Un tri manuel supplémentaire s'opère en cas de besoins (présence de morceaux de fer, de cailloux…).

- **Séchage**

Après être nettoyées, les graines sont séchées au soleil pour être déshumidifiées. Le degré d'humidité des graines est obtenu grâce à un humidimètre. Le taux optimum d'humidité est de 12 % [11]

- **Pressage**

Une fois séchées, les graines sont admises dans la presse. Le pressage à froid produit d'une part de l'huile brute et d'autre part du tourteau.

Pour sécuriser la continuité de la production en huile, une presse supplémentaire a été installée. Ces presses sont de type presses à vis, de marque chinoise et de 5,5 kW de puissance électrique, les détails de ses caractéristiques sont donnés en annexe. Les paramètres à observer à cette étape sont le réglage des vis des la presse et la température de pressage.

En effet en fonction du type de presse, 80 à 95% d'huile contenue dans les graines peut être extraite (les graines contiennent 30% à 35% d'huile en masse [19]).

Il n'est pas conseillé de toréfier les graines : si le rendement de l'extraction augmente, cela se fait au détriment de la qualité de l'huile (cette dernière devenant riche en sédiments).

Figure 3-3: Presse chinoise

- **Décantation**

Cette phase consiste tout simplement à décanter l'huile brute à l'aide d'un décanteur (Figure 3-4). Ce dernier est constitué de trois cases principales où séjourne successivement l'huile avant son admission dans le filtre. Cette opération s'opère lorsqu'on désire obtenir l'huile à usage carburant.

Figure 3-4: Décanteur

- **Filtration**

L'étape de filtration se fait de façon étagée: une presse chinoise à plateaux (Figure 3-5 à gauche) permet de faire une première filtration de l'huile brute, l'huile obtenue permet la fabrication de savon. Une deuxième filtration, à l'aide d'un filtre plus sophistiqué (Figure 3-5 à droite), permet d'obtenir une huile à 5 microns pour utilisation dans les moteurs diesels.

Les filtres utilisés à JMI appartiennent à la famille des filtres sous pression, le premier est un filtre à plateaux et le second à «passoire » Les spécifications techniques sont données en annexe.

-

Figure 3-5: A gauche le filtre chinois et à droite un filtre moderne de 5 microns

- **Stockage**

L'huile filtrée est enfin stockée dans des bidons de 20 litres (Figure 3-6) et mis à l'abri des intempéries.

Le niveau de filtration (résidus d'impuretés) et les conditions de stockage ont une incidence sur la conservation de l'huile. C'est ainsi que:

- L'huile doit être aussi propre que possible;
- Le lieu de stockage doit être frais et non humide ;
- L'huile doit être conservée à l'obscurité, à l'abri de la lumière directe du soleil.
- Il faut préférer les récipients de conservation en plastique ou en acier inoxydable
- Eviter de pomper les fonds de cuve

Ces conditions respectées, l'huile peut être utilisée pour la carburation même après un stockage de plusieurs années [11].

Figure 3-6: Bidons de stockage

4 INVENTAIRE DES MOTEURS DU CERCLE DE KITA

Ce chapitre à pour objet faire l'état de lieu sur les principaux moteurs diesels du cercle de Kita et par ricochet cibler les potentiels clients de JMI.

4.1 TYPOLOGIE DES MOTEURS DIESELS DU CERCLE DE KITA

Le cercle de Kita possède trente trois (33) communes, douze (12) d'entre elles ont été visitées afin de répertorier les moteurs diesels y existant et de se renseigner sur le mode de gestion et leurs approvisionnement en carburant. Les moteurs diesels rencontrés équipent les groupes électrogènes, les plates-formes multifonctionnelles (PFM) et les moulins. Leurs usages sont divers :

- Les groupes électrogènes (Figure 4-1 à gauche) servent principalement à l'électrification rurale et certains au pompage hydraulique;
- Les moteurs dits indiens (Figure 4-1 à droite) équipent principalement les plates formes-multifonctionnelles (PFM) et très peux servent aussi à l'électrification rurale.

Figure 4-1:Exemple de groupe électrogène à BADINGO (gauche) et moteur indien sur PFM à DAFELA (droite)

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résume la situation sur le type de gestion qui est fait des différents types de moteurs diesels ainsi que le carburant qu'ils utilisent.

Tableau 4-1: Type de moteurs diesel, de gazole et de gestion dans le Cercle de Kita

Moteur diesels	*Type de gestion*	*Carburant*	*Nombre répertoriés*
Groupe électrogène	Société Privé	Gazole	6
Moteurs Indiens	Association des femmes/Privé	Gazole	42

Le prix du carburant dans ces villages varie de 600 à 700 francs CFA le litre en fonction de la distance qui sépare le village d'un centre ville le plus proche.

Des moteurs répertoriés, 87,5 % sont les Moteurs Indiens. Ce qui a orienté notre étude vers ce type de moteur diesel. D'ailleurs un catalogue pour moteurs diesels du cercle a été élaboré et se trouve en annexe 10.

4.2 POTENTIALITE DE LA DEMANDE EN HUILE

En répertoriant les moteurs diesels du cercle de Kita, nous nous sommes aussi intéressés à leurs consommations. Grâce à cela, nous avons évalué le potentiel en termes de besoins mensuels en huile de jatropha respectivement pour les groupes électrogènes et les moteurs indiens (Tableau 4-2). Pour plus de détail voir l'annexe 8.

Connaissant la consommation d'un moteur en gazole, son équivalent en huile de jatropha est obtenu en majorant celle du gazole de 10%.

Tableau 4-2: Potentiel de consommation en huile de Jatropha

Type moteurs Diesels	Groupes électrogènes	Moteur diesels
Consommations mensuelles (Litres)	**2500**	**3227**
TOTAL (Litres)	**5527**	

L'inventaire que nous venons d'effectuer, nous permet d'affirmer que les gestionnaires des PFM ou tout simplement des moteurs indiens (meuniers) constituent un marché potentiel pour la société JMI.

5 HUILE DE POURGHERE DANS LE MOTEUR DIESEL

La maîtrise de la technologie des moteurs est essentielles pour étudier les possibilités d'utilisation de l'huile comme carburant. C'est l'objet de ce chapitre, qui fera un point plus parti afin d'étudier la possibilité d'utiliser, l'huile de jatropha dans le moteur diesel, il importe de maîtriser la technologie de ce dernier. Ce sera l'objet de ce chapitre, on s'appesantira plus sur le cas particulier des moteurs indien et les avantages et inconvénients de l'huile de jatropha comme carburant seront présentés.

5.1 TECHNOLOGIE DU MOTEUR DIESEL

Le tout premier moteur Diesel date de 1897, 5 tonnes pour 20 chevaux pour 170 tr/min avec un rendement de 28%. Rodolphe DIESEL en est l'inventeur [10]. Basé sur le principe de fonctionnement du moteur à explosion à quatre temps à essence, le moteur diesel se distingue par le fait qu'au temps d'admission le moteur n'aspire que de l'air lorsque la soupape d'admission s'ouvre, contrairement au moteur à essence, qui lui aspire de l'air et de l'essence dans sa version carburateur. Au deuxième temps, l'air est comprimé, la pression peut atteindre 40 bars à 600°C [10]. En fin de compression, une charge de gazole est injectée à haute pression. La haute température régnant alors dans la chambre de combustion suffit pour provoquer l'auto inflammation du carburant. Le troisième et quatrième temps, qui sont respectivement la combustion et l'échappement, se déroulent identiquement à ceux de moteur quatre temps essence. Voir l'annexe 3 pour le principe de fonctionnement.

Selon le mode d'injection du combustible, les moteurs diesels se classent en deux catégories : les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte.

5.1.1 Moteurs à injection directe

L'injection directe, qui désigne tous les procédés ne comportant pas de fractionnement de la chambre de combustion (l'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre principale du cylindre).ce type de moteur équipe les tracteurs, les camions et de plus en plus les moteurs statiques. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les HVP. Alimentés avec

des huiles végétales non estérifiées, ces types de moteurs connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement [9].

5.1.2 Moteurs à injection indirecte

L'injection indirecte, regroupant les différentes solutions de chambres de combustion divisées (l'injecteur pulvérise le combustible dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion), les gaz rejoignant ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison. Ce type de moteur équipe les gros moteurs industriels et les automobiles. Ils sont les mieux adaptables au fonctionnement au HVP car fonctionnent à de haute température, 500°C, dès 10% de charge [8].

Les Figure 5-1 à gauche et Figure 5-1 à droite illustrent parfaitement les constitutions des chambres de combustion respectivement du moteur à injection indirecte et directe.

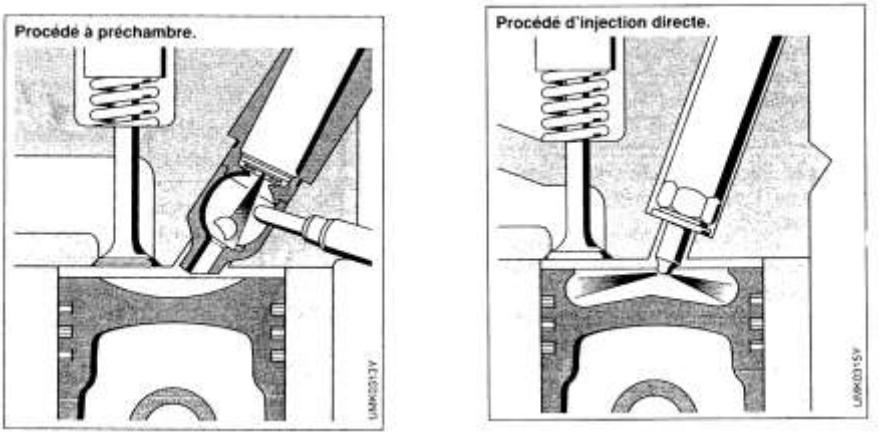


Figure 5-1: Injection indirecte à gauche et directe à droite

5.2 CAS PARTICULIER DES MOTEURS DITS INDIENS

- **Composition du moteur**

Le moteur indien est un moteur diesel à quatre (4) temps (Figure 5-2) et dont la composition est ci-dessous schématiquement donnée.

