



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



CONCEPTION ET CARACTERISATION D'UN KIT DE BICARBURATION

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU
ET DE L'ENVIRONNEMENT Option : ENERGIE**

**Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant (LBEB)
Institut International d'Ingénierie de L'Eau et de L'Environnement (ZIE)**

Présenté et soutenu publiquement le 17 juin 2010 par :

ADOUM MAHAMAT ISSA

Travaux dirigés par : Ing. Madi KABORE

Ing. Sayon SIDIBE

Dr. Joël BLIN

UTER: Genie Energétique et Industriel

Jury d'évaluation :

Président : Dr. Yao AZOUMAH

Membres et correcteurs : Dr. Joël BLIN

M. Sayon SIDIBE

M. Madi KABORE

Promotion 2009/2010

DEDICACE

A ALLAH Le Tout Miséricordieux,

Ton amour, Ta miséricorde et Tes grâces à mon endroit m'ont fortifiée dans la persévérance et l'ardeur au travail.

A Mon Père, Mahamat Issa dit Weleda Kossami

En vous, je vois un père dévoué à sa famille.

A Ma Mère, Aché Brahim

En vous, je vois la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier pour le bonheur de ses enfants.

A Mon Grand Frère, Mahamat Mahadi

Ta sollicitude à mon égard me marquera à jamais.

A mes oncles et tantes, frères et sœurs.

Qui, je le sais ma réussite est très importante pour vous.

Qu'Allah vous paye Pour tous vos bienfaits.

REMERCIEMENTS

C'est grâce au soutien permanent et aux encouragements de plusieurs personnes que ce travail a pu être réalisé. Je tiens sincèrement à les remercier.

En premier lieu Monsieur Joël Blin qui m'a accueilli dans son laboratoire.

Je remercie véritablement Monsieur Madi Kaboré et Sayon Sidibé pour leur encadrement et leurs conseils précieux.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance au personnel du laboratoire LBEB pour leur gentillesse et pour leur soutien constant durant mon séjour au laboratoire.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au corps professoral du 2iE en général et de l'Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche Génie Energétique et Industriel en particulier pour les connaissances dispensées pendant cette formation de master.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous mes promotionnels, amis et frères, pour les agréables moments passés ensemble durant les deux années d'études.

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
LISTE DE TABLEAUX, FIGURES & PHOTOS.....	v
SIGLES	vi
RESUME	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte	1
2. Objectifs de l'étude	2
3. Méthodologie	2
I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1. Les huiles végétales carburant	3
1.1. Généralités sur les huiles végétales carburant.....	3
1.2. Fabrication des huiles carburant.....	4
1.3. Les propriétés physico-chimiques des huiles végétales carburant	4
1.4. Qualité des huiles carburant	6
2. Utilisation des HVP dans les moteurs diesels.....	6
2.1. Généralités sur les moteurs diesels.....	6
2.2. Les moteurs à injection indirecte.....	7
2.3. Les moteurs à injection directe.....	8
3. Problèmes liés à l'utilisation des HVP dans les moteurs diesel.....	8
3.1. Influence de la viscosité de l'huile	9
3.2. Influence des paramètres chimiques de l'huile	9
4. Solutions aux problèmes d'utilisation des HVP dans les moteurs diesel	9
4.1. Préchauffage de l'huile et/ou mélange Huile/Gazole.....	10
4.2. Augmentation de la température de la chambre de combustion	10
4.3. Bicarburaton	11
5. Performances du moteur et émissions polluantes	12
5.1. Performances du moteur.....	12
5.2. Emissions polluantes	13
6. Conclusion	14
II. ENQUETE SUR LES ELEMENTS DE BICARBURATION	15
1. Introduction.....	15

2.	Résultats de l'enquête	15
3.	Analyse et discussion des résultats de l'enquête.....	16
4.	Conclusion	19
III.	REALISATION DU KIT DE BICARBURATION.....	20
1.	Introduction.....	20
2.	Schéma d'installation du kit de bicarburateur.....	21
3.	Les différentes phases de la réalisation du kit de bicarburateur	22
3.1.	Support de réservoirs	22
3.2.	Système de basculement	23
3.3.	Circuit d'alimentation en carburant	23
4.	Montage du kit de bicarburateur et mise en marche du moteur.....	24
5.	Coût de réalisation du kit de bicarburateur à commande manuel	26
6.	Conclusion	27
IV.	ESSAIS EN CHARGE DU MOTEUR.....	28
1.	Introduction.....	28
2.	Matériels et méthode.....	28
2.1.	Détermination de la puissance transmissible à l'alternateur	29
2.2.	Détermination du temps de fonctionnement du moteur à gasoil avant son arrêt	29
2.3.	Détermination de la température des gaz d'échappement en fonction des charges	30
3.	Résultats et discussions des essais	30
3.1.	Température de basculement de gasoil à l'HVP	31
3.2.	Température des gaz d'échappement en fonction des charges du moteur	31
3.3.	Temps de fonctionnement du moteur à gasoil avant son arrêt.....	33
4.	Conclusion	33
V.	ETUDE ECONOMIQUE DU KIT DE BICARBURATION	34
	CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATION.....	36
	BIBLIOGRAPHIE.....	37
	ANNEXES	39

LISTE DE TABLEAUX, FIGURES & PHOTOS

TABLEAUX

TABLEAU 1: CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES HUILES VEGETALES (6).....	4
TABLEAU 2: INDICE D'IODE DES DIFFERENTES HUILES VEGETALES (11).....	5
TABLEAU 3: PRENORME DIN 51605 POUR LA PRODUCTION D'HUILE CARBURANT (5).....	6
TABLEAU 4: DENOMBREMENT ET CLASSIFICATION DES BOUTIQUES PAR TYPE.....	15
TABLEAU 5: RESULTATS DE LA DISPONIBILITE DES EQUIPEMENTS.....	16
TABLEAU 6: COUT TOTAL DE REALISATION DU PROJET.....	26
TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU MOTEUR ET DE L'ALTERNATEUR.....	29
TABLEAU 8 : TEMPERATURE DES GAZ D'ECHAPPEMENT EN FONCTION DE CHARGE A PAS DE 600W.....	31
TABLEAU 9 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES TYPES DE SYSTEME DE BASCULEMENT.....	34
TABLEAU 10 : ETUDE COMPARATIVE DES COUTS DE REALISATION DU KIT DE BICARBURATION.....	35

FIGURES

FIGURE 1: SCHEMA D'UN MOTEUR DIESEL SIMPLIFIE.....	7
FIGURE 2: TYPES D'INJECTION DE MOTEUR DIESEL (EXTRAIT DE CAHIERS TECHNIQUES BOSCH).....	8
FIGURE 3 : ENCRASSEMENT DU PISTON, PHOTO CIRAD (10).....	9
FIGURE 4: VISCOSITE DU CARBURANT EN FONCTION DE TEMPERATURE (21).....	10
FIGURE 5 : TEMPERATURE DES GAZ D'ECHAPPEMENT EN FONCTION DES CHARGES DU MOTEUR (6).....	12
FIGURE 6: NATURE DES GAZ REJETES LORS D'UNE COMBUSTION (10).....	14
FIGURE 7: DIFFERENTES PHASES DE LA CONCEPTION DU KIT DE BICARBURATION.....	20
FIGURE 8: SCHEMA D'INSTALLATION DU KIT DE BICARBURATION.....	22
FIGURE 9: TEMPERATURE DES GAZ D'ECHAPPEMENT EN FONCTION DE CHARGES A PAS DE 600 W.....	32

PHOTOS

PHOTO 1 : SUPPORT DES RESERVOIRS.....	23
PHOTO 2 : SYSTEME DE BASCULEMENT.....	23
PHOTO 3 : ELEMENTS DU CIRCUIT D'ALIMENTATION.....	24
PHOTO 4: ETAPES DE MONTAGE DU KIT DE BICARBURATION.....	25
PHOTO 5: MATERIELS POUR LES ESSAIS.....	28
PHOTO 6 : CREATION D'UNE FUITE AU NIVEAU DU FILTRE.....	30

SIGLES

- 2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
- CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- CO** : Oxyde de Carbone
- CO₂** : Dioxyde de Carbone
- HC** : Hydrocarbure
- HVP** : Huile Végétale Pure
- GERES** : Groupe Energies Renouvelables, Environnement et Solidarité
- NO_x** : Oxyde d'Azote
- PCI** : Pouvoir Calorifique Inferieur
- PNUD** : Programme des Nations Unis pour le Développement
- PT** : Prix Total
- PU** : Prix Unitaire
- UTER** : Unité Thématique d'Enseignant et de Recherche

RESUME

La réduction de la pauvreté passe inéluctablement par l'accès aux services énergétique. De nos jours, les biocarburants présentent une réelle opportunité pour l'atteinte d'une indépendance énergétique. Dans cette étude, nous nous sommes appesanti sur les possibilités de l'utilisation des huiles végétales pures (HVP) comme carburant dans les moteurs diesels.

Cependant, comme l'HVP ne pourra être directement utilisée pour le démarrage et l'arrêt du moteur diesel, un kit de bicarburaton vient en solution. Le prix de revient de ce dernier fabriqué en Europe étant élevé (entre 300000 à 1300000 FCFA), une réflexion a été faite sur la réalisation de cet élément sur place.

En effet, une enquête menée dans les marchés de Ouagadougou a montré qu'il est possible de rassembler les équipements nécessaires pour élaborer un kit de bicarburaton à commande manuelle et dont le cout s'élève à soixante douze mille huit cent francs CFA (**72 800 FCFA**).

Une fois cet équipement est réalisé, une phase de test sur le banc moteur du laboratoire LBEB commença. L'objectif du test est de déterminer le moment opportun de fonctionnement d'un moteur diesel à l'huile végétale pure. Les résultats du test ont montré qu'il n'y a pas une différence considérable lorsque le moteur fonctionne avec du gasoil ou de l'huile de coton. Par conséquent, après démarrage du moteur au gasoil, on doit avoir une température des gaz d'échappement autour de 250°C (20% de puissance du moteur) avant de basculer à l'HVP. Plusieurs valeurs de températures des gaz d'échappement relevées nous donnent une information sur les charges susceptibles d'être couplées au moteur.

Mots Clés: Moteur Diesel, Bicarburaton, Huile Végétale Pure, Conception.

ABSTRACT

The reduction of poverty goes ineluctably by the energy supply. Today, the biofuels provide a real opportunity for energy independence. In this study, we are heavily worked out to find the possibilities of using vegetable oil as fuel in the diesel engine.

However, as this fuel could not be directly used to start the engine, a dual fuel kit comes in solution. The price of this one made in Europe being high (between 300000 to 1300000 FCFA), a though was made on the realization of this equipment on the spot.

Therefore, a survey carried out on the markets of Ouagadougou showed that it is possible to gather the necessary equipments to work out a dual fuel kit with hand drive operation and its cost rises to seventy two thousand and eight hundred francs CFA (**72 800 FCFA**).

Once this equipment produced, a phase of test on the driving bench of laboratory LBEB started. The objective of the test is to determine the convenient period for a diesel engine to operate with pure vegetable oil. The results of the test showed that there is no considerable difference when the engine functions with gasoil or cotton seed oil. Consequently, after starting the engine on gasoil, the exhaust gas temperature must be around 250°C (20% of the engine load) before rocking to the HVP. Several values of the exhaust gas temperature raised give us information on the loads likely to be coupled to the engine.

Key Words: Diesel Engine, Dual fuel, Pure Vegetable Oil, Design.

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte

La pauvreté énergétique est définie par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) comme l'absence de choix qui donnerait au pays accès à des énergies adéquates, efficaces et durables pour supporter le développement économique et social. L'Afrique sub-saharienne est confrontée à de graves difficultés économiques et à une pauvreté qui touche 44% de la population [1]. 67% des populations rurales et périurbaines ont encore recours de façon massive aux combustibles traditionnels. Pour le reste de leur approvisionnement énergétique, de nombreux pays sont importateurs de pétrole et sont durement touchés par la hausse des prix du baril. La majeure partie de l'Afrique sub-saharienne doit faire face à une facture croissante en énergie fossile due à la forte croissance de la population. Raison pour laquelle un intérêt particulier est accordé aux énergies renouvelables en générales et les biocarburants en particulier.

Ainsi, la production locale des carburants d'origine agricole représente une partie de la réponse à ce défi. Pour ce faire, l'utilisation des huiles végétales pures (HVP) dans les moteurs diesel à travers la création des projets de développement des zones rurales grâce à l'énergie serait préconisée. Cependant les caractéristiques physico-chimiques de ces huiles végétales étant différentes de celles des produits pétroliers, certaines précautions doivent être prises ou des modifications techniques doivent être apportées pour une utilisation efficace dans les moteurs initialement conçus pour fonctionner au gasoil [2]. Il faut donc une adaptation des moteurs avec un kit de bicarburant pour limiter les problèmes. Leur coût moyen en Europe varie entre 300 000 et 1 300 000 FCFA (voir annexe 3); ce qui n'est pas au pouvoir d'achat des paysans en zone rurale.

C'est dans ce contexte que l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) en collaboration avec le Groupe Energies Renouvelables, Environnement et Solidarités (GERES) ont proposé ce thème pour pouvoir trouver des pistes, pour concevoir des équipements qui allient à la fois l'efficacité, le facteur coût et la simplicité d'utilisation en vue de leur intégration en milieu rural.

2. Objectifs de l'étude

L'objectif général de l'étude est de réaliser un kit de bicarburation pour l'utilisation des huiles végétales pures comme carburant dans les moteurs diesels en filière de proximité.

Comme objectifs spécifiques, il s'agit de:

- Faire une recherche bibliographique sur le fonctionnement de moteur diesel à l'huile végétale pure;
- Concevoir et caractériser un kit de bicarburation permettant au moteur de fonctionner efficacement à 100% avec de l'huile végétale pure;
- Etudier les conditions d'utilisation du kit de bicarburation et son cout.

3. Méthodologie

Les travaux du présent mémoire de fin d'étude se sont déroulés selon la chronologie ci-après :

- **La recherche bibliographique:** Cette partie décrit les possibilités d'utilisation des huiles végétales pures comme carburant dans les moteurs diesels. Tous les problèmes et solutions liés à l'utilisation de ces huiles dans les moteurs seront évoqués.
- **Conception et réalisation:** Dans cette partie, il est d'abord question de faire une enquête sur tous les éléments indispensables à la réalisation d'un kit de bicarburation localement. Ensuite l'aspect conceptuel est abordé pour permettre de faire un choix justifié et réalisable dans un contexte d'utilisation d'huile végétale comme carburant en milieu rural.
- **Manipulations:** Il s'agit de faire des essais sur système réalisé en vu d'étudier et de vérifier ses performances;
- **Etude économique:** cette dernière partie permet d'avoir une idée sur le cout de réalisables des kits de bicarburation.

I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Les huiles végétales carburant

1.1. Généralités sur les huiles végétales carburant

L'utilisation de l'huile végétale comme carburant est ancienne. Déjà au début du XX^e siècle, Rudolf Diesel fit tourner un prototype de son moteur avec de l'huile d'arachide et jusque dans les années 40, les moteurs furent conçus pour tourner avec les deux carburants (huile d'arachide et diesel) [3].

L'intérêt nouveau pour l'utilisation de l'huile est dû à des considérations socio-économiques et environnementales. Au départ, on pensait qu'il serait possible d'utiliser ces huiles directement dans le moteur. Cependant, les tests réalisés par les industries de l'automobile ont montré que, sans modification, les moteurs diesel pouvaient fonctionner de façon satisfaisante, mais montraient rapidement des problèmes de durabilité.