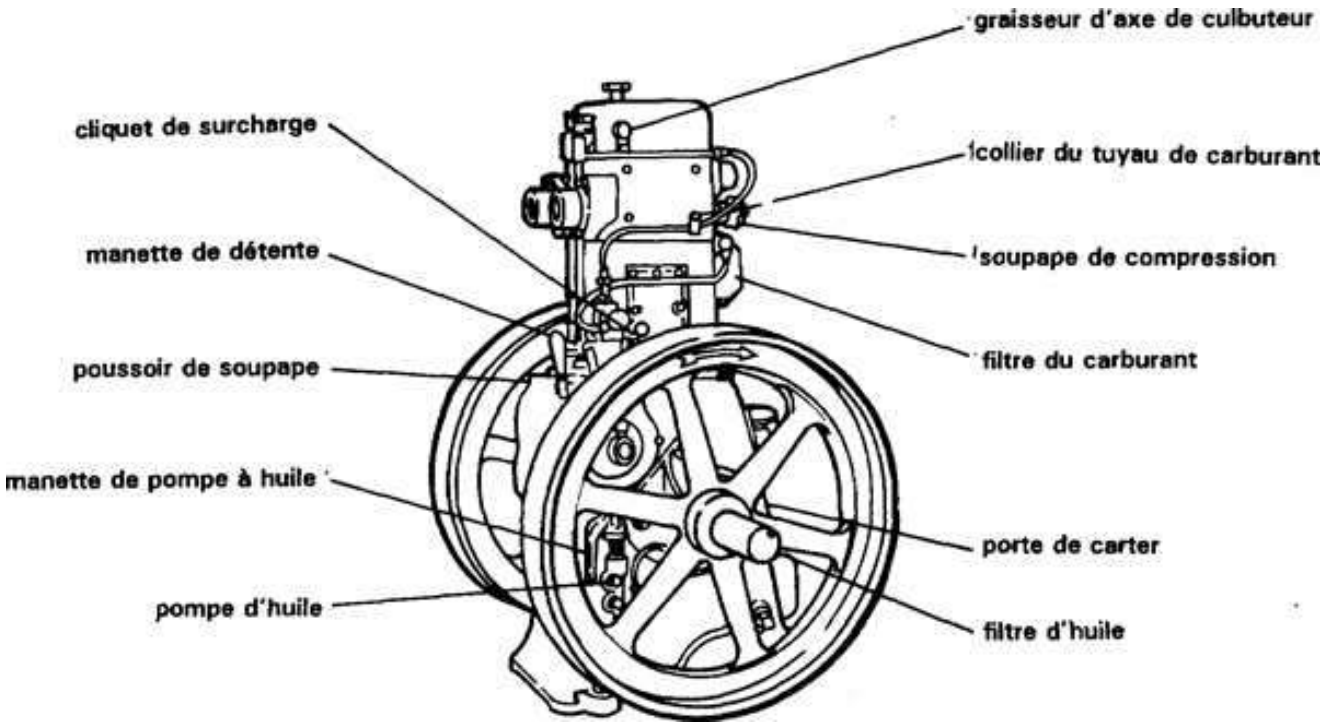


Figure 5-2: Composition d'un moteur indien [14]

Il existe deux types de moteurs : les moteurs avec système de refroidissement par eau et les moteurs avec système de refroidissement par air. Au Mali c'est le système de refroidissement par eau qui est bien connu vu la situation climatique du Mali. En outre ce moteur est à injection indirecte, il est monocylindre et les puissances varient de 6 à 10 CH. Des associations peuvent être faites pour avoir des puissances plus élevées.

- **Composition et schéma technique**

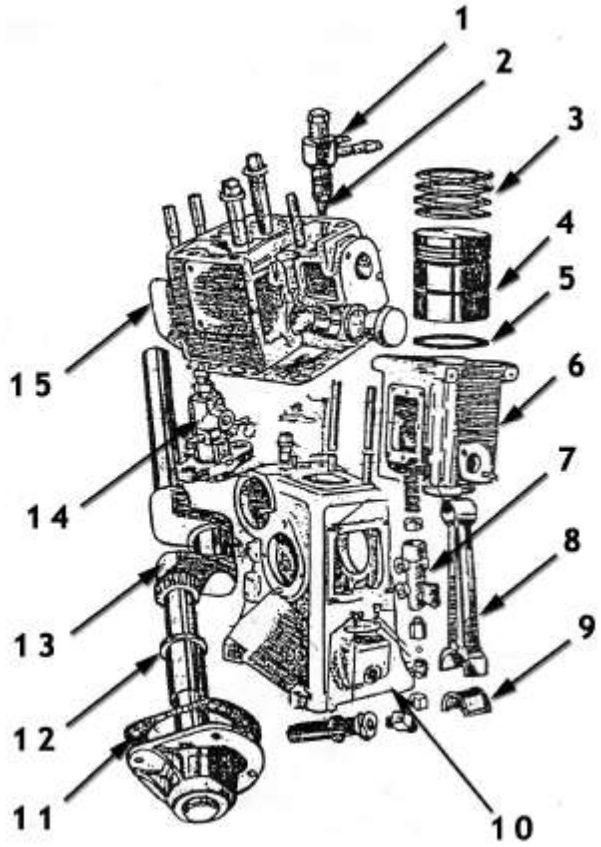


Figure 5-3: Différentes pièces d'un moteur Indien [14]

La Figure 5-3 illustre de manière détaillée les différents éléments qui composent un moteur indien et cela de façon standard. Il est composé de:

1 : Injecteur
2 : Nez d'injecteur
3 : Segment
4 : Piston
5 : Segment racleur
6 : Cylindre
7 : Pompe à huile
8 : Bielle
9 : Coussinet
10 : Carter
11 : Joint
12 : Bague
13 : Vilebrequin
14 : Pompe d'injection
15 : Culasse

Les machines couplées sur ce moteur peuvent être mécaniques ou électriques.

5.2.1 Les machines de connections mécanique

Le moteur peut de façon directe fournir des services à d'autres équipements de façon mécanique, il s'agit des moulins, des décortiqueuses (Figure 5-4). Ceux-ci sont directement liés au moteur grâce à une courroie. Malheureusement ses caractéristiques (Puissances…) ne sont pas toujours données ce qui demande des bancs moteurs pour en déterminer.

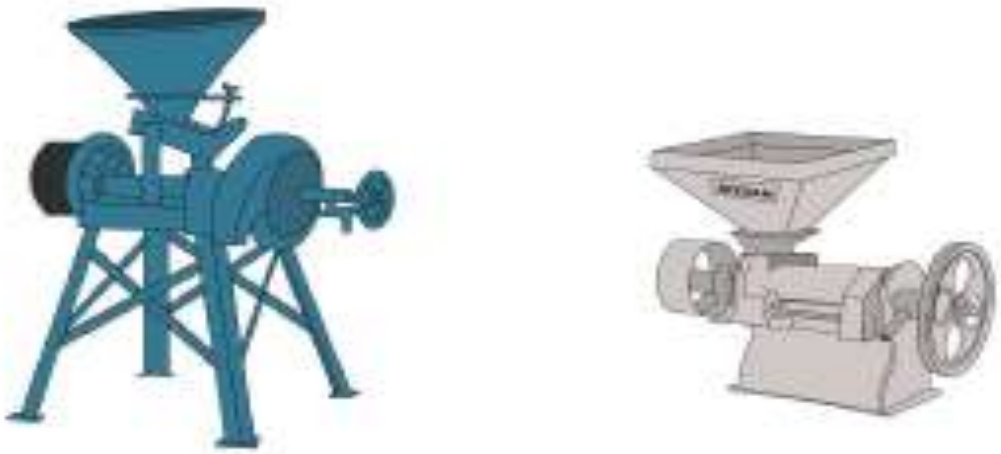


Figure 5-4: Appareils de connections mécaniques [14]

5.2.2 Les machines de connections électriques

Le moteur relié à un alternateur ou dynamos peut fournir d'électricité pour faire fonctionner d'autres équipements électriques, comme les réfrigérateurs (Figure 5-5), les postes de soudures, les postes de charge batteries autos. C'est un système complètement électrique il permet de faire aussi l'électrification rurale, la fourniture de l'électricité chez les clients. Ces derniers à leur tour peuvent avoir l'éclairage, regarder la télévision. Pour les centres de santé ce système peut permettre de faire la conservation des vaccins au froid.
Contrairement aux machines mécaniques, les machines électriques ont des plaques signalétiques sur les quelles on peut obtenir leurs caractéristiques et par conséquent déterminer aisément le taux de charge du moteur.

Figure 5-5: Appareils de connections électriques [14]

5.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UTILISATION DE L'HUILE DE JATROPHA COMME CARBURANT

Avantages

L'huile obtenue par simple pression à froid peut être directement utilisée dans les moteurs Diesels, leurs technologies seront décrites plus loin. L'utilisation des HVP comme carburant présente de nombreux avantages : pouvoir lubrifiant, teneur en soufre et en oxygène, biodégradable, renouvelable, et neutre en GES.

Inconvénients

La viscosité des huiles végétales est fonction de la nature des graines et est nettement plus élevée que la viscosité du gazole (entre 71 et 72 cts pour l'huile contre 4,5 pour le gazole, Tableau 2-3) à température ambiante. Cette viscosité élevée peut poser problème pour l'alimentation des moteurs diesels en carburant (pression à la pompe à injection, diamètre des durites trop petit) et à l'injection (taille des gouttelettes trop grosse, à l'origine d'une mauvaise combustion et donc d'imbrûlés à l'échappement).

Au niveau de l'injection, les cires et les phospholipides peuvent entraîner des problèmes d'encrassement des soupapes et de la chambre de combustion. De plus, l'huile a un pouvoir

décapant, ce qui peut être à l'origine du bouchage des filtres à carburant et d'attaques des joints et durites.

Enfin, il faut rappeler que, pour l'huile végétale, l'indice de cétane, indicateur de la capacité d'un fluide à l'auto inflammation, est plus faible que le gazole (entre 36 et 38 contre 52, Tableau 2-3). En conséquence, les délais d'inflammation peuvent être plus longs et la combustion incomplète [9]. Nos propos sont illustrés par les Figure 5-6 (gauche et droite).

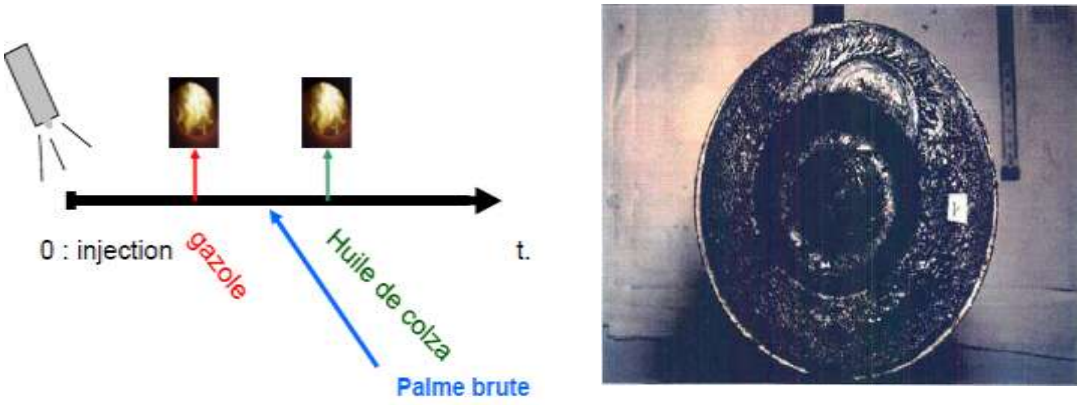


Figure 5-6: A gauche : Délai d'inflammation plus long et à droite : Dépôt d'encrassement

Dans cette situation, on arrive à des détériorations des segments, du cylindre….

Pour palier ces problèmes, la température à l'intérieur de la chambre de combustion doit être supérieure à 500°C [9]. Les Figure 5-7 (gauche et droite), de la page suivante, illustrent les résultats d'une température élevée dans la cambre de combustion.

Figure 5-7: A gauche: Délai d'inflammation identique. A droite: Pas d'encrassement

Dans ces conditions, on n'a pas de détériorations mécaniques et la bonne nouvelle est que, dans les moteurs diesels à injection indirecte (à l'instar des moteurs indiens), la température moyenne de la chambre de combustion est d'environ 500 à 600 °C dès 10 % de la puissance délivrée [9].

En outre des l'influences de la composition chimique des HVP que sont les délai d'inflammation et les mauvaises combustions (encrassements) si la température est inférieure à 500°C, dans la chambre de combustion, nous avons aussi des rejets en CO, NO_X et HC plus importants que ceux rejeté lors de la combustion du gazole (Figure 5-8 à gauche). En revanche ces rejets sont nettement améliorés lorsque la température est supérieure à 500°C [18] (Figure 5-8 à droite).

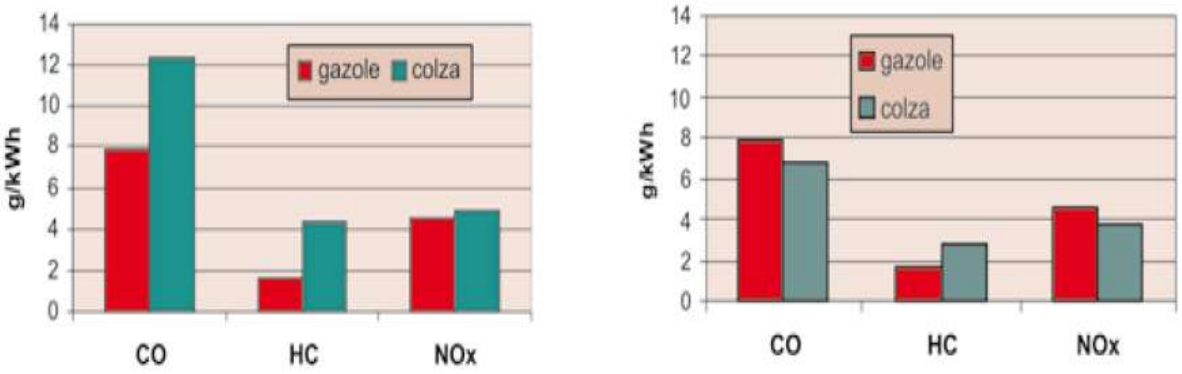


Figure 5-8: Gaz rejeté pour T<500°C (à gauche) et T>500°C (à droite)

6 SOLUTIONS POUR UTILISATION DES HVP COMME CARBURANT

6.1 GENERALITES

Bien que les HVP posent des problèmes entant que carburant, des solutions ont été développées: soit on adapte le moteur au carburant, soit on transforme le carburant pour qu'il puisse être utilisé dans un moteur diesel conventionnel. Plusieurs méthodes sont disponibles et se regroupe en trois modes que sont :

- Utilisation directe de l'HVP (Bi carburation) ;
- Les mélanges huile/gazole;
- La trans-estérification de l'HVP.

De ces solutions, nous retenons la première car nous voulons apporter une solution locale et qui permette de s'affranchir au maximum des produits pétroliers. La solution de mélange huile/gazole n'élimine pas la forte dépendance aux produits pétroliers et la trans-estérification est très onéreuse.

La bicarburation est un procédé qui a été mis en place et appliqué par le CIRAD sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes. Elle consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gazole [18]. Sur ce circuit, on trouve en série (Figure 6-1) :

- Un filtre à carburant adapté 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 moteur de fonctionner soit au gazole soit à l'HVP.

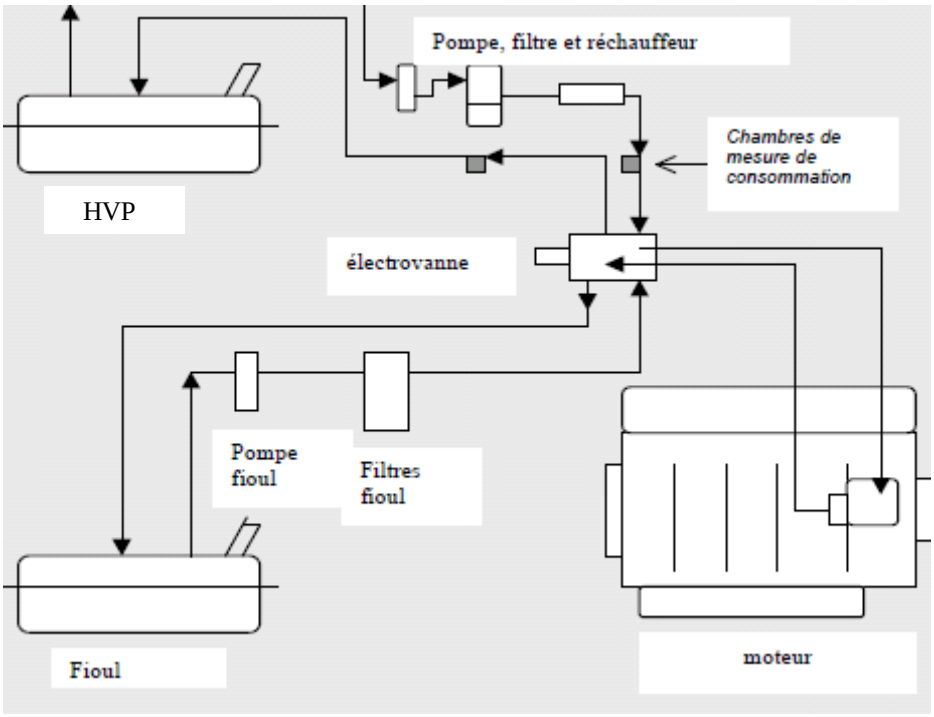


Figure 6-1: Principe de la bicarburation [18]

Dans la conception de notre kit de bicarburation, nous remplacerons le filtre adapté à L'HVP par un simple pré filtre, celui qui filtre le gazole dans les voitures Mercedes, les réservoirs seront haut situé pour favoriser la circulation par gravitation, l'électrovanne sera manuel et fabriqué à l'aide de vannes d'arrêts, té, mamelon et embouts. Pour le réchauffeur, nous allons exploiter la chaleur contenue dans les gaz d'échappement.

En effet, la viscosité de l'HVP est fortement dépendante de la température. Agarwa et al ont d'ailleurs montré dans une de leurs publications [4] que la viscosité de l'huile de jatropha diminuait remarquablement avec l'augmentation de la température (Figure 6-2) pour s'en approcher de celle gazole au voisinage de 90°C.

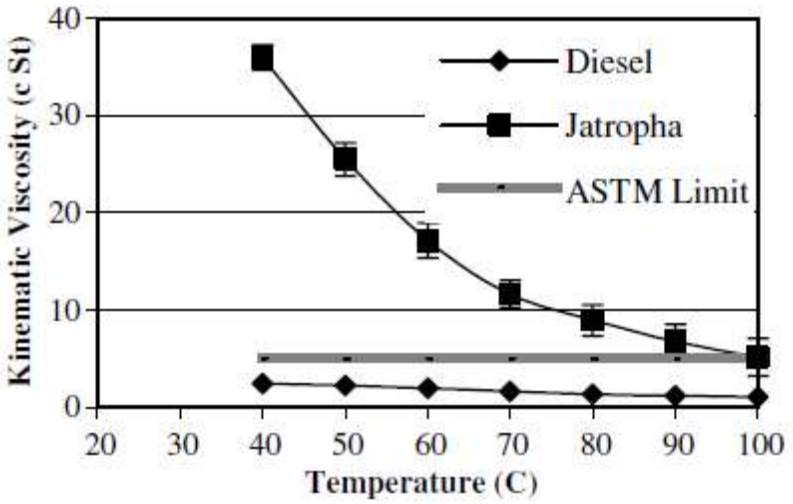


Figure 6-2: Effet de la température sur la viscosité de l'huile de jatropha [4]

Ceci étant, notre système de préchauffage sera dimensionné de manière à porter l'huile à une température de 100°C pour qu'elle puisse, en tenant compte des pertes, arriver à 80°C dans la chambre de combustion.

6.2 REALISATION D'UN KIT DE BI CARBURATION

6.2.1 Conception

Des différentes solutions possibles d'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs diesels, nous avons retenu la bicarburation pour les moteurs diesels « moteurs indiens » du cercle de Kita. Nous avons donc proposé un ensemble de systèmes simpliste constitué de :

- Réservoirs ;
- Pré- filtre ;
- Préchauffage ;
- Basculement.

Au système de réservoirs existant, nous avons ajouté un réservoir supplémentaire qui contiendra l'huile, le système de pré filtre est constitué de deux (2) filtres, les filtres gazoles de la Mercedes, placé à la sortie de chaque réservoir.

L'un des systèmes qui n'est le moindre est le système de chauffage, son dimensionnement est donné plus loin. Le dernier système est celui du basculement gazole/huile. La Figure 6-3 et la Figure 6-4 schématisent de manière synoptique, respectivement le moteur indien sans

adaptation et avec adaptation. L'adaptation consistant uniquement à l'ajout du kit de bicarburation précédemment décrit.

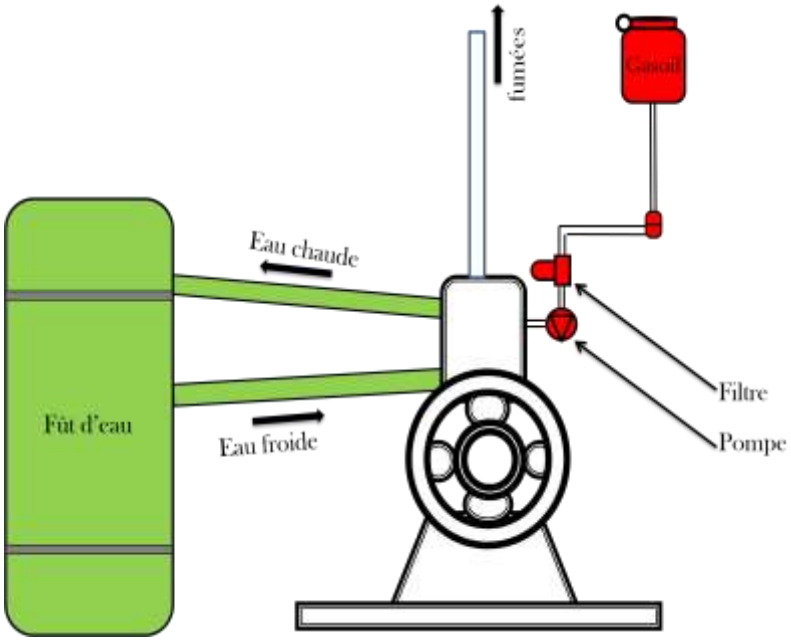


Figure 6-3: Moteur Indien sans adaptation

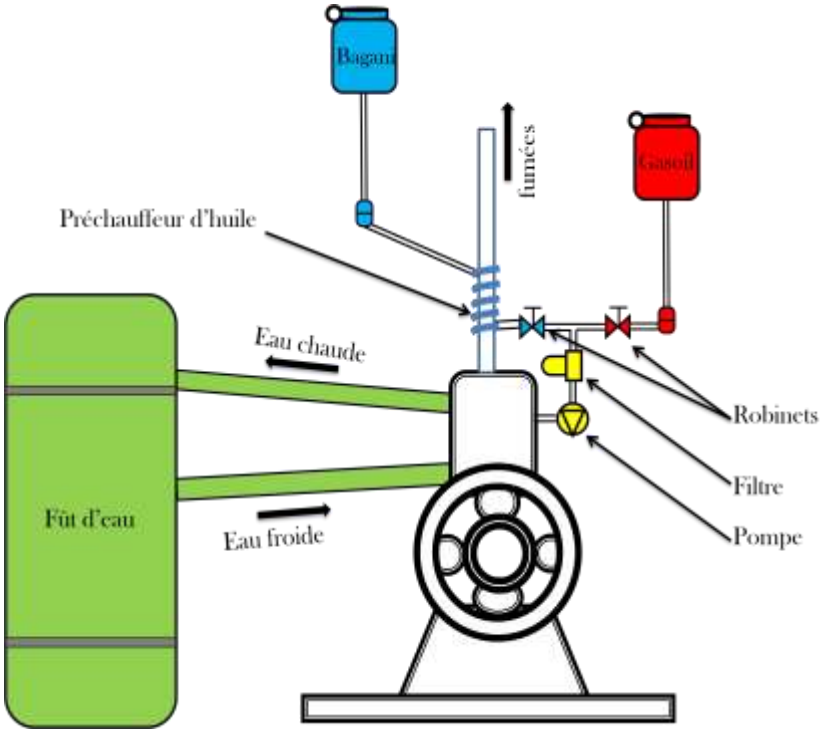


Figure 6-4: Moteur Indien avec adaptation

6.2.2 Réalisation

Quant à la réalisation, nous avons conçu une fiche très simpliste et assez illustrée : chaque système se réalise donc comme suit :

a- Système de réservoirs

Ce système est constitué de deux bidons de 5 Litres chacun (Figure 6-5). L'un contiendra le gazole et l'autre l'huile de jatropha. Les deux réservoirs sont percés d'un trou pour adapter le raccord à l'aide des valves des chambres à air des motos.