On distingue deux types de biocarburants d'origine oléagineuse :

- **L'HVP:** L'huile végétale carburant pure (HVP) est une huile obtenue par simple pression à froid, sans solvant, décantée et filtrée, et sans modification chimique. Elle peut être utilisée à 100 % comme carburant sous réserve de modifications mineures visant à réchauffer le carburant en question, ou sans modification avec mélange du gazole (30% sur tous les moteurs diesels, et jusqu'à 50% selon les cas) [4]. Elle est également la matière première brute qui sert à la fabrication du biodiesel.
- **Le Biodiesel:** C'est de l'huile végétale qui a été modifiée chimiquement par réaction de transestérification avec un alcool (ex: le méthanol). Il possède des propriétés de carburant similaires à celles du gazole. La glycérine est le principal sous produit de la réaction de transesterification. Le biodiesel peut être utilisé dans les moteurs diesel, en général incorporé au gazole [5].

Toutes les huiles végétales sont théoriquement appropriées à la carburantion. Il existe environ 2000 plantes oléagineuses dans le monde, dont une vingtaine sont couramment exploitées pour leur huile [5]. Pour pouvoir les utiliser comme carburant dans les moteurs nous devons comprendre le processus de leur fabrication.

1.2. Fabrication des huiles carburant

La fabrication des HVPs se fait en deux phases :

- **Pressage:** Consiste à obtenir l'huile par simple pressage à froid des graines d'oléagineuses. L'huile obtenue est par la suite purifiée.
- **Purification:** Consiste à filtrer l'huile pressée, décantée et obtenir un produit normalisé répondant aux normes de qualité.

1.3. Les propriétés physico-chimiques des huiles végétales carburant

Les caractéristiques des huiles végétales sont influencées par plusieurs facteurs, dont la maîtrise de certains d'entre eux est importante pour le bon fonctionnement du moteur diesel.

✓ Propriétés physiques des huiles végétales carburant

Les caractéristiques physiques de quelques huiles végétales utilisées comme carburant dans les moteurs diesels sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1: Caractéristiques physiques des huiles végétales [6]

Huiles Végétales	Viscosité Cinématique à 38°C (mm ² /s)	Indice de Cétane	PCI (MJ/kg)	Point Trouble (°C)	Point de Fusion (°C)	Point Eclair (°C)	Densité (kg/l)
Tournesol	33.9	37.1	39.60	7.2	-15	274	0.9161
Palme	39.6	42.0	-	31.0	-	267	0.9180
Coton	33.5	41.8	39.50	1.7	-15	234	0.9148
Sésame	35.5	40.2	39.30	-3,9	-9,4	260	0.9133
Arachide	39.6	41.8	39.80	12.8	-6,7	271	0.9026
Colza	37.0	37.6	39.70	-3,9	-31,7	246	0.9115
Soja	32.6	37.9	39.60	-3,9	-12,2	254	0.9138
Jatropha ¹	35.98± 1.3	-	39.071	9±1	4±1	229 ±4	0.917 ±1
Diesel	3.06	50	43.8	-	-16	76	0.8550

Le tableau1 (A. Murugesan et al [6]) indique que la viscosité cinématique des huiles végétales pures varie dans la fourchette de 37-42 mm²/s à 38°C. La viscosité élevée de ces huiles est due à leur masse moléculaire importante [7]. Le point éclair est la température à laquelle un fluide émet suffisamment de vapeurs pour qu'elles puissent s'enflammer au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Le point éclair de l'huile végétale est très élevé (supérieur à 200°C) comparé à celui du diesel autour de 80 °C, ceci constitue un atout pour son stockage.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) représente la quantité de chaleur par unité de masse cédée par le carburant. Les valeurs de PCI de ces HVPs sont de l'ordre de 39-40 MJ /kg et celui du gasoil est

¹ Propriétés de l'huile de Jatropha à 40°C [20]

d'environ 44 MJ / kg. C'est la présence de l'oxygène dans la structure chimique de ces huiles qui fait baisser leur PCI d'environ 10% [7] comparé à celui du gasoil.

L'indice de cétane mesure la facilité d'inflammation du combustible lorsqu'il est comprimé, il est dans la gamme de 37-42 pour ces huiles. Plus il est élevé, plus le carburant est facilement inflammable (démarrage à froid aisé). Selon F. Jiménez Espadafor et al [8], l'indice de cétane devrait être haut pour augmenter l'efficacité thermodynamique du moteur et pour réduire au minimum les émissions, notamment ceux de HC (hydrocarbures non-brûlés) et NOx. A.S. Ramadhas et al [9] ont affirmé que le point de fusion et le point trouble des huiles végétales révèlent une sensibilité plus grande qu'aux basses températures.

✓ Propriétés chimiques des huiles végétales carburant

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires [10].

Les triglycérides sont constitués d'une molécule de glycérol estérifiée avec 3 molécules d'acides gras semblables ou différents [11]. Pour connaître le pourcentage d'acide contenu dans l'huile, nous devons évaluer son acidité. L'acidité est mesurée par le nombre de mg de KOH nécessaire pour neutraliser les acides libres dans 1g d'huile. Par contre l'indice d'iode correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras, il permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile. Il varie de 0 à 200g/100g [12].

Les huiles peuvent se diviser en 4 grands groupes selon leur indice d'iode [11] explicités dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 2: Indice d'iode des différentes huiles végétales [11]

Groupe	Nature d'huile	Indice d'iode
Huiles saturées	Coprah, Palme, Karité	5 à 50
Huiles mono-insaturées (semi-siccatives)	Olive, Arachide, Colza, Sésame, Jatropha	50 à 100
Huiles di-insaturées (semi-siccatives)	Tournesol, Coton, Soja, Mais, Pépin	100 à 150
Huiles tri-insaturées (siccatives)	Lin, Bois de Chine	> 150

La connaissance de l'indice d'iode (quantité d'iode susceptible de réagir sur les doubles liaisons des acides gras) permet de porter un premier jugement sur l'aptitude à la combustion de l'huile. Plus l'indice est élevé, plus la combustion risque d'être problématique.

Dans un objectif de développement de la filière huile végétale pure à une échelle plus importante, il devient indispensable de mettre au point une norme de qualité de production des huiles carburant.

1.4. Qualité des huiles carburant

En Europe une prénorme d'origine Allemande pour l'utilisation des HVPs comme carburant notamment sur l'huile de colza existe [5]. Cette prénorme (tableau 3) est contestée car les valeurs limites qui y figurent sont difficiles à atteindre dans des conditions réelles. Elle est également établie dans une logique de carburant pour le transport.

Néanmoins un certain nombre des paramètres (teneur en eau, en particule, en phosphore, Acidité, teneur en Ca et Mg) doivent être analysés avant son utilisation comme carburant dans les moteurs.

Tableau 3: Prénorme DIN 51605 pour la production d'huile carburant [5]

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

L'huile répondant ainsi à ces critères de qualité pourrait être utilisée directement comme carburant dans le moteur diesel.

2. Utilisation des HVP dans les moteurs diesels

2.1. Généralités sur les moteurs diesels

Les moteurs diesels sont des moteurs à combustion interne constitués d'un ou des plusieurs cylindres dans lesquels a lieu la combustion grâce au mouvement des pistons. Ils ont pour rôle de transformer de l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique grâce à la combustion. La combustion se déclenche par auto inflammation, le combustible finement nébulisé dans la chambre de combustion par un injecteur est introduit dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne la valeur à laquelle le mélange s'enflamme [10]. L'énergie dégagée par la combustion engendre alors un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle. La figure1 ci-dessous montre le schéma simplifié d'un cylindre, piston, chambre de combustion, injecteur et des soupapes d'admission et d'échappement d'un moteur diesel:

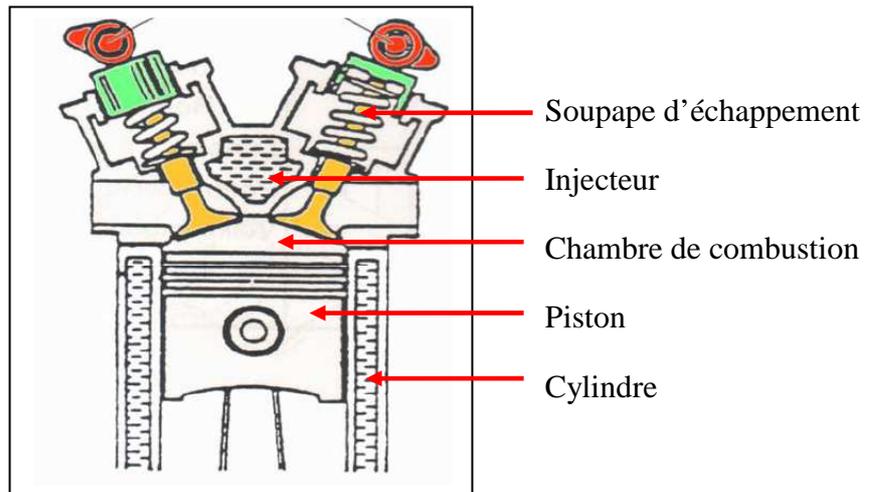


Figure 1: Schéma d'un moteur diesel simplifié

La description complète des éléments physiques du moteur diesel est donnée en annexe 2.

Les moteurs diesel fonctionnent selon le principe du cycle à quatre temps qui comprend les phases suivantes : admission, compression, inflammation-détente et échappement (voir annexe 1). Chaque cycle correspond à deux tours de vilebrequin. Le temps au cours d'un cycle est généralement exprimé en degrés angulaires de rotation du vilebrequin ($^{\circ}V$). Ainsi, au régime de 3000 tr/mn par exemple, $1^{\circ}V$ représente 0,056 ms ; un cycle, soit 2 tours de moteur s'effectue en 40 ms.

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

2.2. Les moteurs à injection indirecte

Ces moteurs équipent la plupart des véhicules automobiles et les très gros moteurs industriels. Pour qu'ils fonctionnent correctement, le carburant et l'air doivent être correctement mélangés. L'injection indirecte constitue le moyen le plus simple de créer une turbulence qui assure un mélange intime de la dose de carburant avec l'air déjà fortement comprimé dans la chambre de combustion (Figure 2a.b). D'une manière générale, ils acceptent bien l'HVP (100%) sans autres modifications que le tarage des injecteurs et le réglage de la pompe d'injection. Ils sont parfois équipés de bougie de préchauffage et fonctionnent à température élevée $500^{\circ}C$ à $600^{\circ}C$ dès 10% de la puissance délivrée [13], la pression d'injection varie entre 120 et 180 bars.

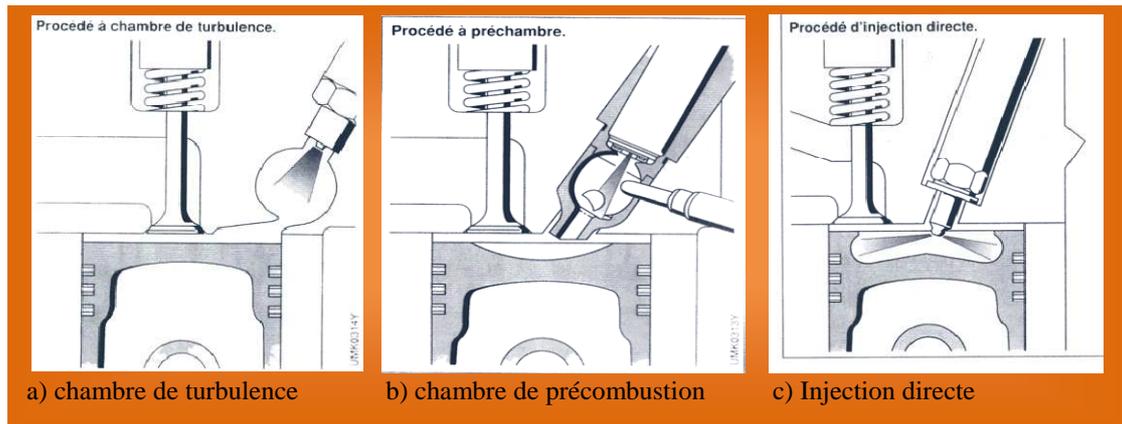


Figure 2: Types d'injection de moteur diesel (Extrait de Cahiers Techniques Bosch)

2.3. Les moteurs à injection directe

Ces moteurs équipent la plupart des tracteurs agricoles depuis 25 ans, les camions et les moteurs statiques industriels. L'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre de combustion (Figure 2.c). Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les huiles végétales pures. Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées, ces types de moteurs connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement [14].

On distingue deux types des moteurs à injection directe:

✓ Injection directe ancienne génération

Ces types de moteurs, lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, la température moyenne de la chambre de combustion est inférieure à 200°C. La pression d'injection est comprise entre 180 et 250 bars [15]. Le moteur doit tourner à au moins 70% de sa puissance maximale pour pouvoir accepter l'huile sans problème [5].

✓ Injection directe nouvelle génération

Ce système se caractérise par une pompe haute pression qui alimente en permanence un tube (rampe) commun relié à chaque injecteur. La pression d'injection atteint 1300 à 2000 bars [15], ce qui permet une pulvérisation très fine du carburant et donc sa meilleure combustion.

Dans tous les moteurs à injection directe nouvelle génération, on peut rouler à 30% d'HVP sans aucune modification [5].

3. Problèmes liés à l'utilisation des HVP dans les moteurs diesel

M. Balat et H. Balat [16] ont conclu que les problèmes de substitution des huiles végétales au gasoil sont surtout dus à leur viscosité élevée, volatilité faible et leur caractère polyinsaturé.

Parmi les caractéristiques physico-chimiques des ces huiles végétales, deux d'entre elles influencent directement le bon fonctionnement des moteurs diesels [10]: la viscosité élevée qui pose des

problèmes d'injection et la composition chimique en acides gras qui entraîne une chaleur élevée d'évaporation et ne permet pas une distillation complète des huiles végétales [10].

3.1. Influence de la viscosité de l'huile

Demirbas [17] a expérimenté que les HVPs sont extrêmement visqueuses. Leur viscosité est 9 à 17 fois supérieure à celle du gasoil à température ambiante. Ce qui pose des problèmes de pompage et d'écoulement à travers les tuyaux et les filtres (colmatage du filtre par les gommages et mucilage présents dans les huiles), mais également une détérioration des caractéristiques du jet injecté dans la chambre de combustion. Des travaux d'A.S. Ramadhas et al [9], il ressort que la viscosité élevée peut mener à la fuite excessive de combustible dans la pompe d'injection. Tandis que la pression de système atteint un niveau inacceptable et affectera l'injection pendant l'atomisation de jet (caractéristiques du jet telles les tailles des gouttelettes sont modifiées). L'effet de la viscosité est critique aux conditions de charges légères ou à vitesse réduite [9].

3.2. Influence des paramètres chimiques de l'huile

P. Bertrand [5] cite comme problème l'indice d'iode élevé des huiles végétales qui conduit à une mauvaise combustion du carburant injecté lequel conduit à un encrassement au nez des injecteurs, du piston ou grippage des segments. L'acidité élevée risque de contaminer l'huile de lubrification (polymérisation), et la mauvaise lubrification conduit à l'échauffement excessif du moteur voir même sa rupture. Les photos de la figure 3 illustrent le problème d'encrassement des pistons après 21 heures de fonctionnement avec des huiles végétales [14].



Figure 3 : Encrassement du piston, Photo CIRAD [10]

4. Solutions aux problèmes d'utilisation des HVP dans les moteurs diesel

Pour résoudre le problème de la viscosité des huiles végétales, G. Labeckas et S. Slavinskas [18] proposaient les méthodes couramment utilisées à savoir la transestérification, le préchauffage ou le mélange avec du gasoil. En plus, d'autres chercheurs suggéraient la modification de la chambre de combustion ou la bicarburation.

4.1. Préchauffage de l'huile et/ou mélange Huile/Gazole

La viscosité élevée des huiles végétales reste un problème majeur à résoudre pour qu'elles puissent être utilisées comme carburant. Il a été constaté des travaux de K. Pramanik [19] que la viscosité de l'huile de Jatropha diminue remarquablement avec l'augmentation de la température, et elle devient comparable au gasoil à des températures supérieures de 75 °C.