Figure 6-5: Système de réservoirs

b- Système de pré filtres

Constitué de (2) deux filtres de gazole (Figure 6-6), équipant les Mercedes, ils sont placés à la sortie des réservoirs des carburants assurant ainsi un premier filtre de ces derniers.

Figure 6-6: Système de pré filtres

c- Système de préchauffage

L'idée est d'équiper le moteur d'un système de préchauffage. En effet on peut :

- Installer une résistance électrique ;
- Exploiter la chaleur de l'eau de refroidissement ;
- Exploiter la chaleur des gaz d'échappement.

La première idée nécessitant de l'énergie électrique a été abandonnée, la seconde aussi car nécessitait un peu d'investissement pour acheter un échangeur à plaques. La dernière a été retenue vu sa simplicité de réalisation et son faible coût ; en effet le tube galvanisé étant facilement maniable et résistant à des hautes températures (Température de fusion supérieure à 1000°C [15]) est enroulé, dans les premiers centimètres du tuyau d'échappement, en un certain nombre de spires suffisant pour atteindre le résultat escompté (Figure 6-7).

Figure 6-7: Système de préchauffage

Ce système, dont le but est de préchauffer l'huile de jatropha est dimensionné pour permettre à l'huile d'atteindre 100°C, afin de diminuer sa viscosité pour soulager la pompe d'injection, éviter le colmatage du filtre à gazole et améliorer sa pulvérisation dans la chambre de combustion.

Dans le souci de limiter les pertes de chaleur par l'huile de jatropha dans les parties exposées (durites situées respectivement entre le système de préchauffage et le système de basculement, entre ce dernier et le filtre à gazole) seront isolées à l'aide de l'armoflexe (Figure 6-8).

Figure 6-8 : Isolation des durites

d- Système de basculement

Ce système, qui joue le rôle d'une électrovanne, permet au conducteur du moteur de l'alimenter soit en gazole soit en huile de jatropha. Il est constitué de deux vannes d'arrêt, trois embouts, un mamelon et un tube en té (Figure 6-9). A l'aide d'un petit support, ce système est fixé sur le moteur, tout près du filtre à gazole.

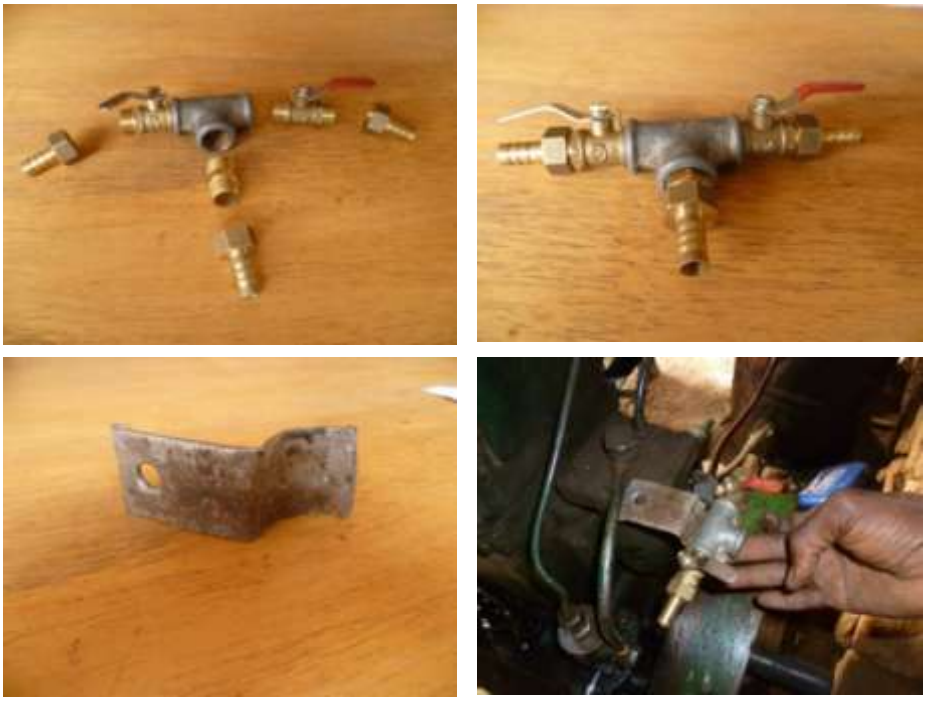


Figure 6-9: Système de basculement

6.2.3 Coût de Kit

Le prix du Kit en entier et des pièces entrant dans sa réalisation, sur le marché de Kita et celui de Dibida à Bamako, sont donné par le tableau suivant :

Tableau 6-1:Prix des pièces du Kit de bicarburation

DESIGNATION	QUANTITE	Prix Unitaire	Montant	Réf
Bidon de 5 L	2	1500	3000	Quincaillerie TOULOBA Marché de Kita & Marché de Dibida Bko
Durite 8 mm	2 m	500	1000	
Tuyau galvanisé 8mm	1 m	1500	1500	
Filtre gazole Mercedes	2	600	1200	
Colliers	15	100	1500	
Vanne d'arrêt 3/8	2	2000	4000	
Mamelon 3/8	1	1000	1000	
Embout 3/8	3	1000	3000	
Té 3/8	1	300	300	
Téflon	1	250	250	
Support+vise	1	500	500	
TOTAL (CFA)			**17 250**	

6.3 INSTALLATION DU KIT SUR UN MOTEUR INDIEN

La photo suivante est celle d'un moteur indien équipé du kit de bicarburation.

7 TESTS ET EXPERIMENTATIONS

Ce chapitre est consacré à tout ce qui concerne les tests et expérimentations effectués tout au long de notre travail. Le matériel et les méthodes de mesure seront présentés ensuite les résultats seront commentés.

7.1 MATERIEL ET METHODES

7.1.1 Matériel

Pour la réalisation des tests et mesures nous avons eu recours à la liste de matériel suivante :

- Un moteur diesel (moteur indien) ;
- Un moulin ;
- Une sonde de thermocouple pour les prises dans les courants de fluide ;
- Une sonde de thermocouple pour les prises de température surfacique ;
- Un tachymètre manuel ;
- Un chronomètre.

Figure 7-1: Tachymètre à gauche et Sondes Thermocouple à droite

Le moteur indien ayant servi de tests (Figure 7-2) est un moteur diesel monocylindre, le cycle est à 4 temps, il est refroidi à l'eau et l'injection est indirecte. La pompe d'injection de ce moteur est de marque USHA et sa référence est : UP IB 80 2002. En annexe vous trouverez le rythme de fonctionnement détaillé (jours, heures de marche, consommation carburant…)

Figure 7-2: Moteur indien

La plaque signalétique dudit moteur nous fournit, en outre, les spécifications suivantes :

Tableau 7-1: Spécifications du Moteur

Spécifications	valeurs
BHP	8
RPM	850
SR .N°	459/8/06
Type	Vertical

7.1.2 Mesure des températures

Nous avons mesuré, à l'aide de sonde thermocouple type K (Figure 7-1 à droite), les températures d'échappement à vide et en charge. Ces mesures vont s'effectuer sur un orifice pratique sur le collecteur des gaz d'échappement et le plus près possible de la chambre de combustion à environ 6 cm de la culasse [2]. En outre la température de surface du tuyau d'échappement sera prise à l'aide d'une sonde de surface, la zone concernée est constituée par les premiers centimètres du tuyau d'échappement, nous l'appellerons plus loin température de consigne.

7.1.3 Mesure des vitesses de rotation de l'arbre à came du moteur

Moyennant le tachymètre manuel (Figure 7-1 à gauche), nous avons mesuré les vitesses de rotation de l'arbre à came du moteur. Ces mesures se feront à vide et en charge du moteur.

7.1.4 Mesure des temps de basculement

Deux temps ont été mesurés, le premier, celui nécessaire pour basculer à l'huile de jatropha après le démarrage, le second temps, celui nécessaire pour rebasculer au gazole dans le souci d'effectuer le rinçage du circuit juste avant l'arrêt du moteur.

Afin de déterminer le premier temps, nous chronométrons simplement le temps nécessaire pour que le tuyau d'échappement soit assez chaud. Le second temps quant à lui est déterminé par la mesure du temps mis par le l'huile de jatropha, pendant le fonctionnement, pour remplir le filtre de gazole et aller à la pompe d'injection puis à l'injecteur. Pour ce faire, l'observation porte sur la nature du carburant dans le circuit de retour. De cette manière nous sommes totalement sûr que le circuit est parfaitement rincé. Pour minimiser ce temps, nous avons optimisé le circuit d'alimentation à la sortie du filtre de gazole.

7.1.5 Détermination du débit volumique de l'huile de jatropha

Ce débit nous permettra de calculer la quantité d'énergie nécessaire pour faire passer notre huile de la température ambiante à la température de consigne d'une part et la consommation horaire d'autre part.

Le réservoir de l'huile de jatropha étant gradué, on chronomètre simplement le temps nécessaire pour la consommation d'un volume bien déterminé de l'huile de jatropha pour calculer le débit volumique.

Le débit massique est quant à lui évalué moyennant la relation suivante :

$$\dot{m}_{pourghère} = \rho_{pourghère} \times Q_{pourghère}$$

$$\text{Où } \begin{cases} \dot{m}_{pourghère}: & débit\ massique\ \ en\ \ kg/s \\ \rho_{pourghère}: & masse\ volumique\ \ en\ \ kg/m^3 \\ Q_{pourghère}: & débit\ volumique\ \ en\ \ m^3/s \end{cases}$$

La quantité d'énergie quant à elle est évaluée par la relation suivante :

$$\boldsymbol{E = \dot{m}_{pourghère} \times c_p \times (T_{consigne} - T_{ambiante\ de\ l'huile})}$$

7.1.6 Détermination de la consommation spécifique

C'est une caractéristique importante pour un moteur, elle représente la consommation de carburant par unité de puissance et de temps. Une simulation sera faite sur Excel pour son évaluation. En s'inspirant des travaux de Barthelemy De Theux [3], les rendements du moteur seront empiriquement fixés respectivement à 29% en fonctionnement au Gazole et 27% à huile de jatropha vu la courroie de transmission de notre mpteur indien.

7.1.7 Qualité de combustion dans le moteur : Procédure de l'expérimentation

Les étapes consécutives sont les suivantes :

Etape 1 : démonter la culasse, l'injecteur puis nettoyer les soupapes, le nez d'injecteur et la tête de piston. Le nettoyage se fait à l'aide d'une brosse.

Etape 2 : faire fonctionner le moteur uniquement au gazole, pendant 30 h puis reprendre l'étape 1.

Etape 3 : faire fonctionner le moteur à l'huile de jatropha pendant 30h aussi et reprendre l'étape 1.

Une comparaison des clichés photographiques des étapes 2 et 3 permettra d'apprécier le fonctionnement au gazole et à l'huile de jatropha.

7.2 RESULTATS ET DISCUSSION

7.2.1 Températures

Tableau 7-2: Températures d'échappements

Température d'échappement	A vide	En charge
Fonctionnement au Gazole	150-230 °C	435 °C
Fonctionnement à l'HVP	150-230 °C	430 °C

Le tableau ci-dessus montre qu'à vide, les températures d'échappement oscillent entre 150°C et 230 °C quelque soit le carburant. Lorsque le moteur est chargé, les fumées d'échappement voient leurs valeurs de températures doubler. Un excédant de 5°C est cependant noté pour le fonctionnement au Gazole, ceci s'expliquerai par une différence de puissance mécanique délivré à la sortie du moulin. En effet à puissance égale (taux de charge égale) les températures d'échappement sont plus élevées lors du fonctionnement avec l'huile de jatropha [2], [3].

7.2.2 Vitesse de l'arbre à came

Tableau 7-3: Vitesse de rotation de l'arbre à came

Fonctionnement	A vide	En charge
Au gazole	~700 tr/min	400-500 tr/min
A l'HVP	650 tr/min	400-500 tr/min

Une observation première est que, à vide, le moteur fait moins de tours que mentionné sur la plaque signalétique, apriori ce n'est pas un problème. Lorsque le moteur est chargé, comme de coutume, l'arbre à came ne fait plus que 560 tr/min. la mesure des températures des gaz d'échappement nous permettra de déterminer le taux ce charge correspondant.

7.2.3 Les temps de basculement

Une fois le démarrage du moteur effectué, une moyenne de temps de 2 minutes pour que le tuyau d'échappement atteigne 140°C et l'huile 95°C. Donc le temps optimal pour le basculement le fonctionnement à l'huile de jatropha est de 2 minutes. Quant au temps de rinçage du circuit, le temps nécessaire à l'huile de jatropha pour remplir le filtre de gazole et être observé au niveau du circuit de retour est de 6 minutes. Pour plus de sécurité, nous

conseillons 10 minutes de fonctionnement au gazole avant l'arrêt du moteur. Ces dix minutes correspondent à la mouture de deux calebasses de graine Karité.

7.2.4 Débits de l'huile de jatropha

Tableau 7-4: Détermination des débits volumiques et massique

Essaies N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
tps (min)	9,00	10,00	10,00	8,00	15,00	29,00
Volume (L)	0,109	0,109	0,109	0,109	0,217	0,435
débit (L/min)	0,012	0,011	0,011	0,014	0,014	0,015
débit massique (g/s)			0,20			

7.2.5 Consommation spécifique des carburants

Tableau 7-5:Simulation de la puissance délivrée, du taux de charge et de la CSE

Puissance délivrée, taux de charge et consommation spécifique du moteur (Mode: Gazole)			
		Valeurs	Unités
Puissance de Moteur	:	5,9	kW
consommation horaire	:	1,20	L
PCI	:	44 749	kJ/kg
Masse volumique	:	0,854	kg/L
Rendement	:	29	%
Energie chimique horaire	:	**45 859**	kJ
Puissance horaire délivrée:		**3,69**	kWh
Taux de charge Moteur	:	**62,61**	%
Conso. Spécifique	:	**0,277**	kg/kWh

Puissance délivrée, taux de charge et consommation spécifique du moteur (Mode: HVP)			
		Valeurs	Unités
Puissance de Moteur	:	5,9	kW
consommation horaire	:	0,78	L
PCI	:	37 600	kJ/kg
Masse volumique	:	0,910	kg/L
Rendement	:	27	%
Energie chimique horaire	:	**26 688**	kJ
Puissance horaire délivrée:		**2,00**	kWh
Taux de charge Moteur	:	**33,93**	%
Conso. Spécifique	:	**0,355**	kg/kWh

Cette simulation montre que la CSE est plus importante lorsque le moteur fonctionne à l'huile de jatropha. Ce résultat est confirmé par les travaux de Gilles Vaïtilingom [8] ainsi que d'Agarwal et al [1] et Barthelemy De Theux [3]. La consommation spécifique élevée, lors du fonctionnement avec l'huile de jatropha, (25% de plus que la CSE lors du fonctionnement avec le gazole) s'expliquerai par la perte de puissance (environ 49%) enregistrée lors du fonctionnement à l'huile de jatropha.

Les applications du moteur étant la mouture des céréales et non la production d'électricité, on croirait consommer moins (0,78L/h d'huile de Jatropha contre 1,2L/h pour le gazole).

7.2.6 Qualité de combustion dans le moteur

Avant de débuter le fonctionnement au gazole et à l'huile de jatropha, le nez d'injecteur, les soupapes et la tête d'injection étaient soigneusement nettoyés (Figure 7-3). A l'issue des 30 h de fonctionnement avec les deux carburants, la qualité de combustion dans le moteur passe par une comparaison de l'encrassement du moteur.

Figure 7-3: Nez d'injecteur, Soupapes et Tête de piston néttoyés

a) Comparaison des Nez d'injecteurs

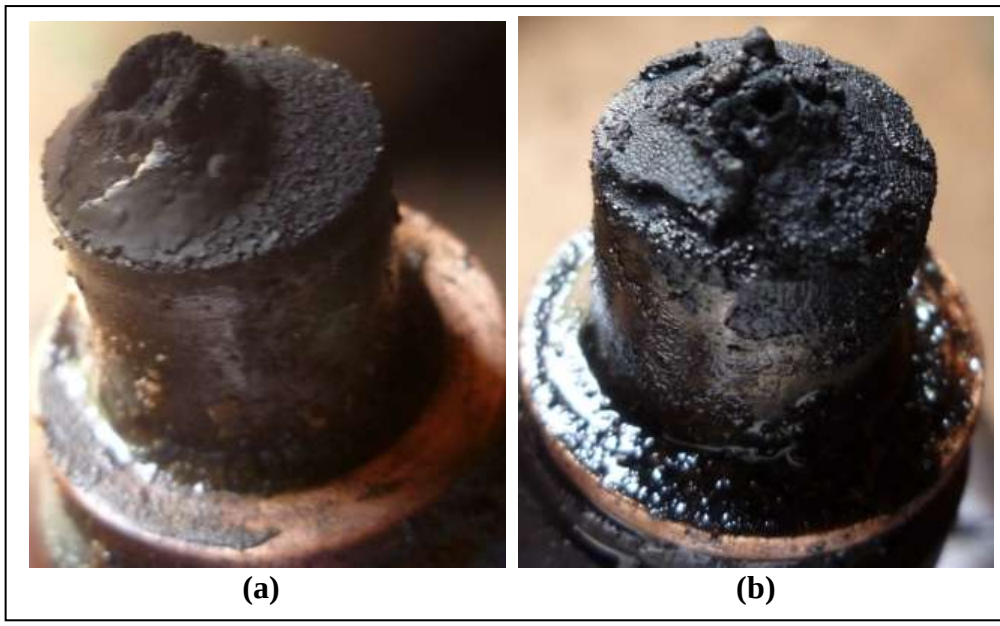


Figure 7-4: Nez d'injecteurs (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha

On observe un dépôt de calamine sur les injecteurs (a) et (b). Ces dépôts sont assez épais en (a) et (b). Les abords des trous d'injections sont différents ; l'ouverture est comme un cratère ouvert en (a) et conique en (b). La calamine de l'injecteur (b) c'est révélé plus solide et compacte au nettoyage. Que se soit au gazole ou à l'huile de jatropha, on assiste à un dépôt de calamine sur le nez d'injecteur.

b) Comparaison des Soupapes

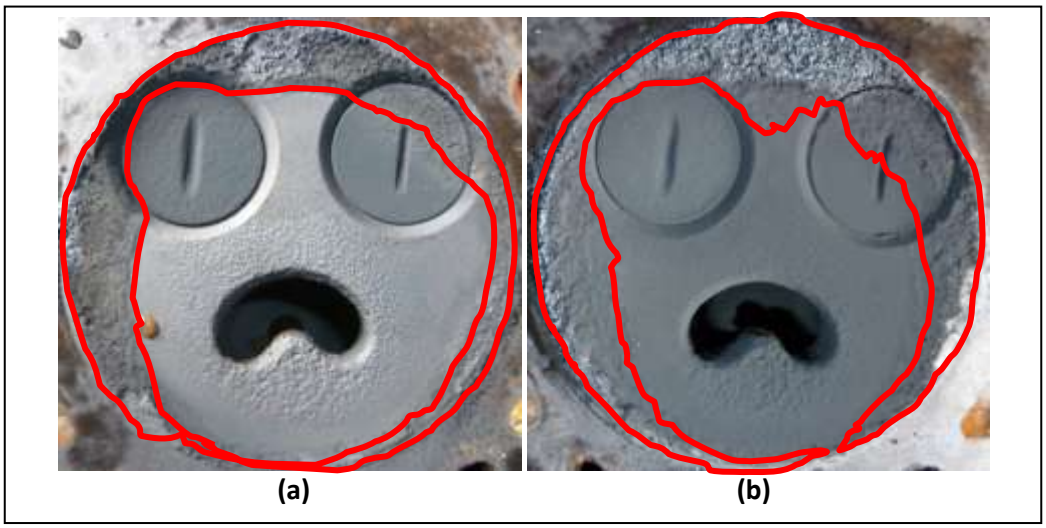


Figure 7-5:Soupapes (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha

On constate ici, l'existence d'une zone privilégiée par l'encrassement. Cette zone est quasi identique en (a) et (b), le niveau d'encrassement étant plus caractéristique et un peu plus rependu en (b). Tout comme au niveau de l'injecteur, la calamine présente sur les soupapes (b) s'est révélée plus compacte au nettoyage Le fonctionnement à l'huile de jatropha entraine donc un encrassement légèrement plus important au niveau des soupapes.

c) Comparaison des Têtes de piston

(a) **(b)**

Figure 7-6: Tête de piston (a): Fonctionnement au gazole ; (b): Fonctionnement à l'huile de Jatropha

Sur la tête de piston, on observe un dépôt de calamine plus net et qui couvre toute la surface de la tête de piston en (b). Pareillement aux précédents la calamine présente en (b) s'est avérée plus compacte au nettoyage.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre travail a consisté à étudier la possibilité d'utiliser l'huile de jatropha dans les moteurs diesels du cercle de Kita. L'inventaire des moteurs dans le Cercle de Kita a permis de montrer qu'ils sont répartis en deux grands types : les moteurs indiens (les plus nombreux) et les groupes électrogènes (moins nombreux mais à conso plus grande). Cela représente in fine un potentiel de plus de 60 000 l d'huile par an pour JMI, simplement au niveau local. La deuxième partie du stage a consisté à apporter des réponses techniques convaincantes pour l'utilisation de l'huile dans les moteurs indiens, les plus nombreux. Un système de bicarburation a été conçu, réalisé et monté sur un moteur indien ; des essais de 60 heures (30 h au gazole et 30 à l'huile de jatropha) ont permis d'évaluer les CSE (355 g/kWh à l'huile de jatropha et 277 g/kWh au gazole), de montrer que les niveaux d'encrassement sont peu différent, les températures des gaz d'échappement sont supérieures à 400°C ce qui garanti une bonne combustion dans la chambre de combustion. Ces essais se sont terminés par la réalisation de fiches simples et pratiques pour la fabrication, le montage et l'utilisation du kit de bicarburation. Ainsi, une solution pouvant être produite localement à un prix raisonnable de 17250 FCFA a été apportée, qui permettra l'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs indiens en toute sécurité.

Ce stage m'a donc permit de proposer une solution technique pour l'utilisation de l'huile de jatropha par les meuniers locaux du Cercle de Kita ce qui à permis d'une part de sécuriser l'atteinte du marché par JMI et d'autre par d'augmenter le revenu des meuniers.

Les tests d'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs indiens ont été un succès, le propriétaire du moulin est convaincu de la technique (kit de bicarburation) ainsi que les meuniers des autres villages et communes qui ont assisté à une séance de démonstration en présence d'une radio locale. Avec l'inventaire des moteurs diesels du cercle de Kita, fait au chapitre 4, Ce travail permettra donc à JMI d'atteindre se nouveau marché de manière sécurisé et de créer un nouveau marché : celui de la fabrication des kits de bicarburation.

Le prochain niveau, c'est l'utilisation de l'huile dans les groupes électrogènes, plus gros et plus complexes. Les solutions techniques ne pouvaient être apportées dans un stage de quatre

(4) mois. Pour autant, j'ai participé à l'élaboration d'un protocole entre JMI, SOGEP, 2iE, MAM et CIRAD. L'objetif du protocole étant de tester la possibilité d'utiliser, dans des conditions définies plus loin, l'huile de jatropha dans les moteurs diesel de marque Perkins, détenus par la SOGEP. Ce dernier et les autres ayant des engagements bien définis. Ainsi l'avenir est d'ores et déjà en préparation.