D. Agarwal et A.K. Agarwal [20] ont expérimenté que la viscosité élevée de l'huile de Jatropha peut être réduite par chauffage (autour de 80°C) en utilisant les gaz d'échappement du moteur et aussi en mélangeant avec du gasoil. Mais le taux du mélange de l'huile végétale ne doit pas être élevé selon C.D. Rakopoulos et al [21]; 10 à 20% de mélange d'huile dans le gasoil peut être utilisé sans aucune modification, mais au delà de ce taux il se pose un problème de durabilité des composants qui pourra conduire à un dysfonctionnement du moteur diesel.

Les températures de réchauffage sont fonction de la viscosité de l'huile ou du mélange gasoil/huile en présence. L'exemple de la figure 4 montre sur la zone verte (zone de viscosité normalisée) que l'huile de colza devrait être réchauffée jusqu'à 83°C pour qu'elle puisse respecter les exigences techniques établies alors que pour un mélange 50 % gazole et 50 % huile de colza, elle ne devra être réchauffé qu'à 62 °C [10].

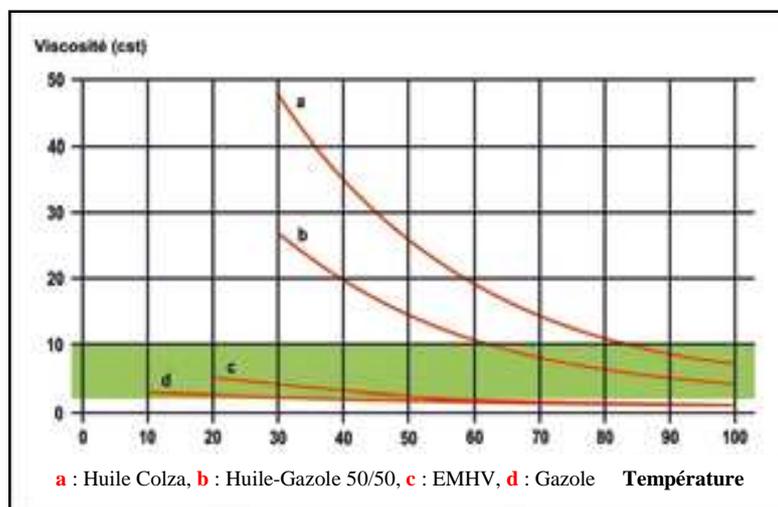


Figure 4: Viscosité du carburant en fonction de température [22]

4.2. Augmentation de la température de la chambre de combustion

Pour des températures de la chambre de combustion supérieures à 500°C, il est constaté une nette amélioration de comportement de l'huile. 500°C étant une référence pour une bonne combustion, on peut réinjecter les gaz d'échappement pour augmenter la température dans la chambre de

combustion. Il est aussi possible de modifier le piston et l'injecteur (travaux de CIRAD) [10] afin que les conditions de températures lors du fonctionnement permettent une combustion complète des huiles végétales.

La température de la chambre de combustion dépend du type du moteur et de la charge appliquée au moteur. Plus le travail du moteur est exigeant en puissance, plus les températures sont élevées, plus l'huile est fluide et sa combustion est complète, donc bien adaptée à la carburaton [23].

4.3.Bicarburaton

Une autre voie sans modification interne des moteurs est l'adaptation d'un circuit d'alimentation en bicarburaton qui consiste à un démarrage/arrêt au gasoil puis passage à l'HVP. Ceci nécessite un réservoir supplémentaire avec ou pas un réchauffeur de l'huile qui fait passer sa température de 35 à 45°C en 3 à 4 mn [23]. Cette solution apparaît aujourd'hui comme la plus aisée. Elle exige cependant une utilisation à plus de 75 % de la puissance maximale des moteurs à injection directe.

Tant que la température de la chambre de combustion est inférieure à 500°C, le moteur reste alimenter en gasoil et dès que la température dépasse ce seuil, un système de basculement pilote une électrovanne (ou vanne manuelle) qui alimente le moteur grâce au circuit huile végétale pure. Le pilotage du système de basculement peut s'effectuer en contrôlant deux paramètres : la température des gaz d'échappement ou la charge du moteur diesel.

Les essais de A. Murugesan et al [6] ont montré que la température des gaz d'échappement augmente avec l'augmentation de la charge du moteur diesel comme la montre la figure 5. Lorsque le moteur diesel fonctionne à 75% de sa puissance maximale une température des gaz d'échappement supérieure à 300°C [6] a été observée. K. Pramanik [19] a trouvé la valeur élevée de la température de gaz d'échappement de 554°C avec de l'huile de Jatropha en pleine charge du moteur diesel, tandis que la valeur correspondante avec le diesel est de 425 °C seulement.

Cette option semble être la plus appropriée pour notre étude car nous pouvons contrôler les deux paramètres (charges du moteur ou température de gaz d'échappement) pour arriver à fixer le moment opportun d'injection des huiles végétales dans un moteur diesel.

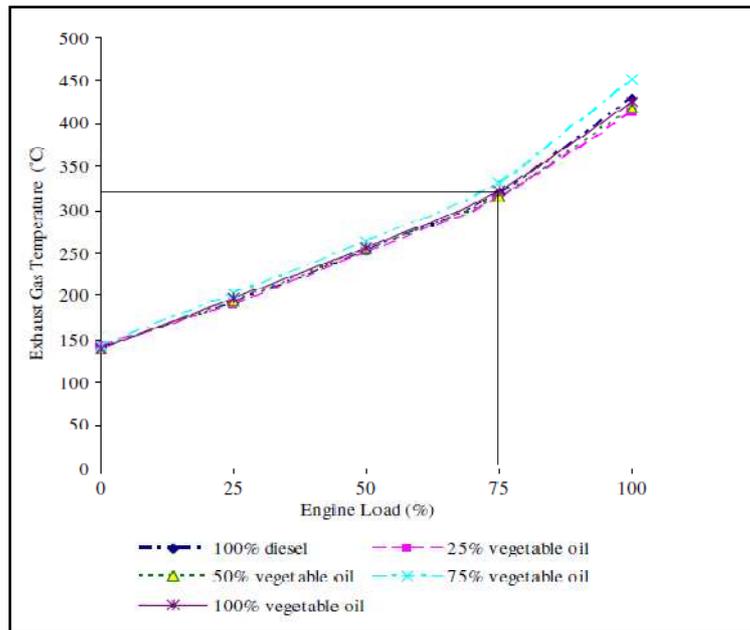


Figure 5 : Température des gaz d'échappement en fonction des charges du moteur [6]

5. Performances du moteur et émissions polluantes

5.1. Performances du moteur

Les essais menés par B. DE THEUX [24] ont montré que la consommation spécifique du moteur diesel avec comme combustible l'huile de palme est de 15 à 20% supérieure à celle du gasoil. Cela est dû à un pouvoir calorifique plus faible de l'huile de palme. Son rendement thermique est aussi un peu faible mais la température des gaz d'échappement est légèrement supérieure [24] par rapport au gasoil.

La consommation spécifique du moteur diesel de l'huile de Poon est 8-15% supérieure à celle du gasoil à toute charge [25]. La raison évoquée est la différence de densité et de pouvoir calorifique inférieur de cette huile comparée à ceux du gasoil. Une pauvre pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion affecte le mélange carburant/air lequel affecte la performance du moteur. Recep Altm et al [26] affirmaient que les valeurs élevées de consommation spécifiques de moteur diesel fonctionnant à huile végétale pure sont dues à leur teneur faible PCI; ils ont expérimenté une consommation spécifique de 290 g/KWh avec de l'huile de tournesol comparée à 245 g/KWh avec du gasoil. K. Pramanik [19] a trouvé en utilisant l'huile de Jatropha, une diminution des consommations spécifiques du carburant avec l'augmentation de la charge du moteur diesel de 0.77 à 3.078 KW.

5.2. Emissions polluantes

F. Jiménez Espadafor et al [8] ont exprimé que lors de combustion d'une HVP, la majorité d'émissions des oxydes d'azote (NO_x) proviennent d'une réaction à hautes températures de l'azote atmosphérique avec l'oxygène présent pendant la combustion. Les émissions des NO_x des huiles végétales pures et leur mélange avec du gasoil sont toutes inférieures à celles du gasoil [6]. C'est la plus importante émission gazeuse caractéristique des huiles végétales.

La formation de l'oxyde de carbone (CO) est principalement une fonction de rapport d'excès-air. Cette formation est fortement affectée par des conditions locales dans la chambre de combustion. Par ailleurs, l'oxygène supplémentaire lié à l'HVP contribue à une plus grande réduction de formation de CO [8]. Les émissions de CO de l'huile végétale sont inférieures à celles du carburant diesel en pleine charge du moteur ; mais lorsqu'il s'agit de charge partielle du moteur, les émissions de CO sont légèrement plus élevées [6]. Les émissions de l'hydrocarbure (HC) d'huile végétale sont également inférieures à celles du carburant diesel d'après Y.D. Wang et al [27].

O.M.I. Nwafor [28] lui a expérimenté que l'huile végétale non préchauffée offre une réduction en émission des HC par rapport à l'huile préchauffée et ses résultats indiquaient que l'émission des HC est influencée par la viscosité du carburant utilisé.

Les essais de S.K. Haldar et al [29] ont montré aussi que les émissions telles que de CO, CO₂, NO_x et HC pour les huiles végétales sont inférieures par rapport à celles du diesel aux charges élevées. Cependant, à de faibles charges les émissions pour les huiles sont presque parallèles au diesel. En raison de la température d'inflammation plus élevée et d'une meilleure combustion, les huiles végétales donnent moins d'émissions de fumées à l'échappement que le diesel.

Une étude comparée des émissions polluantes de gasoil et de l'huile de colza ont révélé que pour une température de la chambre de combustion inférieure à 500°C [10], l'huile émet plus des polluants (CO, HC, NO_x) que le gasoil par contre lorsque la température est supérieure à 500°C les rejets observés sont moins importants que ceux du gasoil (Figure6).

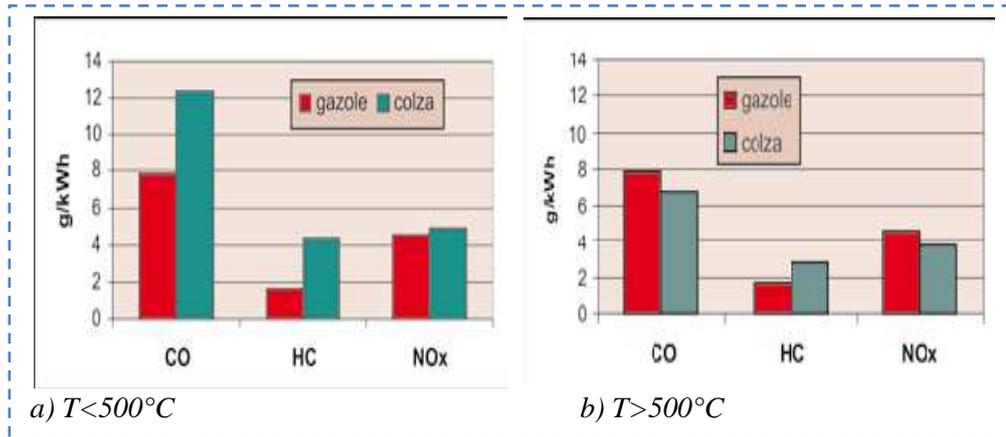


Figure 6: Nature des gaz rejetés lors d'une combustion [10]

6. Conclusion

La carburant à l'huile végétale n'est efficace que lorsque le moteur diesel à injection directe est suffisamment chaud et il tourne à 75% de sa charge maximale. Sinon, il faut s'attendre à des pertes de puissance dues à une mauvaise combustion et donc de l'encrassement et plus d'émissions polluants. La température ainsi que la pression dans la chambre de combustion jouent un grand rôle du point de vue de rendement lors de l'utilisation des huiles végétales comme carburant dans le moteur diesel. A cet effet le maintien d'un minimum de température (500°C) dans la chambre de combustion doit s'imposer pour une utilisation efficace des HVPs. Le système de bicarburant est le mieux adapté sur tous les types de moteurs diesels. Les kits de bicarburant présentement disponibles sur les marchés européens étant très onéreux pour une utilisation dans les campagnes, nous avons pensé dans la suite de l'étude concevoir un kit de bicarburant au niveau local et à moindre coût à l'image de ce qui est présent au marché selon le programme ci-dessous :

- Enquête sur la capacité du marché local à répondre à une demande en matière de bicarburant ;
- Proposition des schémas possibles de bicarburant ;
- Conception et caractérisation de ces kits.

II. ENQUETE SUR LES ELEMENTS DE BICARBURATION

1. Introduction

Dans un souci de conception du kit de bicarburateur avec des équipements locaux, des enquêtes dans les marchés de Ouagadougou ont été menées. Ces enquêtes ont été essentiellement faites sur les éléments indispensables pour la réalisation du kit de bicarburateur. Il s'agit principalement, des réservoirs, des filtres à gasoil, des flexibles, des électrovannes, des vannes à trois voies manuelles. L'objectif visé, est de localiser et chiffrer ces éléments afin de faciliter leur acquisition au moment voulu. A cet effet, vingt trois boutiques ont été enquêtées dans la ville de Ouagadougou pour avoir une idée du marché à la livraison de ces éléments afin de concevoir un kit efficace et à un prix moins onéreux.

2. Résultats de l'enquête

L'enquête a été conduite en interrogeant 23 boutiques dont les détails se trouvent dans la fiche d'enquête en annexe 7. Les boutiques ont été dénombrées et classées selon leurs types dans le tableau4.

Tableau 4: Dénombrement et classification des boutiques par type

Boutiques	Types et nombres
1. Quincaillerie Maison Commerciale 2. Quincaillerie Yameogo Issaka 3. Quincaillerie Abdoulaye SAWADOGO 4. Quincaillerie Neema	4 Quincaillerie
1. E.T.B.F Représentant de la Maison RHINO 2. SIVAUM Grand marché Vente Moulin 3. Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté 4. FASO CADEAU IMPORT-EXPORT 5. E.S.A.F.F Ets. SAWADOGO Frères et Fils 6. E.H.M.T COMMERCE GENERAL 7. E.T.D.F Représentant d'UPKAR	7 Etablissements de vente des moteurs de moulin et pièces détachées
1. Diacfa Accessoires 2. C.B.B 3. diacfa Matériaux 4. ETS. LOCKS & TOOLS	4 Grands Etablissements Vente des pièces détachées diverses
1. Ets.KABRE P. MICHELE 2. B.B.C Maison Vachette MV 3. E.C.I.F Wend-Panga 4. Plombier Secteur N°6 Kamsoguin	4 Plomberie
1. Faso-Pièce Auto 2. Ets. Abdoulaye SAWADOGO 3. Boutique Sis face diacfa Matériaux 4. Plombier détaillant	4 Casse auto et autres

Les résultats de l'enquête sur la disponibilité des éléments indispensables pour la réalisation de ce projet donnent les conclusions résumés dans les tableaux ci-dessous. Deux choix de fabrication du kit de bicarburateur sont possibles en fonction de la disponibilité des ces éléments.

Tableau 5: Résultats de la disponibilité des équipements

✓ 1^{ère} option :

Équipement	Boutique
Réservoir	5/11
Filtre	7/11
Flexible	12/15
Electrovanne	0/4
Vanne à 3 voies	0/4
Pompe pré-gavage	0/4

Le résultat étant négatif pour, l'électrovanne, les vannes trois voies et pompe de pré-gavage, nous avons alors trouvé des moyens de les contourner. Il s'agit d'un tube en Té, de deux vannes manuelles avec les adaptateurs nécessaires.