Références bibliographiques

[1] : Agarwal, A.K. and K. Rajamanoharan, *Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural.* Applied Energy, 2009. **86**(1): p. 106-112.

[2]: Adoum, Conception et caractérsation d'un Kit de bicarburation. Mémoire 2iE Ouagadougou (P 34)

[3]: Barthelemy De Theux, Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel, Travaux de fin d'étude année académique 2003/2004

[4]: Deepak Agarwal, Avinash Kumar Agarwal. Performance and emissions characteristics of jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine. 2007, Vol. 27, pp. 2314–2323.

[5] : Eco-Carbone, Présentation de JMI au séminaire biocarburants, Ouaga, novembre 2009

[6]: Gilles Vaïtilingom. Patrick Rousset, Séminaire franco-brézilien sur le bio diesel, juillet 2005.

[7]: Gilles Deschepper, RAPPORT D'ESSAIS Essais comparatifs de deux moteurs diesels, l'un alimenté à l'huile de palme et l'autre, au gazole.

[8]: Gilles Vaitilingom,. Utilisations énergétiques de l'huile de coton. Cahiers Agricultures. 2006, Vol. 15, pp. 144-149.

[9]: Gilles Vaitilingom, conférence internationale "Enjeux et perspectives des Biocarburants pour l'Afrique" Ouagadougou, Burkina Faso, 27-29 novembre 2007

[10]: Jean-Luc Pallas, Guide pratique d'entretien et de réparation des Moteurs Diesel. Edition Lorsirs Nautiques

[11]: Kaboré Madi, Extraction et conditionnement des huiles végétales carburant-Formation EDULINK, Avril 2010

[12]: Knothe, G., R.O. Dunn, and M.O. Bagby. *Biodiesel:The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels*. 2003

[13]: KPLE Melhyas, Impacts de la substitution d'une proportion des hydrocarbures par du biocarburant dans les industries énergétiques au Mali. Mémoire ENI-Bko (P 37). Avril 2009

[14]: Mahamadou K Diarra, Ibrahim Sory Diarra et Mohamed Sidibé, Guide pratique, Modèle d'appui pour la création de nouvelle unité de service énergétique : Usage du Moteur Indien pour le service électrique et charge de batteries. Février 2009

[15] : Microsoft Encarta 2009. 1993-2008 Microsoft Corporation.

[16] : Murugesan, A., et al., *Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008.

[17]: Pierre-Jean Borniche, la qualité des huiles végétales carburant. –juin 2005

[18]: Patrick Rousset, Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales

[19]: Reinhard K. Henning et Tianasoa Ramorafeno, Le Manuel jatropha : Un guide pour l'exploitation intégrée de la plante jatropha à Madagascar

[20] : Sidibé SS et al. Use of crude filtered vegetable oil as fuel in diesel engine State of the art: review. Renew Sustain Energy Rev (2010)

[21] : Sidibé et J. Blin, Huiles végétales pures comme carburant dans le moteur diesel Etat de connaissance, Journée scientifique 2iE (2009)

[22]: Sayon Sidibé, Combustion des huiles végétales dans les moteurs et chaudières-Formation EDULINK, Avril 2010

[23] : UEMOA-CEDEAO, Livre Blanc pour une Politique Régionale sur l'accès au Services Energétiques, janvier 2006

[24]: United Nation Development Programme UNDP. Promotion of the use of jatropha oil as sustainable biobuel in Mali, Mali Juillet 2010

Sites internet

[25] : www.alterenergies.org consulté le 15 juin 2010

[26] : www.codeart.org consulté le 20 juin 2010

ANNEXE

Annexe 1 : Prénorme sur les HVP carburant

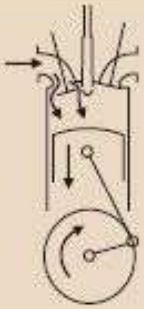
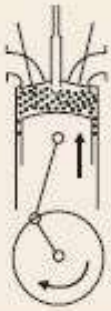
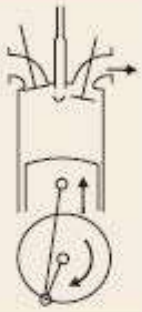
Propriétés/teneurs	unités	Min	Max	Méthode d'analyse
Propriétés caracteristiques de l'huile de colza				
Densité(15°C)	Kg/m^3	900,0	930,0	DIN EN ISO 3675 / DIN EN ISO 12185
Point éclair	°C	200,0	-	DIN EN 2719
viscosité cinématique à 40°C	mm^2/s	-	36,0	DIN EN ISO 3104
Pouvoir calorifique	kJ/kg	36.000	-	DIN 51900-1,-2,-3
Indice de cetane	-	39	-	-
carbone résiduel	%	-	0,40	DIN EN ISO 10370
Indice d' iode	g /100g	95	125	DIN EN 14111
Teneur en soufre	mg/kg	-	10	DIN EN ISO 20884 / DIN EN ISO 20846
Propriétés variables de l'huile de colza				
Teneur en particules	mg/kg	-	24	DIN EN 12662
Acidité	mg KOH/g	-	2,0	DIN EN 14104
Stabilité à l'oxydation (110 °C)	h	6,0	-	DIN EN 14112
Teneur en phosphore	mg/kg	-	12	DIN EN 14107
Teneur en calcium et magnésium	mg/kg	-	20	DIN EN 14538
Teneur en cendres	%	-	0,01	DIN EN ISO 6245
Teneur en eau	%	-	0,075	DIN EN ISO 12937

Pour le **Tournesol** (et à fortiori pour le Colza), on ajoutera à la norme le critère des **cires cristallisables et non cristallisables**. La méthode d'analyse la plus précise pour déterminer le taux de cires est la chromatographie en phase gazeuse (celles gravimétriques ou turbidimétriques comme le *Cold-test* ne sont pas assez précises, surtout pour les faibles teneurs). Un bon décirage de l'huile (par wintérisation), avec ou sans décorticage des graines avant trituration, permet d'obtenir des seuils inférieurs à 100 ppm. Cette valeur pourrait donc être prise comme étalon, mais le seuil adéquat en combustion dans un moteur reste à définir par des expérimentations.

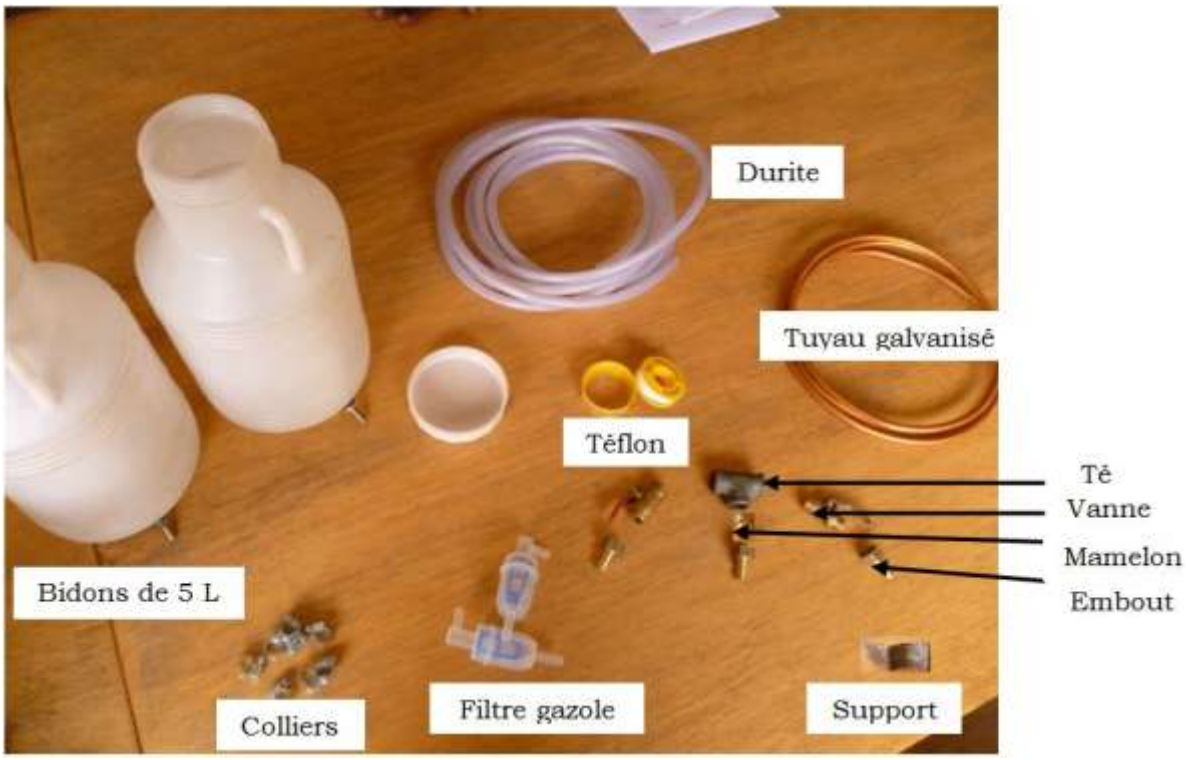
Annexe 2 : Cahier de fonctionnement du moteur durant les expériences

Carburant	Dates	Heures de démarrages	Heures de fins	Conso	Total heures	Total conso
Gazole	25-07-2010	15h42	16h30	1 L	28,8	32 L
	28-07-2010	21h10	23h29	2 L		
	29-07-2020	17h28	20h55	3 L		
	30-07-2010	06h32	07h36	5 L		
		16h57	19h55			
		20h32	20h50			
	31-07-2010	08h03	10h55	10 L		
		12h27	14h20			
		20h00	00h02			
	01-08-2010	16h11	17h45	2 L		
	06-08-2010	16h54	17h12	5 L		
		20h44	23h55			
	04-08-2010	00h28	04h32	4 L		
Huile jatropha	06/08/2010	15h45	18h20	4 L	32	25 L
		23h00	01h55			
	07/08/2010	13h50	20h20	5 L		
	08/08/2010	06h10	09h10	5 L		
	11/08/2010	20h00	23h40			
	12/08/2010	15h20	20h30	4 L		
	13/08/2010	16h10	19h20	2 L		
	14/08/2010	15h25	20h30	5 L		

Annexe 3 : Fonctionnement du moteur selon le principe du cycle à 4 temps

Couse 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.	
quatre temps du P.M.B. au P.M.H.	Echappement	évacuation des gaz brûlés	

Annexe 4 : Fiche de conception du KIT



Matériel	QUANTITE
Bidon de 5 L	2
Durite 8 mm	2 m
Tuyau galvanisé 8mm	1 m
Filtre gazole Mercedes	2
Colliers	15
Vanne d'arrêt 3/8	2
Mamelon 3/8	1
Embout 3/8	3
Té 3/8	1
Téflon	1
Support+vise	1

Annexe 5 : Fiche d'installation du KIT

Une fois le matériel rassemblé, le kit se monte suivant les étapes suivantes :

- Fixage du système de basculement

Le Té est soudé sur le support puis les vannes et embouts montés le tout est visé sur la vise gauche supérieur du filtre de gazole.

- Montage des réservoirs

Les deux réservoirs, équipé chacun de son pré-filtre et différenciés par des écriteaux (GAZOLE pour le réservoir de gazole et BAGANI pour le réservoir d'huile de jatropha) sont accrochés, moyennant des cordes, au dessus du moteur.

- Montage du

système de chauffage

1,5 m de tuyau de cuivre, 8mm de diamètre, est soigneusement enroulé sur les premiers centimètres du tuyau d'échappement de manière à constituer 9 spires. Pensez à aménager à chacune des extrémités 15 cm pour les connections aux durites.

- Faites les raccords

Utilisez les durites avec les colliers pour réaliser les raccords.

Annexe 6 : Fiche d'utilisation du moteur équipé du Kit

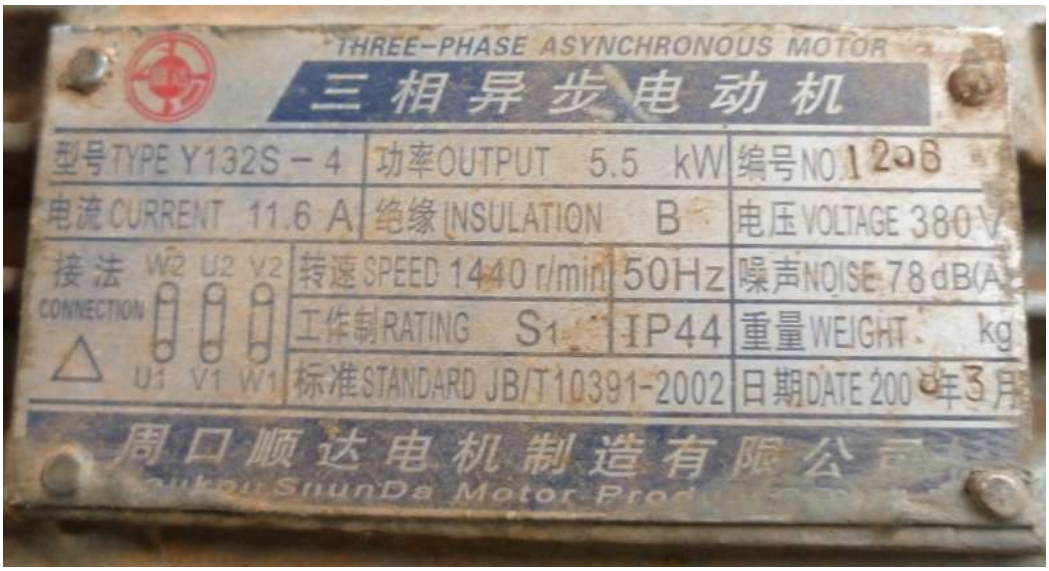
L'utilisation est simple : Il suffit de suivre les tapes suivantes

- Vérifier que les réservoirs de gazole et huile contiennent respectivement assez de gazole et assez d'huile de jatropha (bagani) pour le travail à effectuer ;
- Ouvrez la vanne du gazole et fermer celle de l'huile de jatropha (bagani);
- Démarrer le moteur ;
- Commencer à moudre les céréales ;
- Deux minutes plus tard, Ouvrez la vanne d'huile de jatropha (bagani) et fermez la vanne de gazole ;
- Continuer à moudre les céréales ;
- Dix minutes avant la fin du travail, ouvrez la vanne du gazole et fermez la vanne d'huile de jatropha (bagani).

A Retenir :

- Au démarrage, ouvrir la vanne de gazole et fermer celle de l'huile ;
- 3 minutes après, Ouvrir la vanne d'huile de jatropha (bagani) et fermer celle du gazole ;
- 10 minutes avant l'arrêt, ouvrir la vanne de gazole et fermer celle de l'huile.

Annexe 7 : Plaques signalétiques de la presse chinoise et du filtre de 5 microns



Plaque signalétique de la presse chinoise

Plaque signalétique du filtre à 5 micron

Annexe 8 : Inventaire des moteurs indiens et potentielles consommations mensuelles en huile de Jatropha

Communes	Villages	Type Gestion	Pompe d'Injection (marque)	Consommation journalière Mode 1 (L)	Consommation mensuelle Mode 1 (L)	Coûts Gasoil (CFA/L)	Consommation mensuelle Mode 2 (L)	Investissement mensuels en Mode 1 (F CFA)	Investissement mensuels en Mode 2 (F CFA)	Economies Mensuelles (F CFA)
KASSARO	Kassaro	Privé	BOSCH	5	**150**	**600**	**135**	**90 000**	**69750**	20 250
		Privé	Fuel Pump	5	**150**	**600**	**135**	**90 000**	**69750**	20 250
		Privé	MOTORPAL	6	**180**	**600**	**162**	**108 000**	**83700**	24 300
SEBEKORO	Sebékoro	Privé		7	**210**	550	**189**	**115 500**	**96600**	18 900
		Privé		2	**60**	600	**54**	**36 000**	**27900**	8 100
		Privé		4	**120**	600	**108**	**72 000**	**55800**	16 200
	Badingo	Privé	BOSCH	4	**120**	575	**108**	**69 000**	**55500**	13 500
		Privé		3	**90**	575	**81**	**51 750**	**41625**	10 125
		Privé	BOSCH	2	**60**	575	**54**	**34 500**	**27750**	6 750
		Privé	BOSCH	1	**30**	575	**27**	**17 250**	**13875**	3 375
		Privé	MOTORPAL	3	**90**	575	**81**	**51 750**	**41625**	10 125
		Privé		4	**120**	575	**108**	**69 000**	**55500**	13 500
KOUROUNI KOTO	Kourounikoto	Privé	BOSCH	1,5	**45**	650	**41**	**29 250**	**21150**	8 100
		Privé	BOSCH	4	**120**	650	**108**	**78 000**	**56400**	21 600
BENDOUGOUBA	Bendougouba	Privé	BOSCH	3	**90**	580	**81**	**52 200**	**41670**	10 530
		Privé	BOSCH	3	**90**	600	**81**	**54 000**	**41850**	12 150

Communes	Villages	Type Gestion	Pompe d'Injection (marque)	Consommation journalière Mode 1 (L)	Consommation mensuelle Mode 1 (L)	Coûts Gasoil (CFA/L)	Consommation mensuelle Mode 2 (L)	Investissement mensuels en Mode 1 (F CFA)	Investissement mensuels en Mode 2 (F CFA)	Economies Mensuelles (F CFA)
KOKOFATA	Kokofata	Privé	BOSCH	10	**300**	600	**270**	**180 000**	**139500**	40 500
		Privé	BOSCH	7	**210**	600	**189**	**126 000**	**97650**	28 350
TAMBAGA	Tambaga	Privé	MOTORPAL	2	**60**	700	**54**	**42 000**	**28500**	13 500
		Privé	MOTORPAL	4	**120**	580	**108**	**69 600**	**55560**	14 040
DAFELA	Dafela	Privé	MOTORPAL	4	**120**	650	**108**	**78 000**	**56400**	21 600
	Gumanko	Privé	MOTORPAL	2	**60**	580	**54**	**34 800**	**27780**	7 020
	Boro	Privé	BOSCH	2,5	**75**	580	**68**	**43 500**	**34725**	8 775
		Privé	USHA	1	**30**	580	**27**	**17 400**	**13890**	3 510
KITA	Liberté	Privé	BOSCH	4	**120**	580	**108**	**69 600**	**55560**	14 040
	Nyafala	Privé		5	**150**	580	**135**	**87 000**	**69450**	17 550
	Segoubougouni	Privé	MOTORPAL	2	**60**	580	**54**	**34 800**	**27780**	7 020
	Moribougou	Privé	MOTORPAL	1	**30**	580	**27**	**17 400**	**13890**	3 510
	Makandjabougou	Privé		2,5	**75**	580	**68**	**43 500**	**34725**	8 775
SIRAKORO	Sirakoro	Privé	USHA	2	**60**	700	**54**	**42 000**	**28500**	13 500
		Privé	BOSCH	4	**120**	550	**108**	**66 000**	**55200**	10 800
		Privé	MOTORPAL	2	**60**	700	**54**	**42 000**	**28500**	13 500
MAKONO	Makono	Privé	BOSCH		**20**	575	**18**	**11 500**	**9250**	2 250
		Privé	BOSCH		**40**	575	**36**	**23 000**	**18500**	4 500
	Samassaba	Privé	BOSCH	3	**90**	700	**81**	**63 000**	**42750**	20 250
	Goro	Privé	BOSCH	2	**60**	700	**54**	**42 000**	**28500**	13 500
					3585		**3 227**			

Annexe 9 : Fournisseurs potentiels et exemple de devis pour kit de Bicarburation pour groupes électrogènes

Les potentiels fournisseurs sont :

- Meth'éco
- ECOWER
- AEDEN

Comme exemple de devis on a :

Kit complet manuel

Constitué d'éléments sélectionnés pour leur fiabilité en toute circonstance, le kit complet manuel permet d'alimenter le moteur en huile suffisamment chaude et fluide pour préserver les éléments de votre circuit d'injection.

A partir d'un seul interrupteur, l'opérateur pourra commuter d'un carburant à l'autre, par simple surveillance de la température du liquide de refroidissement moteur (ou de l'huile moteur si moteur refroidi par air).

Constitué de:

- pompe de gavage Facet GoldFlo
- Échangeur de chaleur 30 plaques inox brasées cuivre, isolé
- Électrovannes gros débit pour moins de perte de charges
- Temporisation entre les électrovannes pour réduire le mélange des carburants
- Durites, embouts, colliers, fusibles, ...pour être complet!

Prix: 549 € HT (au 01.03.2010)

Kit fourni hors réservoir de stockage d'huile

Kit complet automatique

Spécialement dédié à l'équipement de moteurs agricoles et groupes électrogènes, le kit automatique permet de satisfaire les exigences d'automatisme, de surveillance et d'alarme nécessaire à une utilisation optimale de l'huile végétale carburant:

- Passage automatique séquentiel d'un carburant à l'autre selon les paramètres optionnels (T°Ldr, T° échappement, T° huile)
- Temporisation des électrovannes
- Alarme visuelle et sonore en cas d'arrêt moteur à l'huile carburant
- Échangeur 30 plaques inox, électrovannes gros débit
- Réchauffeur électrique d'appoint 300W
- Interface de commande simplissime

Prix: 1490 € HT

Option T° echappt: +480€ HT

Tarifs au 01.03.2010

Kit vendu sans réservoir auxiliaire, nous consulter

3 chemin de Printzheim
Fr-67330 IMBSHEIM
Tél : 03 88 71 34 45 / Fax : 03 88 71 32 26
S.A.R.L. au capital de 7 500 Euros
R.C.S. : Saverne
SIRET : 48144623500014
N/Id CEE : FR84481446235

MR GIRAUDY

V/Id CEE :

Devis N° :	DATE	CLIENT	ECHÉANCE	MODE DE RÈGLEMENT
DE1075	06/08/2010	1009		

REFERENCE	DESIGNATION	QUANTITE	P.U. HT	% REM	REMISE HT	MONTANT HT	TVA
0023	Kit bicarburant METHECO M1 (contenu du kit: électrovannes 12 Volts échangeur thermique en alu 432cm² faisceau électrique relais,filtre GO, préfiltre HVB interrupteur,durites,colliers et petites fournitures)	1	570.00	0.00	0.00	570.00	
POM0115	Pompe de gavage	1	89.00	0.00	0.00	89.00	
ELE0132	Automate programmable pour gestion groupe électrogène	1	400.00	0.00	0.00	400.00	
0006	Forfait port et emballage	1	95.00	0.00	0.00	95.00	

Bon pour accord :

Le :

Remarque :

BASE HT	TAUX TVA	MONTANT TVA
1154.00	0.00	0.00

TOTAL H.T. :	1154.00
REMISE :	0.00
ESCOMPTE :	0.00
FRAIS DE PORT TTC :	0.00
TOTAL T.V.A. :	0.00
ACOMPTE :	
TOTAL TTC :	1154.00
NET A PAYER :	1154.00

Annexe 10 : Catalogue des Moteurs diesels du Cercle de Kita

1- BADINGO

Groupe électrogène OLYNPIAN pour électrification rurale

A gauche le groupe électrogène en entier et à droite la partie moteur.

Gestionnaires	Noms & prénoms	Adama SISSOKO
	Contacts	66980714
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	56 Litres
	Prix de revient du litre	575 Francs CFA
Type de combustion	Injection Directe	
Pompe d'injection	Marque DELPHI	

Ce groupe électrogène est de marque PERKINS et est d'une puissance de 65 kVA. Il est utilisé pour produire de l'électricité entre 18h et 00h au village de BADINGO.