Le support sera conçu de telle sorte que les réservoirs soient plus élevés qu'à l'origine, des flexibles de diamètres plus grands ont été prévus par conséquent.

Le résultat de l'enquête menée sur ces équipements est le suivant.

✓ 2^e Option :

Équipement	Boutique
Réservoir	5/11
Filtre	7/11
Durit	12/15
Vanne 1 voie manuelle	8/10
Tube en Té	6/10
Mamelon	5/10
Réducteur	5/10

3. Analyse et discussion des résultats de l'enquête

- Le réservoir a été enquêté dans les grands établissements de vente des pièces détachées et les établissements de vente des moteurs de moulin et pièces détachées diverses. Le résultat montre que sur 11 boutiques prospectées 5 seulement en possèdent. Cela peut s'expliquer par le fait que le réservoir ne peut se trouver que dans les boutiques qui vendent à la fois les moteurs et leurs pièces détachées. Alors, pour le retrouver rapidement ça serait plus facile de cibler directement les boutiques qui vendent des moulins.

La fabrication d'un réservoir à deux compartiments pourrait nous intéresser car il occupe moins d'espace et ne demande pas de support additionnel. Mais cette option, après enquête auprès des soudeurs, semble être plus coûteuse et moins précise. La simple raison avancée par certains

soudeurs est qu'ils n'avaient pas essayée avant et donc pas sur de le réaliser conformément à la demande alors que pour d'autres qui se disent plus professionnels, elle demande plus de travail donc plus du temps et plus d'investissement.

- Les enquêtes menées sur les filtres dans les boutiques citées ci-haut montrent que sur les 11 boutiques demandées 7 en disposent. Ici, nous pouvons dire que ces filtres se vendent soit avec le moteur soit en pièce détachée car certains commerçants nous rassurent qu'ils peuvent nous les trouver même s'ils n'en possèdent pas sur le champ. Ainsi, cinq types de filtres à gazoil ont été identifiés, il s'agit de:

- ✓ Rhino filter AD 600
- ✓ Filtre avec retour de l'injection
- ✓ FIAM FP4935
- ✓ Filter 5000686589
- ✓ Filter CS 156

Il faut noter que les deux derniers filtres sont vendus sans leur support, et ce support à lui seul qui coute environ 200.000 FCFA car cet élément est initialement conçu pour les véhicules Renault. Nous pensons donc dans cette étude changer le filtre existant AD 600 par un filtre ayant une plus grande surface de l'élément filtrant pour augmenter la durée de colmatage. Le filtre avec retour de l'injection a été retenu (voir photo 6). Mais comme ce dernier ne pouvant être fixé directement au moteur, un support lui a été réalisé.

- Les flexibles se trouvent un peu partout au marché notamment dans les établissements de vente des moteurs de moulin et pièces détachées, dans les quincailleries et les plomberies. Nous dénombrons 12 sur 15 boutiques interrogées. Nous distinguons deux types de flexibles : les flexibles in inox dont la plupart sont conçus pour d'autres usages notamment hydrauliques et gaz, que nous pensons les adapter pour notre application. D'autre part, il y'a les flexibles transparents et les durits qui se trouvent rarement au marché, seulement 4 sur 15 boutiques interrogées en possèdent. L'utilisation des durits dans le cadre du projet permet la facilité d'écoulement de l'huile compte tenue de sa viscosité élevée par rapport au gazole. Ces éléments pourraient être plus abondants et à moindre prix au marché si des besoins potentiels se faisaient sentir.

- L'électrovanne et la vanne à 3 voies manuelles recherchées sont pratiquement introuvables au marché, sur 4 grandes boutiques visées (Grands établissements vente des pièces détachées diverses), aucun n'a pu les livrer. On note que certains vendeurs ignorent même l'existence des tels éléments. Néanmoins diacfa-Matériaux s'est montrée capable de les fournir sur commande. Par ailleurs, nous avons pensé récupérer dans les casses automobiles des vannes à 3 voies manuelles pour une adaptation plus efficace pour notre cas, mais malheureusement on n'en trouve pas, donc on ne peut que penser à l'utilisation de vanne à une voie manuelle.

- La vanne à une voie manuelle est facilement trouvable dans les quincailleries, les plomberies et même avec les détaillants au marché. Sur 10 boutiques ciblées on en trouve 8. Il faut signaler que les vannes de petit diamètre (8 mm) souhaitées pour notre projet se trouvent dans une seule boutique sur les 10 (boutique Sis face diacfa matériaux). La raison est que la demande de ces éléments de petits diamètres n'est pas élevée auprès des vendeurs ce qui ne les motive pas à les importer.
- Les Tube en Té, Mamelon, Réducteur sont disponibles dans les quincailleries, plomberies ainsi que chez les détaillants. Nous dénombrons respectivement 6, 5 et 5 sur 10 boutiques sensées nous livrer. Mais nombreux sont ceux de grand diamètre (15 et 12 mm). Encore, les petits diamètres nous avons pu les identifier qu'avec la boutique Sis face diacfa-matériaux. Pour des raisons de stabilité et efficacité de fonctionnement du système, nous avons jugé utile de soulever le réservoir de quelques centimètres de sa position d'origine pour que l'écoulement puisse se faire facilement par gravitation. Pour cette raison des cornières et chevrons sont prévus pour la fabrication du support.

Dans le but de réaliser un système efficace, économique et simple à utiliser en milieu rural nous avons prévu des vannes à basculement manuel contrairement aux kits de bicarburation fabriqués en Europe. Dans cette conception certains éléments ne sont pas introduits dans le système non seulement qu'ils sont rares à les trouver au marché local mais également leur intégration complique la mise en œuvre du système. Il s'agit d'une pompe de pregavage, d'une électrovanne ou d'un système de préchauffage de l'huile végétale pure. Le problème d'écoulement du carburant à travers les conduits est résolu par le fait que le réservoir soit soulevé de 16 cm par rapport à sa position d'origine car ceci facilite la descente de l'huile par gravitation. L'écoulement du carburant est en plus facilité par l'utilisation des flexibles (durits) de 8 mm de diamètres presque le double du di aux flexibles d'origine. Par ailleurs, la pompe de pregavage nécessite une alimentation électrique par une batterie ou en adaptant à partir de l'alternateur couplé au moteur pour son fonctionnement et cela non seulement complique sa mise en œuvre dans un monde rural mais également augmente le cout d'investissement. Pour profiter de surplus de carburant renvoyé au niveau de l'injecteur, nous préférons utiliser le réservoir d'huile comme récepteur de ce surplus pour assurer un mélange huile/gasoil.

4. Conclusion

Il ressort de cette enquête que la fabrication d'un kit de bicarburateur semi-automatique, c'est-à-dire avec une électrovanne n'est pas facile car l'enquête révèle que le marché local n'en dispose pas l'élément en question. Dans la logique de conception d'un kit de bicarburateur à moindre coût, la commande de cette électrovanne revient chère. Cependant, son équivalent a été découvert localement pour réaliser un système avec des vannes manuelles.

III. REALISATION DU KIT DE BICARBURATION

1. Introduction

Après la phase de l'enquête, la réalisation du kit de bicarburation est abordée dans cette partie. Il s'agit de faire ressortir les différentes étapes qui nous ont conduits au choix de la technologie avec les équipements ainsi identifiés dans les différents marchés de la ville de Ouagadougou. Ensuite, il s'agit de procéder au montage du kit de bicarburation ainsi réalisé.

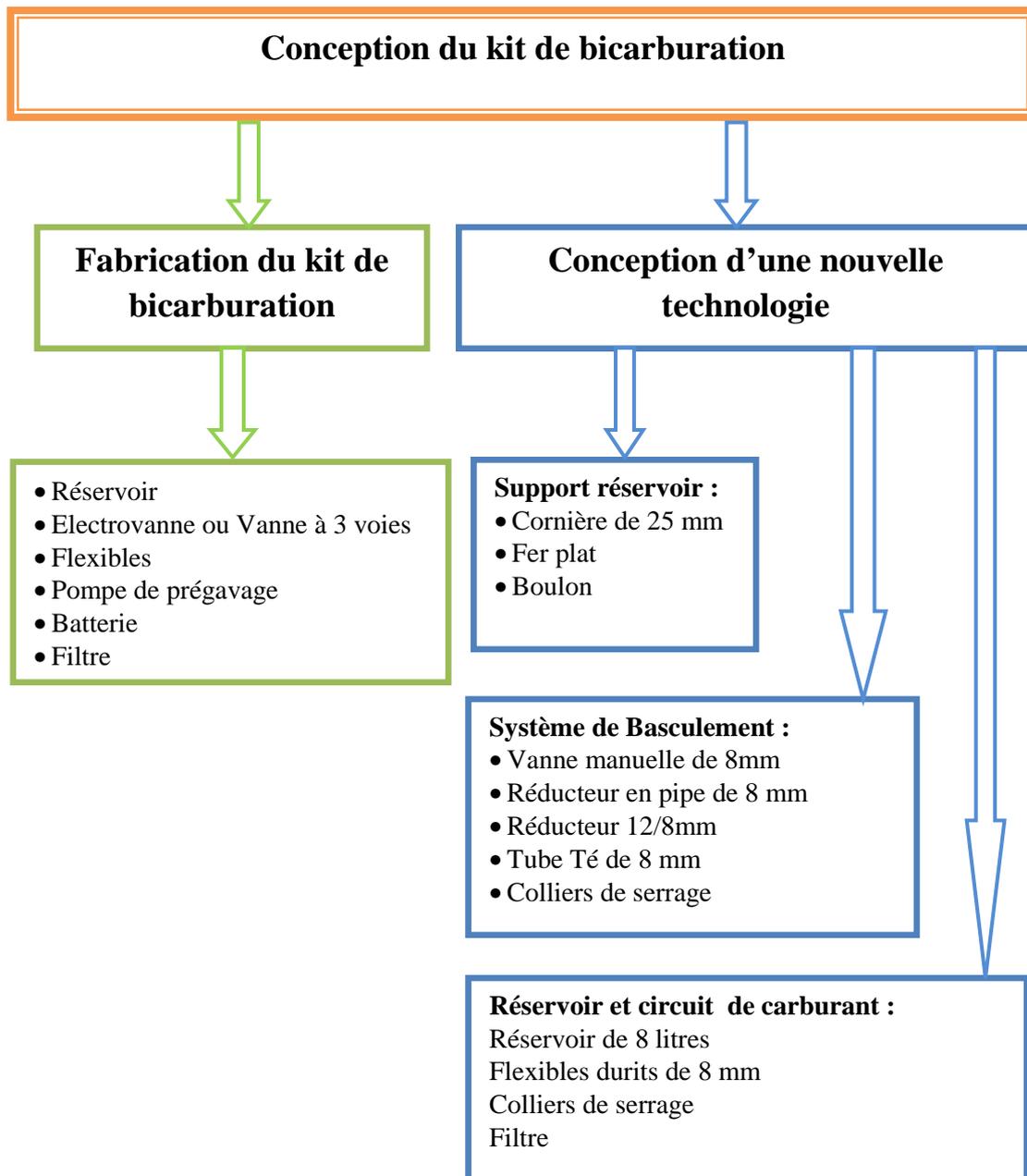


Figure 7: Différentes phases de la conception du kit de bicarburation

Pour réaliser le kit de bicarburaton, nous avons deux choix possibles comme le montre le schéma précédent. Réaliser un kit de bicarburaton semi-automatique avec les mêmes éléments que celui conçu en l'Europe (kit standard). Pour cette option, un certain nombre d'éléments manquent notamment l'électrovanne et la pompe de prégavage. En plus, comme le kit de bicarburaton est à usage rural, le prix de revient de cette technologie est cher aux paysans. Cependant, nous avons pensé à la conception d'une nouvelle technologie avec les éléments cités ci-haut dans la figure 8. Avec ces éléments nous pouvons monter 4 schémas de bicarburaton possibles (voir annexe 6):

- ***Schéma avec pré-filtre d'huile à support encastré au sol***

Ce schéma a deux points d'encastrement. L'un est fixé au sol, l'autre bout est fixé au moteur. Pour soulever les réservoirs de 16 cm, ce schéma requiert un chevron lequel demande également d'être fixé. L'implantation d'un tel schéma requiert la construction d'un socle solide pour résister aux vibrations du moteur. Ce montage pourrait être encombrant en cas d'usage multifonction du moteur.

- ***Schéma sans pré-filtre d'huile à support encastré au sol***

Ce schéma a pratiquement les mêmes caractéristiques que le précédent. La seule différence remarquable est l'absence du filtre sur le circuit d'HVP. Ce montage ne serait utile que lorsque le filtre d'origine a la capacité de filtration adaptée à l'huile végétale pure.

- ***Schéma avec pré-filtre d'huile à support solidaire au moteur***

Ce type de montage est nettement moins encombrant par rapport aux deux précédents. Cependant, sa réalisation nécessite une grande précision pour pouvoir le dimensionner afin qu'il puisse supporter les charges qui lui seront soumises.

- ***Schéma sans pré-filtre d'huile à support solidaire au moteur***

Ce montage est encore moins coûteux que le précédent alors que leur conception est typiquement la même. La seule différence qu'on peut noter est l'absence du pré-filtre d'huile dans le circuit. Il faut encore le préciser que ce type de montage n'est utilisable que lorsque le filtre d'origine peut faire fonctionner le moteur sans difficulté majeure avec de l'HVP.

Après analyse et discussion de ces schémas, il ressort que la dernière conception semble être mieux adaptée à notre étude.

2. Schéma d'installation du kit de bicarburaton

A priori, le troisième schéma de l'annexe 5 convient pour cette étude, mais la présence du filtre sur le circuit d'huile provoque une perte de charges dans le circuit d'HVP, donc diminue le débit d'écoulement de l'huile pendant le fonctionnement du moteur. A cet effet, le schéma de la figure suivante a été retenu.

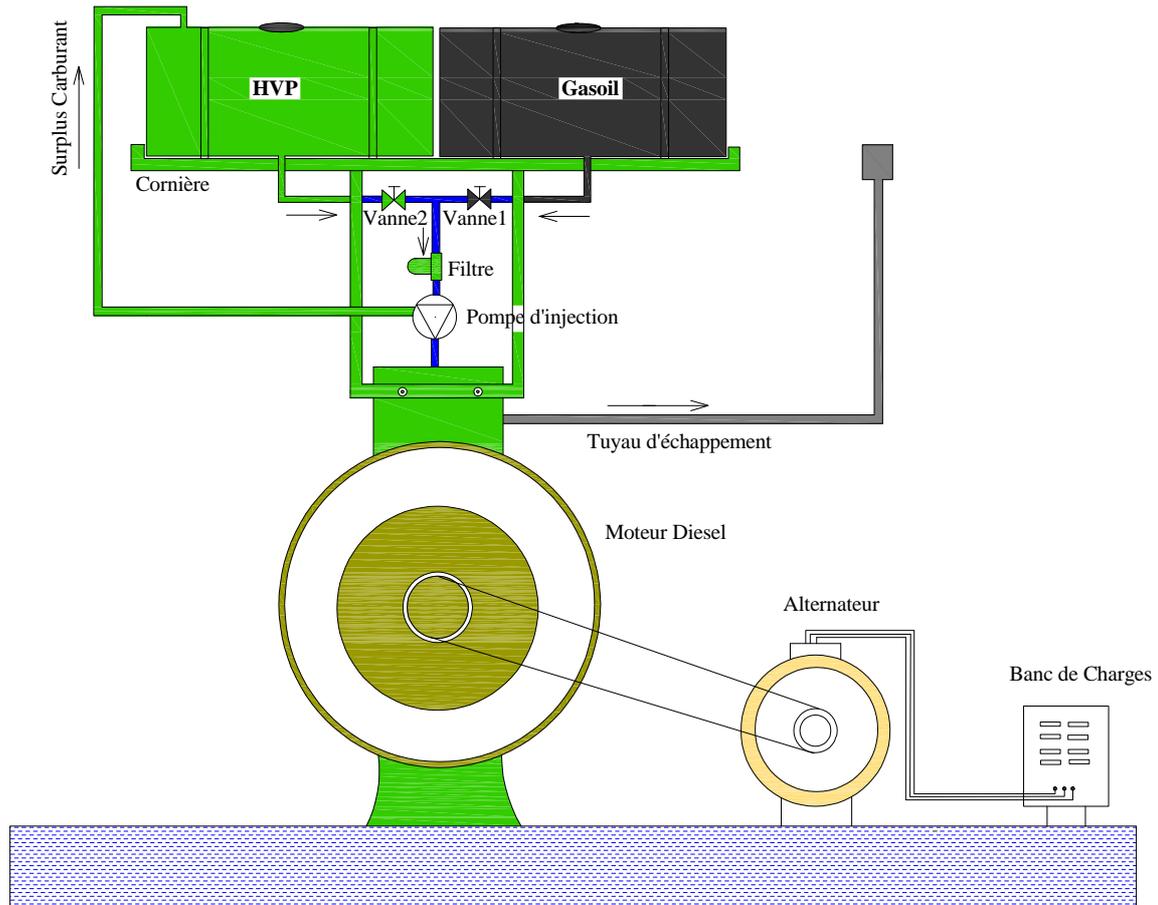


Figure 8: Schéma d'installation du kit de bicarburant

3. Les différentes phases de la réalisation du kit de bicarburant

La conception de ce kit est répartie en 3 phases : conception du support de réservoirs, le système de basculement et circuit d'alimentation en carburant.

3.1. Support de réservoirs

Le support d'origine conçu avec une cornière de 20 mm était fait pour supporter un seul réservoir de 12 litres. Pour le nouveau support, la cornière d'origine a été remplacée par des cornières de 25 mm. Cet élément supporte le poids de 2 réservoirs de 8 litres chacun et est fixé au moteur par 4 boulons de 15 mm. Les réservoirs sont montés au support et attachés par des fers plats. Ce support permet également au système de basculement d'être fixé afin de faciliter sa mise en œuvre. Trois schémas (voir annexe 7) de support ont été proposés parmi lesquels le schéma ci-dessous a été retenu et réalisé.



Photo 1 : Support des réservoirs

3.2. Système de basculement

Le système de basculement manuel retenu remplace l'utilisation d'une électrovanne ou d'une vanne à trois voies manuelles. Ce système est constitué d'un tube en T de 8 mm, de deux vannes manuelles de 8 mm, de deux mamelons de 8 mm et de trois adaptateurs en pipe (Niples). L'ensemble de ces éléments sont montés et fixés au support par des colliers de serrage métalliques. Ce système permet à l'opérateur de faire fonctionner le moteur diesel soit par le gasoil soit par l'huile végétale pure.



Photo 2 : Système de basculement

3.3. Circuit d'alimentation en carburant

Le circuit d'alimentation en carburant comprend les éléments suivants : 2 réservoirs (Gasoil et HVP), des flexibles durits de 8 mm de diamètre et d'un filtre. Les réservoirs sont soulevés de 16 cm par rapport à la position d'origine afin de faciliter la descente du carburant par gravitation. Cette option nous permet d'éviter l'utilisation d'une pompe de pré-gavage. Nous avons choisi ce type de

durit afin de faciliter l'écoulement du carburant. Le bout de chaque durit est serré par des colliers métalliques pour éviter d'éventuelle fuite de carburant. Un seul filtre est utilisé pour la filtration du carburant. Ce filtre n'étant pas conçu pour monter sur notre moteur, nous lui avons fabriqué un support permettant de le fixer directement.

En effet, 3 principaux circuits sont réalisés et identifiés par 2 couleurs différentes:

- **Circuit gasoil:** Entre le réservoir de gasoil et la vanne-gasoil (couleur noire)
- **Circuit HVP:** Entre le réservoir d'HVP et la vanne-HVP (couleur verte)
- **Circuit commun aux 2 carburants:** Entre la sortie de tube en Té et le filtre.



Réservoirs



Flexible durit



Filtre et son support

Photo 3 : Eléments du circuit d'alimentation

Tous les éléments indispensables d'un kit de bicarburateur étant réunis, nous procéderons à son montage au moteur.

4. Montage du kit de bicarburateur et mise en marche du moteur

Le montage consiste dans un premier temps à démonter le réservoir d'origine, puis commencer à monter un à un les éléments du kit de bicarburateur selon les étapes explicitées sur la page suivante.

Moteur avant le kit de bicarburation

Moteur après le kit de bicarburation



Démonter le réservoir d'origine

Fixer les réservoirs au support par des fers plats et vis de 13et serrer les durits



Fixer le support au monter par des vis de 15

Fixer le filtre et connecter les durits



Assembler les éléments du système de basculement et le fixer au support



Photo 4: Etapes de montage du kit de bicarburation

Une fois le kit de bicarburation est monté, sa mise en œuvre nécessite un protocole d'utilisation (voir annexe 5). Ce protocole permet de caractériser le kit de bicarburation afin de fixer le moment

opportun de basculement du système. Après démarrage du moteur au gasoil, 5 minutes sont prévus pour la sécurité du moteur. Ensuite, le moteur sera chargé progressivement pour atteindre la charge à laquelle le basculement s'opère. Pour clore cette partie toutes les dépenses qui ont permis de fixer le kit sont décrites dans le tableau 6.

5. Cout de réalisation du kit de bicarburateur à commande manuel

Tableau 6: Cout total de réalisation du projet

Référence	Désignation	Quantité	PU(FCFA)	PT(FCFA)
Les éléments du circuit d'alimentation				
1	Réservoir de 8 litres	2	14 000	28 000
2	Durit Moteur	2	750	1 500
3	Collier de serrage	6	150	900
4	Filtre	1	8 500	8 500
Total				38 900
Les éléments du support des réservoirs				
5	Cornière 25 mm	6	750	4 500
6	Fer plat d'attache	1	500	500
7	Vis de serrage	8	75	600
8	Peinture	2	500	1 000
9	Main d'œuvre	-	5 000	5 000
Total				11 600
Les éléments du système de basculement manuel				
10	Vanne manuelle de 8mm	2	4 000	8 000
11	Tube en Té de 8 mm	1	1 000	1 000
12	Mamelon de 8 mm	2	1 000	2 000
13	Réducteur de 12/8 mm	2	1 000	2 000
14	Nipples de 8 mm	6	1 500	9 000
15	Collier de serrage	2	150	300
Total				22 300
Total pour un kit de bicarburateur à commande manuel				72 800

Le présent devis est arrêté à la somme de soixante douze mille huit cent francs (**72.800 FCFA**).

Le cout d'achat des éléments du circuit d'alimentation représente les 53% du budget total. Les éléments du support des réservoirs occupent les 11% et les éléments du système de basculement occupent les 30% du cout total de réalisation de ce projet.

Nous remarquons que le cout d'achat des éléments du circuit d'alimentation constitue le gros lot du budget.

6. Conclusion

Malgré le manque des certains éléments indispensables pour la réalisation d'un kit de bicarburation à basculement automatique, sur place une solution alternative a été trouvée au cours de ce projet. La réalisation d'un kit de bicarburation à basculement manuel a été effectivement concrétisée après une étude minutieuse sur les choix possibles. Le cout total de réalisation d'un tel projet s'élève à soixante douze mille cent francs FCA (72 800 FCA). Cette technologie moins onéreuse comparée aux kits de bicarburation fabriqués en Europe peut être réalisée en suivant les étapes décrites dans la fiche technique en annexe 4.

IV. ESSAIS EN CHARGE DU MOTEUR

1. Introduction

Les essais ont été effectués sur le banc moteur du Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburant (LBEB) du 2iE. L'essai s'est déroulé à l'aide d'un moteur diesel monocylindre à injection indirecte de type Lister refroidi à eau. Le moteur est soumis à des charges résistives via un alternateur et fonctionne avec du gasoil et de l'huile de coton. Le but de ces essais est de repérer le moment favorable de basculement d'un carburant à l'autre grâce à une information sur la température des gaz d'échappement.

2. Matériels et méthode

Les principaux matériels utilisés pour les essais sont composés des éléments suivants :

- ✓ D'un moteur diesel Rhino doté d'un kit de bicarburant manuel;
- ✓ D'un alternateur de type STC-8;
- ✓ De deux banc de charges résistives triphasés de 4 kW chacun ;
- ✓ De deux thermocouples à sonde ;
- ✓ Des futs d'eau pour le refroidissement du moteur.



Moteur diesel



Alternateur



Banc de charges



Thermocouple

Photo 5: Matériels pour les essais

Les caractéristiques techniques du moteur et de l'alternateur utilisés sont spécifiées dans le tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7: Caractéristiques techniques du moteur et de l'alternateur

	Caractéristiques	Spécifications
Moteur	Type	Peter Lister
	Combustion	Injection Indirecte
	Nombre de cylindres	1
	Diamètre du piston	114,3 mm
	Course du piston	139,7 mm
	Vitesse de rotation	850 tr/min
	Puissance	5,9 kW
	Injecteur	injecteur à un seul jet
	Pompe d'injection	pompe en ligne
	Filtre à air	filtre cartouche à papier
	Filtre à gasoil/Huile	filtre d'origine
Mode de refroidissement	refroidissement par thermo circulation d'eau	
Alternateur	Type	STC-8
	Puissance	10 kVA
	Vitesse de rotation	1500 tr/min
	Cos φ	0,8

2.1.Détermination de la puissance transmissible à l'alternateur

Le moteur entraîne un alternateur électrique par l'intermédiaire d'une courroie trapézoïdale dont le rendement moyen de transmission est de 0,83 [30] et le rapport de transmission des vitesses de rotation entre le moteur et l'alternateur est de 1,76. Ces informations nous permettent d'avoir une idée sur la puissance transmissible à l'alternateur connaissant la puissance mécanique du moteur diesel.

2.2.Détermination du temps de fonctionnement du moteur à gasoil avant son arrêt

Pour arrêter un moteur diesel fonctionnant à l'HVP, il est nécessaire de connaître le temps qu'il mettra pour remplacer toute l'huile végétale dans le circuit par de gasoil. A cet effet, plusieurs essais ont été effectués pour déterminer ce temps. La méthode utilisée consistait à créer au niveau du filtre une petite fuite (voir photo 6). Cette fuite permet d'inspecter après basculement de l'huile végétale pure vers le gasoil la nature du carburant qui sort. Ainsi, dès l'instant où on bascule, le chronomètre est activé. Chaque cinq minute, la fuite est nettoyée afin d'apprécier la nature du carburant sortant. Cet essai répété plusieurs fois nous permet d'estimer le temps nécessaire de passage d'un carburant à l'autre.

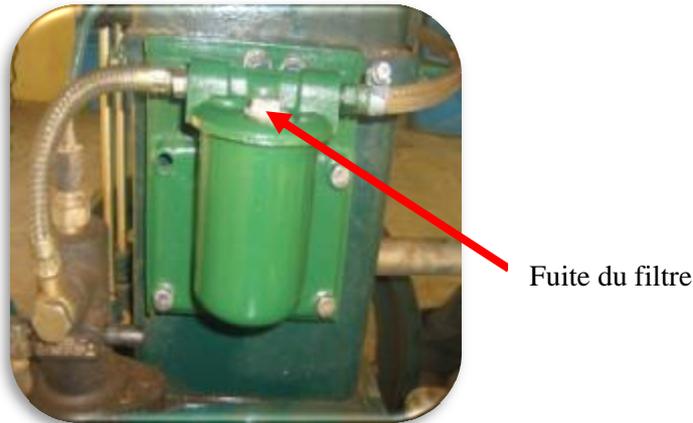


Photo 6 : Creation d'une fuite au niveau du filtre

2.3.Détermination de la température des gaz d'échappement en fonction des charges

La mesure de la température des gaz d'échappement se fait à l'aide d'une sonde thermocouple de type K placée dans le courant des gaz d'échappement, le plus près possible du moteur. L'étendue de mesure de cet appareil va de -200°C à 1250°C [31]. Parallèlement des mesures de la tension délivrée par l'alternateur et la température de l'eau de refroidissement du moteur sont également effectuées.

Des mesures en charges sont effectuées progressivement de 0 à 6 KW à pas de 600 W. Pour chaque pas, cinq minutes sont maintenues pour voir la stabilité de la valeur lue de la température. Une mesure est faite à la première minute, une deuxième est faite à la troisième minute et dernière est faite à la cinquième minute.

Une fois la charge limite est atteinte, le moteur est arrêté pour lui donner le temps de se refroidir avant de commencer l'essai suivant.

3. Résultats et discussions des essais

Les essais ont été effectués avec un pas de 600 Watts. Pour chaque essai, on a deux phases :

La première phase avec du gasoil et la seconde phase avec de l'huile de coton. Les résultats obtenus lors de ces essais concernent :

- ✓ La température du basculement du moteur du gasoil à l'HVP au démarrage;
- ✓ La détermination de la puissance d'un équipement grâce à la température des gaz d'échappement;
- ✓ La détermination du temps de fonctionnement du moteur à gasoil avant d'être arrêté.

3.1. Température de basculement de gasoil à l'HVP

Dans les moteurs diesels à injection indirecte, la température moyenne de la chambre de combustion est d'environ 500 à 600 °C dès 10 % de la puissance délivrée [13]. Dans nos essais nous avons pris 20% pour plus de sécurité du moteur.

Lorsque le moteur est à 20% de sa puissance maximale, une température de 244°C (mesurée à 6 cm de la culasse) est relevée (voir figure 9). C'est-à-dire à partir de cette charge le moteur diesel à injection indirecte peut sans problème fonctionner avec des HVPs. La combustion de l'huile de coton à cette température est donc complète.

3.2. Température des gaz d'échappement en fonction des charges du moteur

Au début de chaque manipulation une tension à vide autour de 440 volts est relevée au niveau de l'alternateur. Puis on charge progressivement le moteur et voir simultanément l'évolution de la température des gaz d'échappement et la tension au niveau de l'alternateur.

Les résultats de ces essais sont consignés dans les tableaux 8, et les allures des variations de la température des gaz d'échappement en fonction de la charge sont tracées dans les figures 9.