- Moteur diesel indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Seydou COULIBALY
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~7 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales et décortiqueuse	
Puissance du moteur	5,9 kW	

- Moteur diesel indien

Gestionnaires	Noms & prénoms	Camara BRAMA
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~6 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection		
Appareils liés au moteur	Moulin pour arachides grillés	
Puissance du moteur		

- Moteur diesel indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Amadou SAMAKE
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour arachides grillés et karité	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur diesel indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Abdoulaye SIDIBE
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	0,5 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur diesel indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Simbo CAMARA
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	3 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur diesel indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Karim MALE
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	3~6 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin et décortiqueuse pour céréales	
Puissance du moteur	8 Ch	

Notes : ***il importe de rappeler le constat selon lequel tous les gestionnaires de moteur indien de BADINGO se procurent très souvent du gazole sur le marché noir à raison de* 550 F CFA *le litre.***

2- DJIDJAN

Groupe électrogène OLYNPIAN pour électrification rurale

A gauche le groupe électrogène en entier et à droite la partie moteur.

Gestionnaires	Noms & prénoms	Adama SISSOKO
	Contacts	66980714
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	9 Litres
	Prix de revient du litre	575 Francs CFA
Type de combustion	Injection Directe	
Pompe d'injection	Marque DELPHI	

Ce groupe électrogène est de marque PERKINS et est d'une puissance de 45 kVA. Il est utilisé pour produire de l'électricité 3h de temps au village de DJIDJAN.

3- KOUROUNIKOTO

- Groupe électrogène OLYNPIAN pour électrification rurale

Gestionnaires	Noms & prénoms	Adama SISSOKO
	Contacts	66980714
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	15 Litres
	Prix de revient du litre	650 Francs CFA
Type de combustion	Injection Directe	
Pompe d'injection	Marque DELPHI	

Le moteur de groupe électrogène de cette centrale est de marque PERKINS et est d'une puissance de 40 kVA. Il est utilisé pour produire de l'électricité pendant 2h de temps (20h – 22H) au village de KOUROUNIKOTO.

- Groupe électrogène SDMO de secours pour pompage hydraulique

Gestionnaires	Noms & prénoms	NDIAYE/MAIGA
	Contacts	76371965/76057054
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	
	Prix de revient du litre	
Pompe d'injection	Marque DENSO	

Ce groupe électrogène sert de secours aux panneaux solaire photovoltaïque pompant de l'eau, d'un forage, pour stocker dans un château. Il est d'une puissance de 33 kVA

- Plate Forme Multifonctionnelle à moteur diesel indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Bintou TOURE
	Contacts	74463284
Type de gestion	Associative (Association des femmes)	
Carburant	Consommations par jour	4 Litres
	Prix de revient du litre	650 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales Dynamo pour charge des batteries Décortiqueuse	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Plate Forme Multifonctionnelle à moteur diesel indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	TOURE Sanfin
	Contacts	74419173
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	1,5 Litres
	Prix de revient du litre	650 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales Alternateur de 7,5 kW Chargeur de batterie Décortiqueuse	
Puissance du moteur	7,35 kW	

4- BENDOUGOUBA

- Moteur diesel indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	KAMA Diawara
	Contacts	65651622
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~5 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Plate Forme Multifonctionnelle à moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Sidy KEITA
	Contacts	66980714
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	3~4 Litres
	Prix de revient du litre	580 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales ; décortiqueuse	
Puissance du moteur	5,9 kW	

5- KOKOFATA

- Moteur DEUTZ pour soudure électrique

Gestionnaires	Noms & prénoms	KEITA Karim
	Contacts	66954877
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	10 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Puissance du moteur	38,5 kW	

- Plate Forme Multifonctionnelle à moteur indien IMEX

Gestionnaires	Noms & prénoms	MOUSSA
	Contacts	76 42 28 76
Type de gestion	Communautaire	
Carburant	Consommations par jour	
	Prix de revient du litre	
Pompe d'injection	Marque BOSCH	

Cette mini centrale électrique à moteur indien est un fruit de l'AMADER à la commune de KOKOFATA, mais n'a jamais été utilisé à cette fin et c'est vu converti uniquement en moulin jusqu'à ce que une pièce mécanique s'use. Cette dernière na jamais été remplacé

- Plate Forme Multifonctionnelle à moteur indien

Gestionnaires	Noms & prénoms	MAHAMADI Dembele
	Contacts	78254475
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	7~8Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales décortiqueuse	
Puissance du moteur		

6- SEBEKORO

- Groupes électrogènes pour électrification rurale

Gestionnaires	Noms & prénoms	LANSANA Coulybali
	Contacts	76111604
Type de gestion	Société Privé (Entreprise des services énergétiques)	
Carburant	Consommations par jour	14~15 Litres
	Prix de revient du litre	575 Francs CFA
Pompe d'injection		

Cette centrale électrique est en pleine rénovation, elle vient de se doté de deux groupe électrogène de 100 kW chacun. Les données ci-dessus concernent l'ancien groupe électrogène qui aujourd'hui est en panne.

- Plate forme multifonctionnelle à moteur indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	DJARA
	Contacts	S/C Marie
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~10 Litres
	Prix de revient du litre	525 Francs CFA
Pompe d'injection		
Appareils liés au moteur	Alternateur de 7,5 kW Moulin Chargeur de batterie	
Puissance du moteur	7,35 kW	

Le village de Sebékoro, possède aussi deux autres plates formes multifonctionnelles appartenant à l'association des femmes. Celles-ci sont équipées de moulin et décortiqueuses. Leurs approvisionnements en gasoil se fait sur place à 600 Francs CFA le litre et ont une consommation de 1,2~4 Litres par jour pour l'une et 4~10 Litres par jour pour l'autre.

7- TAMBAGA

- Groupe électrogène de 2 GARENI INDUSTRI à huile de Jatropha

Gestionnaires	Noms & prénoms	Pas encore définie
	Contacts	Mairie
Type de gestion	Pas encore définie	
Carburant	Consommations par jour	
	Prix de revient du litre	
Type de combustion	Injection Directe	
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Puissance du moteur	60 kVA	

Ce groupe de 2 Gareni Insdustrie est adapté à la carburation à l'huile de jatropha et servira à l'électrification de la commune de Tambaga

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Aïchata DOUMBIA
	Contacts	Pas de réseau
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~10 Litres
	Prix de revient du litre	580~700 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	MAHATI Dansira
	Contacts	Pas de réseau
Type de gestion	Associative (Association des femmes)	
Carburant	Consommations par jour	2 Litres
	Prix de revient du litre	700 Francs CFA
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

8- DAFELA

- Plate forme Multifonctionnelle à moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	SANGARE Gna
	Contacts	66 60 26 46
Type de gestion	Association des femmes de DAFELA	
Carburant	Consommations par jour	3~5 Litres
	Prix de revient du litre	650 Francs CFA
	Lieu d'achat	DAFELA
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales ; Dynamo pour chargeur batteries ; Décortiqueuse.	
Puissance du moteur	7,35 kW	

9- BORO

- Moteur indien LION

Gestionnaires	Noms & prénoms	SANGARE Gna
	Contacts	
Type de gestion	Association des femmes de Boro	
Carburant	Consommations	20 Litres par semaine
	Prix de revient du litre	580 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kita
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur indien SIMBA

Gestionnaires	Noms & prénoms	KASSOUM Sidibé
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	0,5~2 Litres
	Prix de revient du litre	580 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kita
Pompe d'injection	Marque USHA	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales	
Puissance du moteur	8 CV	

10- GUMANKO

- Centrale de production électrique à moteur indien JUMBO

Gestionnaires	Noms & prénoms	FAFERE Sissoko
	Contacts	65 85 97 37
Type de gestion	Associatif	
Carburant	Consommations par jour	2 Litres
	Prix de revient du litre	580 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kita
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Alternateur SIMBA de 7,5 kW	
Puissance du moteur	8 CV	

11- Kita Ville

- Moteur indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	KAMARA Yacouba
	Contacts	69 54 57 82
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2~6 Litres
	Prix de revient du litre	580 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kita
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin pour céréales décortiqueuse	
Puissance du moteur	10 CV	

12- SIRAKORO

Cette commune possède un réseau électrique datant de 2004, fruit de l'AMADER, mais ce réseau n'est pas alimenté car pas de groupé électrogène pour l'alimenter. Cependant elle possède six moteurs indien dans la village pour activités variée : soudure et moulin.

- Moteur indien PML GOLD pour soudure électrique

Gestionnaires	Noms & prénoms	SALIF Diallo
	Contacts	Pas de réseau
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	2 Litres
	Prix de revient du litre	700 Francs CFA
	Lieu d'achat	Sirakoro
Pompe d'injection	Marque USHA	
Appareils liés au moteur	Alternateur IMEX de 7,5 kW	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteurs indien LION

Gestionnaires	Noms & prénoms	OUSMANE Sidibé
	Contacts	Pas de réseau
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	4 Litres
	Prix de revient du litre	550 Francs CFA
	Lieu d'achat	Bamako
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	moulin	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteurs indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	SAMBA Coulibaly
	Contacts	Pas de réseau
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jour	1~3 Litres
	Prix de revient du litre	700 Francs CFA
	Lieu d'achat	Sirakoro
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de Karité	
Puissance du moteur	7,35 kW	

13- SAMASSABA

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	TRAORE/BAKARI Diallo
	Contacts	
Type de gestion	Appartien à tout le village	
Carburant	Consommations par jour	2~4 Litres
	Prix de revient du litre	580~700 Francs CFA
	Lieu d'achat	Sirakoro, Badingo ou Kita
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales ; Décortiqueuse de riz de 7,5 kW.	
Puissance du moteur	7,35 kW	

14- MAKONO

Cette commune possède deux moteurs indiens opérationnels servant à moudre les céréales.

- Moteur indien LION

Gestionnaires	Noms & prénoms	BOUBAKAR Sidibé
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations	20 Litres par Mois
	Prix de revient du litre	575 Francs CFA
	Lieu d'achat	Bamako
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales ; Décortiqueuse.	
Puissance du moteur	7,35 kW	

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	KALI Diallo
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations	40 Litres par Mois
	Prix de revient du litre	575 Francs CFA
	Lieu d'achat	Bamako
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales ; Décortiqueuse.	
Puissance du moteur	5,9 kW	

15- GORO

Le village de Goro possède un moteur indien privé fonctionnel et une plate forme multifonctionnelle est en construction. Elle appartiendra aux femmes du village.

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	BALLA Sinayoko
	Contacts	
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations	1~3 Litres par Jour
	Prix de revient du litre	700 Francs CFA
	Lieu d'achat	Sirakoro
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales ; Décortiqueuse.	
Puissance du moteur	7,35 kW	

16- KASSARO

- Moteur indien RHINO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Moussa BERTHE
	Contacts	74 05 43 68
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jours	5 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kassaro
Pompe d'injection	Marque BOSCH	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales	
Puissance du moteur	7,35kW	

- Moteur indien MILLIERS

Gestionnaires	Noms & prénoms	Famakan KANTHE
	Contacts	74 25 54 17
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jours	2~7 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kassaro
Pompe d'injection		
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales	
Puissance du moteur	5,9 kW	

- Moteur indien METRO

Gestionnaires	Noms & prénoms	Djigui DJAKITE
	Contacts	77 35 30 18
Type de gestion	Privé	
Carburant	Consommations par jours	3~9 Litres
	Prix de revient du litre	600 Francs CFA
	Lieu d'achat	Kassaro
Pompe d'injection	Marque MOTORPAL	
Appareils liés au moteur	Moulin de graine de céréales ; Décortiqueuse.	
Puissance du moteur	7,35kW	