Tableau 8: Température des gaz d'échappement en fonction de charge à pas de 600W

Charge (W)	T° Gasoil (°C)	T° HVP (°C)	T° Eau (°C)	Temps (min)	Tension(V)
0	175	176	55	30	440
600	212	206	57	5	430
1200	244	242	59	5	420
1800	270	272	60	5	410
2400	298	312	61	5	400
3000	321	345	63	5	390
3600	355	389	64	5	380
4200	405	436	67	5	370
4800	450	494	70	5	360
5400	490	518	71	5	350
6000	480	502	71	5	300

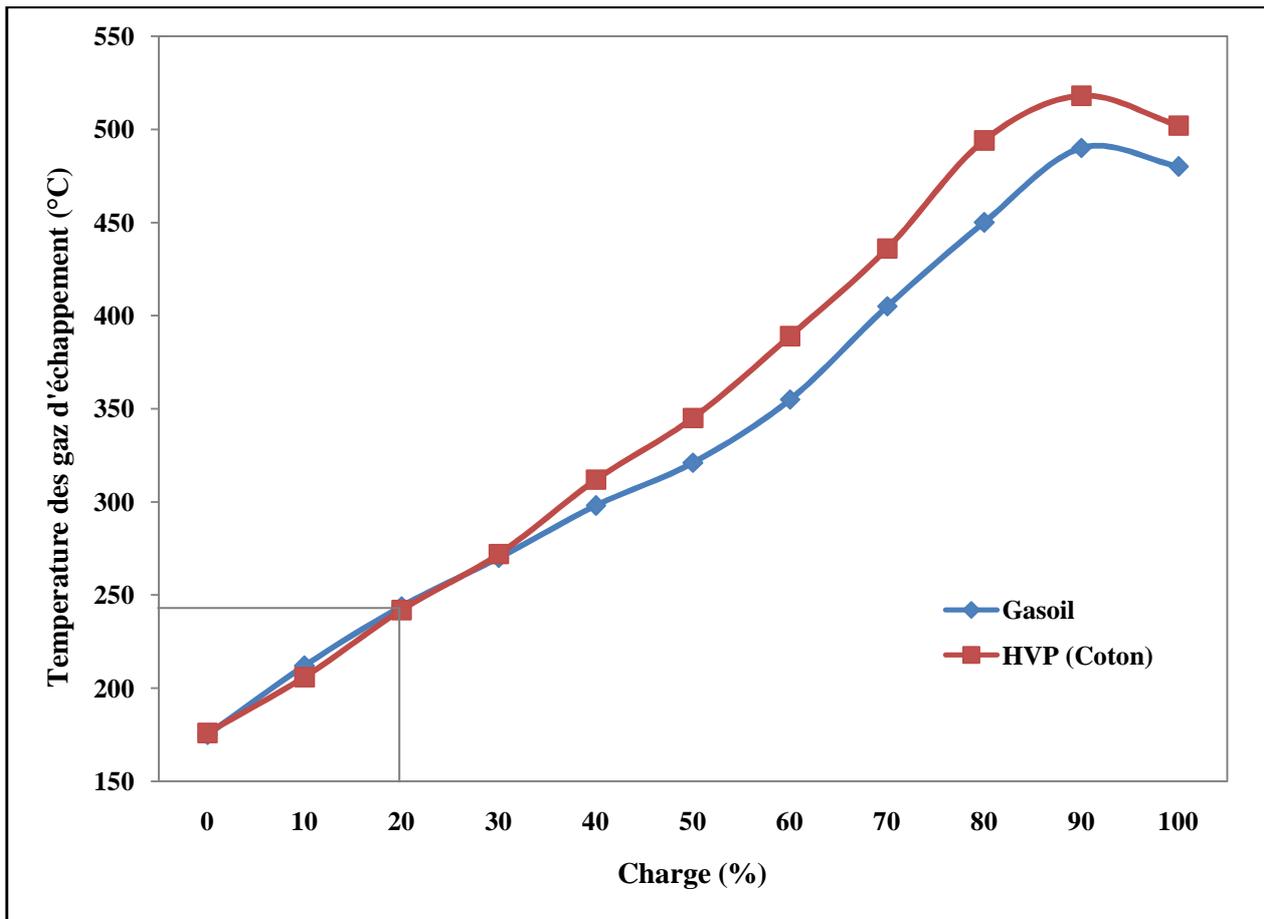


Figure 9: Température des gaz d'échappement en fonction de charges à pas de 600 W.

Les courbes de la figure 9 montrent la variation de la température des gaz d'échappement en fonction de charges pour les deux types de carburant utilisés (Gasoil et Huile de Coton). Plus on charge le moteur, plus la température des gaz d'échappement augmente. Ce comportement a été décrit aussi par A. Murugesan et al [6] dans leur article (figure 5).

A faible charge entre 0 et 30%, l'allure de la courbe de température de gaz d'échappement du gasoil est légèrement plus élevée. Au delà de 30% de la puissance du moteur, une augmentation de la température des gaz d'échappement de l'huile de coton par rapport au gasoil est observée. Ces résultats confirment bien les travaux de K. Pramanik [19] qui a trouvé une valeur de température des gaz d'échappement de 554°C avec de l'huile de Jatropha en pleine charge du moteur, tandis que la valeur correspondante avec le gasoil est de 425 °C. Les différentes températures relevées nous donnent une information sur la puissance de l'équipement couplé au moteur. Ainsi, la connaissance de ces températures constitue un outil pour déterminer la puissance d'un équipement.

Par ailleurs, le moteur étant limité en puissance, un seuil des charges ne doit être dépassé. Au-delà de 90% de sa puissance maximale, une baisse de régime de fonctionnement du moteur a été constatée. A 100% de sa puissance maximale, deux indicateurs expliquent cette baisse de régime de fonctionnement du moteur. D'une part, la tension au niveau de l'alternateur qui, à vide indiquait 440 V, chute à 300V et d'autre part une baisse de température des gaz d'échappement a été aperçue.

Bien qu'un alternateur de 10KVA puisse très bien supporter une charge de 6 KW mais par contre le moteur de 5,9 KW ne pourra supporter.

Un calcul théorique vient confirmer la puissance limite du moteur diesel utilisé:

Connaissant le rendement de la courroie et le rapport de transmission de vitesses, on a la puissance transmise à l'alternateur: $P_t = 5,9 \times 1,76 \times 0,83 = 8,6 \text{ kW}$

70% de cette puissance équivaut donc à 100% des charges du moteur.

3.3. Temps de fonctionnement du moteur à gasoil avant son arrêt

La technique appliquée pour déterminer ce temps a permis d'examiner le phénomène suivant.

20 minutes après basculement du moteur de l'huile de coton à gasoil, tout le circuit d'alimentation (durit+ filtre) est rempli du gasoil. Cet essai répéter plusieurs fois montre que le moteur ne peut être arrêté qu'après les 20 minutes. Pour plus de sécurité de fonctionnement du moteur, 5 minutes additionnelles sont prévues lors des essais.

4. Conclusion

Les essais réalisés permettent de conclure que le fonctionnement d'un moteur diesel avec les deux types de carburant (gasoil et huile de coton) donne des résultats tout à fait comparables en observant la température des gaz d'échappement. Pour le basculement aux HVPs, il faut une température des gaz d'échappement de 244°C à 6 cm de la culasse. A l'arrêt, un temps minimum de 25 minutes de fonctionnement au gasoil doit être strictement observé. Les différentes températures des gaz d'échappement relevées nous permettent de connaître toutes les puissances des appareils susceptibles d'être couplés au moteur.

V. ETUDE ECONOMIQUE DU KIT DE BICARBURATION

Dans ce chapitre, une étude économique sur la réalisation du kit de bicarburateur est effectuée. Il s'agit de faire une étude comparée sur les possibilités de réaliser un kit de bicarburateur en se basant sur son prix de revient.

• Etude comparative sur les types de basculement du kit de bicarburateur

Le coût de réalisation du présent projet étant de 72 800 FCFA, une investigation est aussi faite pour connaître le coût de réalisation d'un système à fonctionnement automatique. La concrétisation d'un tel kit de bicarburateur nécessite une somme de 713 384 FCFA hors taxe, c'est-à-dire que le coût de réalisation du système automatique est dix fois supérieur à celui du système à basculement manuel. Les détails de cette comparaison sont donnés dans le tableau 10.

Pour pouvoir choisir l'un ou l'autre, nous devons faire ressortir les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

Tableau 9 : Avantages et inconvénients des types de système de basculement

	Avantage	Inconvénient
Kit à basculement manuel	<ul style="list-style-type: none"> • Disponible localement • Prix moins cher • Facilité de montage 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas sécurisant • Nécessite un opérateur en permanence
Kit à basculement automatique	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité d'utilisation • Souplesse de fonctionnement du moteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation élevé • Coût de maintenance élevé • Durée d'acquisition longue

Il ressort de cette comparaison que l'intégration d'un système automatique dans un monde rural semble avoir plus d'inconvénients du point de vue économique que d'avantages.

Tableau 10: Etude comparative des coûts de réalisation du kit de bicarburation

Référence	Désignation	Quantité	PU(FCFA)	PT(FCFA)
Les éléments du circuit d'alimentation				
1	Réservoir de 8 litres	2	14 000	28 000
2	Durit Moteur	2	750	1 500
3	Collier de serrage	6	150	900
4	Filtre	1	8 500	8 500
Total				38 900
Les éléments du support des réservoirs				
5	Cornière 25 mm	6	750	4 500
6	Fer plat d'attache	1	500	500
7	Vis de serrage	8	75	600
8	Peinture	2	500	1 000
9	Main d'œuvre	-	5 000	5 000
Total				11 600
Total pour les éléments communs aux deux types de système				50 500

Les éléments du système de basculement manuel				Les éléments du système de basculement automatique			
Désignation	Quantité	PU (FCFA)	PT (FCFA)	Désignation	Quantité	PU (FCFA)	PT (FCFA)
Vanne manuelle de 8mm	2	4 000	8 000	Electrovanne	1	73 015	73 015
Tube en Té de 8 mm	1	1 000	1 000	Automate 12V DC	1	143 925	143 925
Mamelon de 8 mm	2	1 000	2 000	Transformateur	1	157 403	157 403
Réducteur de 12/8 mm	2	1 000	2 000	Alim optimum 24 V - 3A	1	166 598	166 598
Nipples de 8 mm	6	1 500	9 000	Contacteur DC à commande DC 24 V	2	11 212	22 424
Collier de serrage	2	150	300	Contacteur AC à commande DC 24V	1	21 200	21 200
-	-	-	-	Disjoncteur 10A	1	11 459	11 459
				Disjoncteur 1A	1	18 334	18 334
-	-	-	-	Boite à boutons poussoirs	1	21 726	21 726
				Sonde de température	1	5 600	5 600
-	-	-	-	Voyant lumineux	3	7 067	21 200
Total de la partie commande			22 300	Total de la partie commande			662 884
Total pour un kit de bicarburation à commande manuel			72 800	Total pour un kit de bicarburation à commande automatique			713 384

CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATION

Tout développement dépend du secteur énergétique. L'emploi des huiles végétales pures comme carburant peut contribuer à l'accès aux services énergétiques.

Cependant, nous ne devons pas perdre de vue que ce carburant «vert» doit remplir certaines conditions pour son utilisation dans les moteurs diesels statiques. Il ne peut être utilisé dans un moteur diesel à froid. L'utilisation d'un kit de bicarburateur est alors la solution convenable. Le prix d'achat de ce dernier étant élevé, dans cette étude des enquêtes dans les marchés de Ouagadougou ont permis de rassembler les éléments permettant de fabriquer le kit de bicarburateur à commande manuelle. Le cout total de réalisation de cet équipement monte à soixante douze mille huit cent francs CFA (**72 800 FCA**). Par contre l'option automatique exige un montant de sept cent treize mille trois cent quatre vingt quatre Francs CFA (**713 384 F CFA**). Dans un monde rural où le besoin en énergie est de plus en plus élevé, l'intégration d'un automate nécessite une maintenance régulière que les concernés ne pourraient supporter le cout. Il faut donc penser au système manuel qui n'est pas très onéreux.

Par ailleurs, la plupart des équipements utilisés pour les besoins en énergie dans les campagnes n'ont pas une plaque signalétique. Les résultats de ces essais ont permis donc d'identifier ces puissances connaissant la température des gaz d'échappement. Pour utiliser les HVPs dans le moteur diesel à injection indirecte, il faut une température de gaz d'échappement autour de 250°C (mesurée à 6cm de la culasse) correspondant à 20% de la charge du moteur. La sécurité de fonctionnement de ce type de moteur diesel impose une charge limite de 5,4KW (90% de charge) et un temps minimum de 25 minutes de fonctionnement avec du gasoil avant son arrêt.

L'utilisation d'un thermocouple à aiguille pour mesurer la température de gaz d'échappement présente une souplesse dans la mise en œuvre de l'équipement.

Pour s'enquérir de la performance de l'équipement, une phase de test en milieu réel est indispensable.

En bref, la réalisation locale des kits de bicarburateur mérite bien d'être encouragée compte tenu de son cout abordable.

BIBLIOGRAPHIE

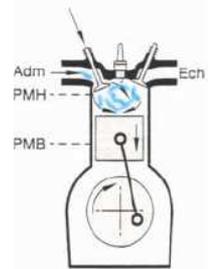
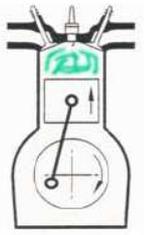
1. BLIN Joël, DABAT Marie-Hélène, FAUGERE Garance, HANFF Elodie, WEISMAN Nathalie. Opportunités de développement des biocarburants au Burkina Faso. Ouagadougou : s.n., 2008.
2. EIER-Ouagadougou. L'huile végétale comme carburant pour les moteurs diesels et chaudières. Ouagadougou : s.n., 2007.
3. L'huile végétale brute de pression à froid. ValBiom. 2005.
4. <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3412>.
5. Pierre, BERTRAND. Huile végétale un vrai biocarburant. 2007.
6. A. Murugesan, C. Umarani, R. Subramanian, N. Nedunchezian. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. 2009, Vol. 13, pp. 653–662.
7. Agarwal, Avinash Kumar. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. 2007, Vol. 33, pp. 233–271.
8. F. Jiménez Espadafor, M. Torres García, J. Becerra Villanueva, J. Moreno Gutiérrez. The viability of pure vegetable oil as an alternative fuel for large ships. 2009.
9. A.S. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review. 2004, Vol. 29, pp. 727–742.
10. Rousset, Patrick. Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales. Brasília : s.n., 2008.
11. Vaïtilingom, Gilles. huiles végétales biocombustibles-influence de la nature des huiles et en particulier de leur composition en acide gras sur la qualité-carburant. 1992.
12. Atlantiques, Chambre D'agriculture Pyrenees. L'Huile Végétale Pure – HVP Production et valorisations à la ferme, FICHE N°001. 2006.
13. Vaïtilingom, Gilles. Utilisations énergétiques de l'huile de coton. Cahiers Agricultures. 2006, Vol. 15, pp. 144-149.
14. Gilles, Vaïtilingom. Conférence Internationale Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique. Ouagadougou : s.n., 2007.
15. Emmanuel Guiral, Saint CYR Christophe,. les biocarburants en Rhône-Alpes : Potentialités des oléagineux et opportunités de l'huile végétale pure, mémoire de fin d'étude. 2005.
16. Mustafa Balat, Havva Balat. A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. 2008, Vol. 49, pp. 2727–2741.
17. Demirbas, Ayhan. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. 2007.
18. Gvidonas Labeckas, Stasys Slavinskas. Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. 2006, Vol. 31, pp. 849–863.

19. Pramanik, K. Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. 2003, Vol. 28, pp. 239–248.
20. 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.
21. C.D. Rakopoulos, K.A. Antonopoulos, D.T. Hountalas, E.G. Giakoumis. Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins. 2006 , Vol. 47 , pp. 3272–3287.
22. www.huilecarburant.free.fr. [En ligne]
23. Atlantiques, Chambre D'agriculture Pyrenees. L'Huile Végétale Pure – HVP Production et valorisations à la ferme, FICHE N°003. 2006.
24. THEUX, Barthélémy DE. Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel, Travail de fin d'études. 2004.
25. P.K. Devan, N.V. Mahalakshmi. Performance, emission and combustion characteristics of poon oil and its diesel blends in a DI diesel engine. 2008.
26. Recep Altm, Selim Cetinkaya, Huseyin Serdar Yucesu. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. 2001, Vol. 42, pp. 529-538.
27. Y.D. Wang, T. Al-Shemmeri, P. Eames, J. McMullan, N. Hewitt, Y. Huang, S. Rezvani. An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil. 2006, Vol. 26, pp. 1684–1691.
28. Nwafor, O.M.I. The effect of elevated fuel inlet temperature on performance of diesel engine running on neat vegetable oil at constant speed conditions. 2002.
29. S.K. Haldar, B.B. Ghosh, A. Nag. Studies on the comparison of performance and emission characteristics of a diesel engine using three degummed non-edible vegetable oils. 2009, Vol. 33, pp. 1013-1018.
30. Fanchon, Jean-Louis. Guide des Sciences et Technologies Industrielles. 1998.
31. http://www.omega.co.uk/temperature/pdf/Type_K_Thermocouple_Reference_Table.pdf.

ANNEXE

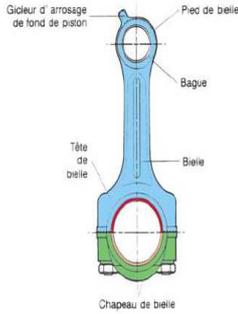
Annexe1	: Cycle du moteur diesel à quatre temps.....	40
Annexe2	: Description des éléments physiques du moteur diesel.....	41
Annexe3	: Liste de fabricant des Kits de bicarburateur en Europe.....	43
Annexe4	: Fiche technique de fabrication du kit de bicarburateur.....	44
Annexe5	: Protocole d'analyse au laboratoire du kit de bicarburateur.....	46
Annexe6	: Schémas de montage possibles du kit de bicarburateur.....	47
Annexe7	: Schémas de support de réservoirs.....	49
Annexe8	: Les fiches d'enquête.....	50

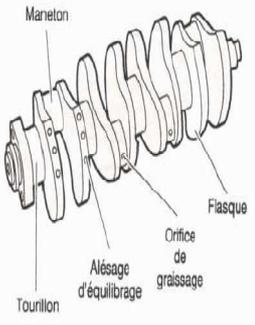
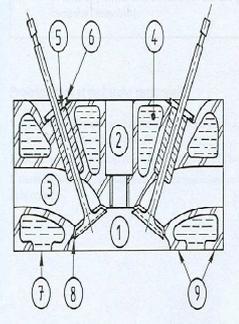
Annexe 1 : Cycle du moteur diesel à quatre temps

TEMPS	DEPLACEMENTS		POSITIONS SOUPAPES		OPERATIONS
	Schéma	Piston et vilebrequin	Adm.	Ech.	
ADMISSION		Le piston descend 180°	O	F	Le piston en descendant crée une baisse de pression qui favorise l'aspiration des gaz.
COMPRESSION		Le piston monte 180°	F	F	Le piston comprime les gaz jusqu'à ce qu'ils n'occupent plus que la chambre de combustion (pression + chaleur).
COMBUSTION DETENTE		Le piston descend 180°	F	F	L'étincelle d'une bougie (ou l'injection de gazole comprimé) enflamme le mélange. La chaleur dégagée dilate le gaz qui pousse violemment le piston vers le bas. TEMPS MOTEUR
ECHAPPEMENT		Le piston monte 180°	F	O	En remontant, le piston chasse les gaz brûlés devant lui. A ce moment, le moteur se trouve à nouveau prêt à effectuer le premier temps.

Source : Cours De Technologie Automobile Mm Fall, Guissé & Bâ Du L.T.I.D. De Dakar.

Annexe 2 : Description des éléments physiques du moteur diesel

Elément	Fonction	Schéma
Cylindre	<p>Ses différentes fonctions sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Résister à la pression des gaz de la combustion qui tendent à le dilater et pousser sur la culasse. 2. Guider le piston, d'où la nécessité de réduire le frottement et d'augmenter la résistance à l'usure. 3. Contenir le liquide de refroidissement tout en résistant à la corrosion. 	
Piston	<p>Le piston remplit 3 fonctions tout en étant mobile, il doit contribuer :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Etanchéité entre la chambre de combustion et le carter. Il doit supporter la pression des gaz créée par la combustion et la transmettre par l'intermédiaire de la bielle au vilebrequin, 2. Résister aux forces latérales qu'il exerce sur la paroi du cylindre, 3. Conduire la chaleur aussi rapidement que possible à la paroi du cylindre, 	
Soupapes	<p>Chaque cylindre d'un moteur à 4 temps possède deux soupapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 soupape d'admission, • 1 soupape d'échappement <p>Elles assurent l'entrée et la sortie des gaz dans la chambre de combustion. Leur ouverture et fermeture sont commandées par l'arbre à cames.</p>	
Bielle	<p>La bielle est la pièce mécanique dont une extrémité est liée au piston par l'axe de piston et l'autre extrémité au maneton du vilebrequin. Elle permet la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin.</p>	

<p>Vilebrequin</p>	<p>Le vilebrequin ou arbre moteur est la manivelle en forme de Z qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston.</p> <p>Fonctions :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Couple pour entraîner le véhicule. 2. Couple pour entraîner les auxiliaires du moteur (arbre à came, soupape,...) 	
<p>Culasse</p>	<p>La culasse assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure, constituant ainsi la chambre de combustion. Elle permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'arrivée et l'évacuation des gaz; • la mise en position des éléments de la distribution et d'une partie de l'allumage; • l'évacuation rapide des calories, le point le plus chaud du moteur étant précisément la chambre de combustion. 	
<p>Injecteur</p>	<p>L'injecteur ou pulvérisateur est fixé et positionné dans un support dénommé porte injecteur. C'est un organe de haute précision qui assure la pulvérisation correcte et la répartition du combustible refoulé par la pompe d'injection, dans la chambre de combustion du moteur.</p>	

Annexe 3 : Liste de fabricant des Kits de bicarburation en Europe

Fournisseur	Coût (FCFA) HT	contact
SDIHV conçu et breveté pour les tracteurs.	327775	86 470 LAVAUSSÉAU 05 49 57 83 76 06 03 46 68 46
ELSBETT Kit à commande électrique et manuelle (uniquement pour les pompes BOSCH)	304830	Weissenburger strasse 15 D- 91177 49(0)9173-77940 F49(0)9173-77940 Elsbett@t- online.de
Wolfgang UHLIG Kit biodrive	1311100	Système électronique biodrive http://www.biodrive.ch 9 rue Amat C.P 261 CH 1211 Geneve 21 41227329352 M 41793571843 F 4122731 93 73 Uhligtec@bluewin.ch
AEDEN Kit complet automatique	976769	www.aeden.fr
AEDEN Kit complet manuel	359897	www.aeden.fr

Annexe 4: Fiche technique de fabrication du kit de bicarburation

La technologie de ce kit comporte non seulement les avantages de le réaliser sur place mais également a un cout acceptable. Tous les éléments constitutifs de ce kit ont été identifiés au marché de Ouagadougou. La commutation des carburants est obtenue grâce à des vannes manuelles. Les éléments constitutifs de ce kit de bicarburation sont exclusivement manuels.

Fourniture:

- 2 réservoirs de 8 litres
- 1 tube en Té de 8 mm de diamètre
- 3 adaptateurs en pipe de 8 mm de diamètre
- 2 adaptateurs réducteurs de 12/8 mm
- 2 vannes manuelles de 8 mm de diamètre
- 2 mamelons de 8 mm
- 2 mètres de durit de 8 mm
- 6 Colliers de 8 mm
- 2 Colliers de 20 mm
- 4 mètres de cornière de 25 mm
- 8 Boulons de 13 mm
- 4 boulons de 15 mm
- 1 filtre.

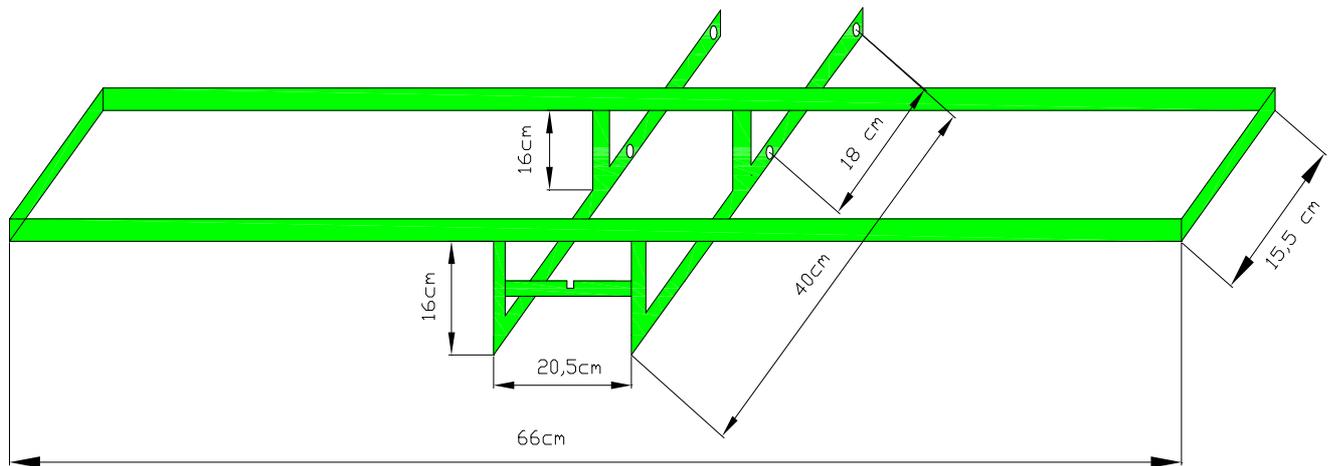
**Construction :**

Le kit de bicarburation est construit en trois phases :

- **Fabrication du support des réservoirs :**

Ce support est fabriqué par des cornières de 25 mm. Des mesures réelles sont effectuées par rapport à la fixation du support au moteur des plateformes multifonctionnelles. Un dessin technique de ce

support est réalisé. Une cornière de 4 mètres de longueur est cotée par rapport aux dimensions des réservoirs puis coupée et soudée conformément au dessin technique fourni. L'avantage de cette conception est qu'on n'a pas besoin d'une pompe de pré-gavage car les réservoirs sont soulevés de 16 cm par rapport à la position d'origine, ce qui facilite la descente par gravitation du carburant d'une part et d'autre part la pompe d'injection étant entièrement mécanique ; elle est assez robuste pour aspirer le carburant arriver au filtre.



- **Système de basculement :**

Construit par des éléments manuels, ce système est un assemblage des vannes, tube en Té, mamelons et réducteurs de 8 mm de diamètre. L'ensemble est monté au support et fixé par des colliers.

- **Circuit d'alimentation :**

Composé de deux réservoirs de 8 litres chacun. Il y'a 3 circuits essentiels :

Circuit de gasoil qui quitte le réservoir gasoil (réservoir noir) pour arriver à la vanne noire, circuit d'huile végétale pure qui quitte le réservoir d'huile pour arriver à la vanne verte et le circuit principal qui quitte la sortie du tube en Té pour arriver au filtre. Le bout de chacun des circuits est serré avec de collier pour l'étanchéité.

Fonctionnement :

La mise en œuvre de ce kit de bicarburation est typiquement manuelle et simple. Au démarrage, la vanne noire (gasoil) est ouverte et la vanne verte (HVP) est fermée. Après avoir chargé le moteur à 75% de sa puissance maximale, la vanne verte est ouverte et la vanne noire est fermée. La vanne est ouverte lorsqu'elle mise en position parallèle par rapport à son axe et fermée lorsqu'elle est en position perpendiculaire à son axe.

Annexe 5 : Protocole d'analyse au laboratoire du kit de bicarburateur

Ce protocole permet d'effectuer les essais avec le moteur doté d'un kit de bicarburateur en toute sécurité.

• Au démarrage

- 1- Vérifier que les deux réservoirs sont remplis de carburant (Gasoil et Huile végétale)
- 2- Vérifier que les futs d'eau de refroidissement sont remplis
- 3- Ouvrir la vanne 1(noire) et fermer la vanne 2 (verte)
- 4- Démarrer le moteur
- 5- Laisser tourner le moteur à vide pendant 5 minutes
- 6- Charger progressivement le moteur à pas de 600 W
- 7- Mesurer la température des gaz d'échappement (5 minutes pour chacune des charges)
- 8- Basculer à l'HVP (Ouvrir la vanne verte et fermer la vanne noire)
- 9- Reprendre les étapes 5 et 6.

• A l'arrêt

- 1- Ouvrir la vanne noire et fermer la vanne verte
- 2- Laisser tourner le moteur en charge pendant 25 minutes
- 3- Décharger le moteur
- 4- Arrêter le moteur

NB : Position de la vanne parallèle à son axe indique « vanne ouverte », position de la vanne perpendiculaire à son axe indique « vanne fermée ».

Annexe 6 : Schémas de montage possibles du kit de bicarburant

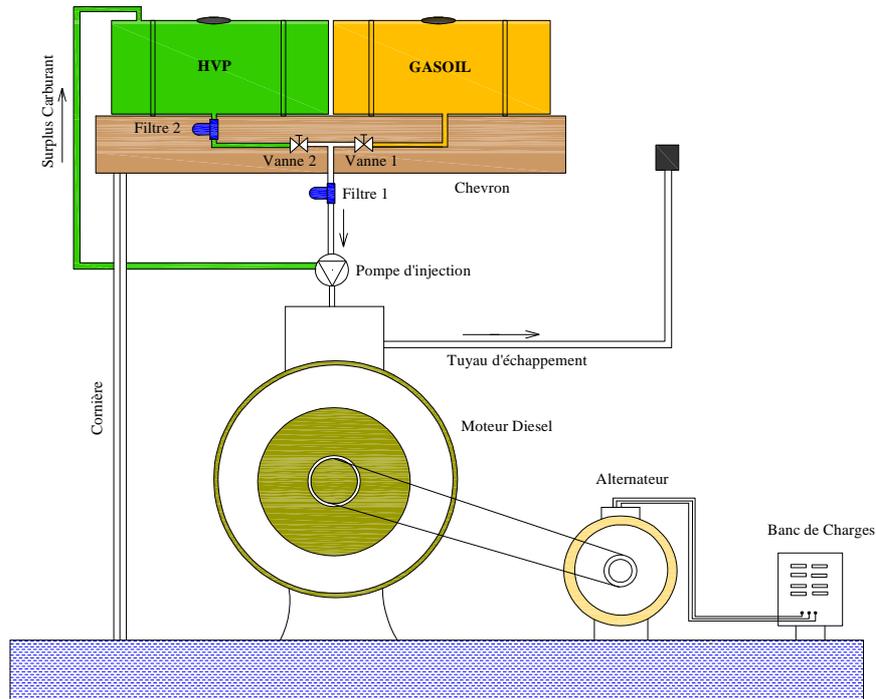


Figure1: Schéma avec pré-filtre d'huile à support encastré au sol

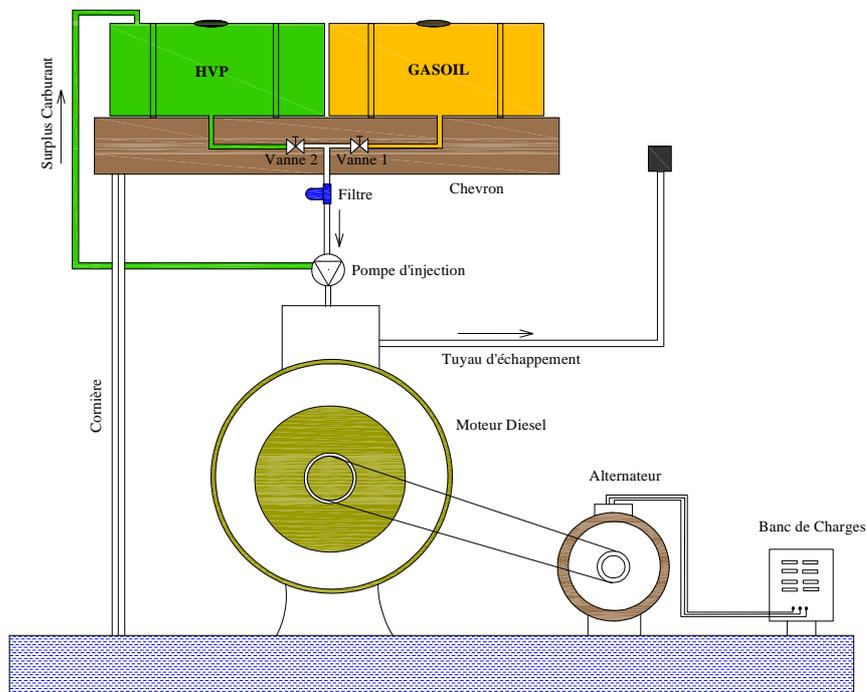


Figure2 : Schéma sans pré-filtre d'huile à support encastré au sol

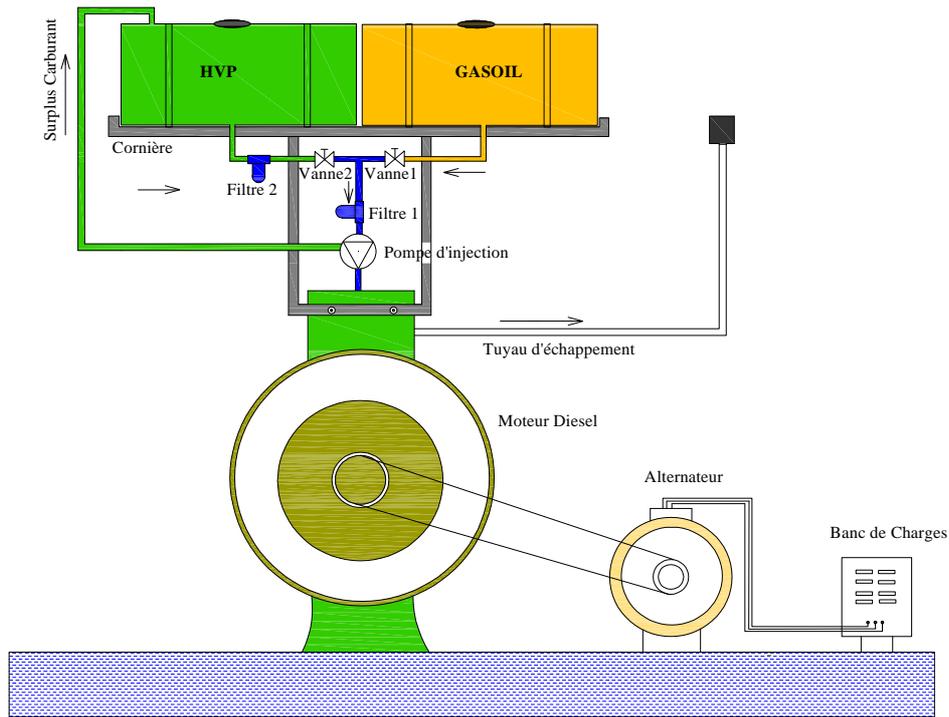


Figure3 : Schéma avec pré-filtre d'huile à support solide au moteur

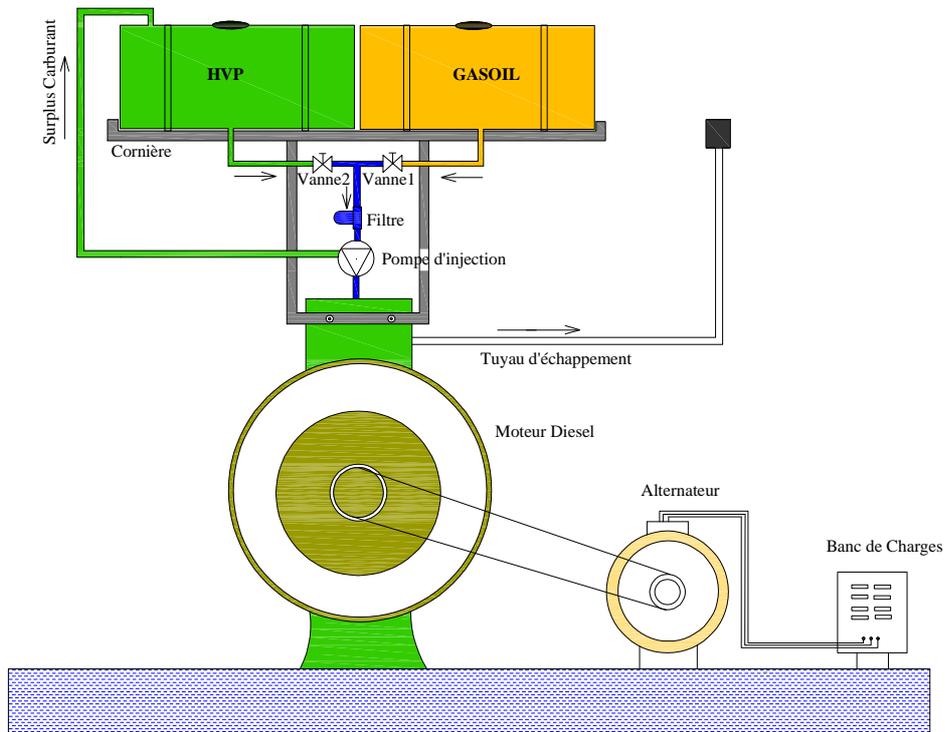
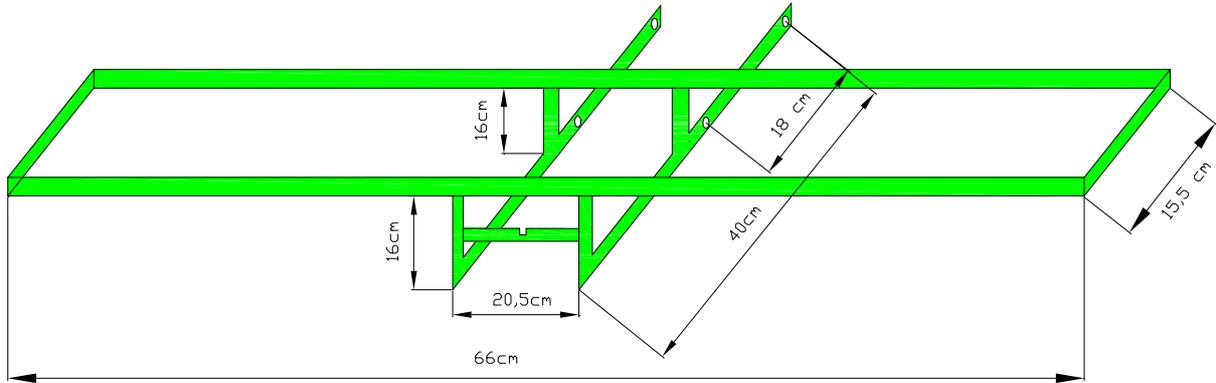


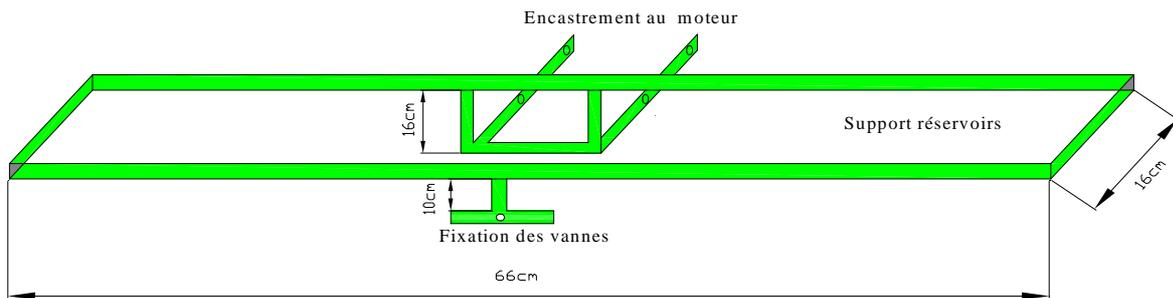
Figure 4 : Schéma sans pré- filtre d'huile à support solide au moteur

Annexe 7 : Schémas de support de réservoirs

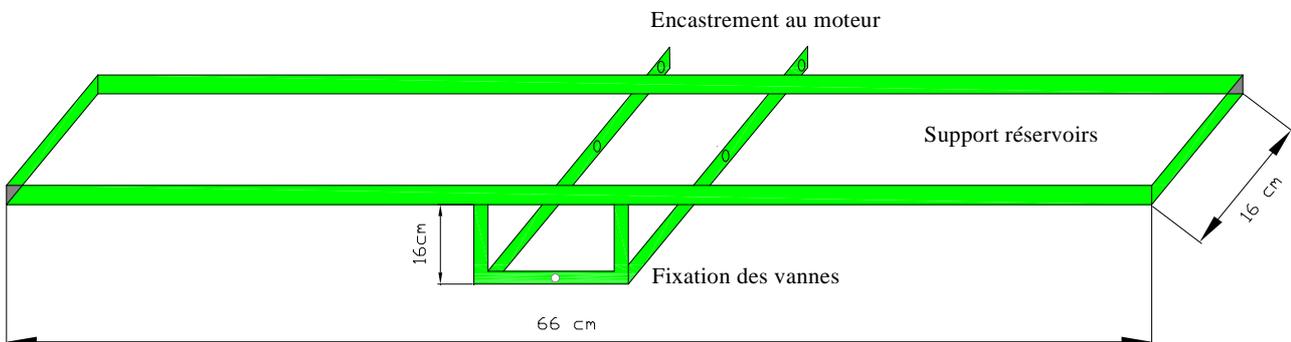
• *Schéma 1 :*



• *Schéma 2:*



• *Schéma 3 :*



Annexe 8: Les fiches d'enquête

1. Réservoir

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Capacité	Prix (FCFA)		Adresse
		Oui	Non				
1	Alassane TAPSOBA	Oui		12 litres	12500	10000	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE		Non	-	-	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA	Oui		12 litres	12500	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND		Non	-	-	-	Boutique Sis face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA	Oui		12 litres	11000	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE		Non	-	-	-	Ets.KABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE	Oui		-	22500	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO	Oui		-	15000	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE		Non	-	-	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguïn Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif		Non	-	-	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

2. Filtre Gazole/Huile

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Qualité	Prix (FCFA)		Adresse
		Oui	Non				
1	Alassane TAPSOBA	Oui		Rhino/ AD 600	4500	3500	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE		Non	-	-	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA	Oui		-	11000	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND		Non	-	-	-	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA	Oui		Rhino AD 600	5000	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE		Non	-	-	-	Ets.KABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE	Oui		Rhino	12000	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO	Oui		Rhino	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
10	Arouna ZIDOUONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
11	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
12	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
13	Issa COMPAORE		Non	-	-	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
14	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
15	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguin Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
16	M. Salif		Non	-	-	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
17	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nel. Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
18	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
19	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
20	Souleymane GUIRA	Oui		Rhino AD 600	5000	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668
21	Abdoulaye KONATE	Oui		5000686589 CS 156	4435	9144	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

3. Flexible

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
		Oui	Non				
1	Alassane TAPSOBA	Oui		15/12 mm	7000	4000	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE	Oui		15/12 mm	2470	2020	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND	Oui		15/12 mm	1500		Boutique Sis face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA	Oui		Durit (1m)	1000	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE		Non	-	-	-	Ets.KABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE	Oui		-	6000	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO	Oui		Durit (1m)	500	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO	Oui		12 mm	1500	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO	Oui		15/12 mm	1000	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE	Oui		15/12 mm	1500	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Av Cathédrale Tel. 70 23 80 76
17	Hamidou CONGO	Oui		15 mm	1000	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguin Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif		Non	-	-	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF	Oui		Transparent (1m)	1500	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE	Oui		Durit (1m)	2500	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

4. Electrovanne

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE		Non	-	-	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND		Non	-	-	-	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE		Non	-	-	-	Ets.KKABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE		Non	-	-	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguini Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif		Non	-	-	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

5. Vanne à trois voies manuelles

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE		Non	-	-	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND		Non	-	-	-	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE		Non	-	-	-	Ets.KKABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE		Non	-	-	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguini Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif		Non	-	-	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

6. Vanne à une voie manuelle

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE	Oui		15 mm	2735	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND	Oui		15/12/8 mm	8000	4000	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE	Oui		15 mm	1500	-	Ets.KKABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO	Oui		15 mm	1500	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE	Oui		15/12 mm	1750	1500	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO	Oui		15/12 mm	1800	1500	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO	Oui		15 mm	1500	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguin Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif	Oui		15 mm	1700	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.N. Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

7. Tube en Té

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE	Oui		15mm	8850	715	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND	Oui		15/12/8 mm	1000	800	Boutique Sis face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P.Michel KABRE	Oui		15 mm	200	-	Ets.KABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE	Oui		15/12 mm	800	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO	Oui		15/12 mm	750	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguin Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif	Oui		15 mm	800	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

8. Mamelon

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE	Oui		15mm	540	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND	Oui		15/12/8 mm	1000	800	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P. Michel KABRE	Oui		15 mm	200	-	Ets.KKABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE	Oui		15/12 mm	750	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguïn Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif	Oui		15 mm	700	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99

9. Réducteur

N°	Personnes enquêtées	Disponible		Diamètre	Prix (FCFA)		Adresse
1	Alassane TAPSOBA		Non	-	-	-	E.T.B.F Représentant Maison RHINO Tel. 70 17 96 20/ 78 80 47 50
2	Jean-Marie COMPAORE	Oui		15/12mm	300	-	diacfa Matériaux Tel.70 74 61 48
3	Ousmane NIKIEMA		Non	-	-	-	SIVAUM Grand marché Vente Moulin Tel. 50 31 08 80
4	Seni EDMOND	Oui		12/8 mm	2000	1000	Boutique face diacfa Matériaux Tel. 70 64 68 35
5	Mme Oumou GNANEMA		Non	-	-	-	Ets NABONSWENDE Avenue de la Liberté Tel. 50 30 46 59
6	P.Michel KABRE	Oui		15/12 mm	500	-	Ets.KABRE P. MICHELE Avenue Yatenga Tel. 70 00 28 08
7	Alassane N. SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. SAWADOGO Frères et Fils Av. Yatenga Tel. 76 60 10 07
8	Madou SORE		Non	-	-	-	Quincaillerie maison commerciale Sis face Gare STAF Tel. 70652773
9	Issaka YAMEOGO		Non	-	-	-	Quincaillerie Yameogo Issaka Av. de la liberté Tel. 50311183
10	Koalla TOURE		Non	-	-	-	E.H.M.T COMMERCE GENERAL Tel. 70745721/ 78011212
11	Djibrinan TAMALGO		Non	-	-	-	E.T.D.F Representant de UPKAR Tel. 70246988/ 70091056
12	Arouna ZIDOUEONBA		Non	-	-	-	Faso-Pièce Auto Qtier. Larlé Tel. 70246069/ 78217475
13	Karim SAWADOGO		Non	-	-	-	Ets. Abd. SAWADOGO Qtier Larlé Tel. 70553930
14	Ousmane OUEDRAOGO		Non	-	-	-	Neema Quincaillerie Tel. 70 25 34 38/ 78 03 34 65
15	Issa COMPAORE	Oui		15/12mm	250	-	E.C.I.F Wend-Panga Tel. 70 13 58 38/ 78 84 18 03
16	Ernest OUEDRAOGO		Non	-	-	-	B.B.C Maison Vachette MV Tel. 70 23 80 76/ 78 66 56 47
17	Hamidou CONGO		Non	-	-	-	Plombier Secteur N°6 Kamsoguïn Tel. 78 10 60 11/ 70 12 51 78
18	M. Salif	Oui		15/12 mm	200	-	Plombier détaillant Tel. 70 49 79 54
19	Bilal		Non	-	-	-	C.B.B 401-423 Av.Nelson Mandela Tel. 71949300/ 20 97 24 40
20	Ibrahim KHALAF		Non	-	-	-	ETS. LOCKS & TOOLS Rue de Lyon Tel. 50332340
21	M. COMPAORE		Non	-	-	-	SAHA QUINCAILLERIE Tel. 70257211
22	Souleymane GUIRA		Non	-	-	-	FASO CADEAU IMPORT-EXPORT Tel. 76613668/ 70 18 27 71
23	Abdoulaye KONATE		Non	-	-	-	Diacfa Accessoires Tel. 70785370/ 50 30 62 99