



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



Mise en place de tests technico-économiques sur
la plate-forme biocarburant : **de la production à
l'utilisation** de l'huile de Jatropha dans un
moteur

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGIES
RENOUVELABLES

OPTION :

-ENERGIES RENOUVELABLES-

Présenté et soutenu publiquement le 23 Septembre 2011 par

Patrick Fernandez D. ADIKPETO

Travaux dirigés par : Dr Joël BLIN

Enseignant-Chercheur au 2IE
L.B.E.B

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Joël BLIN

Membres et correcteurs : Dr. Christelle BRUNSWIG

Dr. Sayon SIDIBE

Nathalie WEISMAN

Promotion [2010/2011]

Dédicace et Citation

*A ma Maman
Pour tous les efforts que tu as fourni, je te remercie*


*A Laurelle VIGAN
Tu es unique*

“ La vérité doit s’inspirer de la pratique. C’est par la pratique que l’on conçoit la vérité. Il faut corriger la vérité par la pratique. ” Mao Tsé-Toung

Remerciements

Avant tout, je voudrais rendre grâce au Seigneur Dieu Tout Puissant de m'avoir gardé en bonne santé et de me permettre d'aller jusqu'au bout de mes rêves.

Que le Dr Joël BLIN soit remercié pour l'insigne honneur qu'il m'a fait de diriger mes travaux de fin d'études, avec les échanges enrichissantes qu'on a eu lors de nos débats.

Que Messieurs Bruno PECHINE (Esf) et Eric NANTEAU soient remerciés pour toute l'aide et surtout la formation  instrumentation sur le moteur qu'ils ont eu à nous donner à travers leur structure EDF.

Je tiens à remercier mon maître de stage au Centre Songhaï de Porto-Novo (Bénin), Monsieur Justin LEKOTO qui a su me guider dans ce monde professionnel. Aussi, je lui suis reconnaissant comme au Directeur adjoint du centre Songhaï Monsieur Guy LOUEKE, de la confiance et de l'autonomie qu'il m'ont accordées.

Mes remerciements vont à l'endroit de tout le personnel de Songhaï, plus particulièrement Monsieur Lucien, Christelle, Euloge et surtout Christophe dont le dynamisme m'a été très utile.

Je remercie mon grand ami Achille LEBONGO avec qui j'ai passé de très bons moments à être sur le terrain au cours du stage pour l'avancement effectif de mon travail.

Je tiens également à remercier tous mes promotionnaires et plus particulièrement Achille, Benjamin le Koro, Bébé Magloire, Adé et tous les autres.

Que tous mes frères et sœurs soient remerciés pour leurs encouragements qui m'ont bien aidé. Je tiens particulièrement à remercier Laurelle VIGAN pour son inestimable apport, mais aussi sa patience et son courage. Aussi, je n'oublie pas mes précieux protégés Dylan et Princiante ADIKPETO, qu'ils sachent que Dieu le Père-Tout-Puissant veillera sur eux comme moi.

Résumé

Dans le souci de la création d'une ville verte basée sur l'autosuffisance alimentaire et énergétique, le centre Songhaï développe depuis quelque temps les énergies renouvelables. La production d'huile de Jatropha de qualité carburant, a permis d'utiliser une presse à barreaux *AGICO* pour extraire l'huile à froid. Un filtre a été localement réalisé au cours de la production et le prix évalué du litre d'huile de Jatropha est meilleur à celui du gazole.

L'utilisation de l'huile dans un moteur diesel d'une puissance maximale de 3 kW s'est faite en bicarburation avec un kit produit avec des matériaux locaux. Des tests réalisés à différentes charges au gazole et à l'huile de Jatropha ont permis de trouver la consommation spécifique en carburant, les temps de basculement et la température des fumées du moteur. En utilisation du moteur avec une décortiqueuse de riz, il ressort un gain économique de 50FCFA par kwh d'électricité produite en utilisant l'huile plutôt que le gazole. Aussi, le gain environnemental de la production à l'utilisation d'huile de Jatropha dans un moteur garantit un développement durable à la filière.

Mots clés: Production d'huile de Jatropha, presse d'huile, kit de bicarburation, moteur diesel, application villageoise.

Abstract

In order to create a green city-based on food and energy self-sufficiency, the Songhaï center has been developing for some time renewable energy. The production of Jatropha oil quality fuel, has to use a press bars from *AGICO* to extract oil from cold. A filter was made locally in the production and the evaluated price of a liter of Jatropha oil is better than diesel. The use of oil in a diesel engine with a maximum power of 3 kW was done with a bi-fuel kit produced with local materials. Tests carried out at different loads with diesel and Jatropha oil have to find the specific fuel consumption, the switching time and temperature of the fumes from the engine. In use the engine with a rice huller, it appears an economic gain of 50FCFA per kwh of electricity generated using oil rather than gasoline. Also, the environmental benefits of production with the use of Jatropha oil in an engine ensures sustainable development in the sector.

Key words: Jatropha oil production, oil press, bi-fuel kit, diesel motor, rural utilization.

Liste des abréviations

HVP : Huile Végétale Pure

ONG : Organisation Non Gouvernementale

CO₂ : Dioxyde de carbone

CO : Monoxyde de carbone

T éq : Tonne équivalent

EDF : Electricité De France

ESF : Electricien Sans Frontière

R&D : Recherche et Développement

LBEB : Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants

Sommaire

<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	3
<i>LISTE DES FIGURES</i>	4
<i>I. INTRODUCTION</i>	5
I.1. Contexte d'étude	5
I.2. Problématique	6
<i>II. OBJECTIFS DU TRAVAIL</i>	8
II.1. Généralités sur le Jatropha Curcas	8
II.2. Production de l'huile de jatropha de qualité carburant	9
II.3. Conditions d'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs	11
<i>III. MATERIELS ET METHODES</i>	14
III.1. Production de l'huile végétale pure de jatropha	14
III.2. Tests d'utilisation de l'huile de jatropha dans un moteur	17
<i>IV. RESULTATS</i>	21
IV.1. Résultats des tests technico-économiques liés à la production d'huile végétale pure de jatropha	21
IV.1.1. Caractéristiques de la presse et conditions de pressage de l'huile.....	21
IV.1.2. Résultats liés au coût de production par litre d'huile produite	22
IV.2. Résultats des tests technico-économiques réalisés lors de l'utilisation d'huile et du gazole dans le moteur diesel	24
IV.2.1. Résultats des tests techniques réalisés sur le moteur fonctionnant au gazole et en HVP Jatropha..	24
IV.2.2. Résultats des tests économiques pour l'utilisation d'HVP Jatropha dans le moteur au lieu du gazole	29
<i>V. DISCUSSION ET ANALYSES</i>	31
V.1. Interprétations des résultats obtenus de la production d'huile végétale pure de jatropha au centre Songhaï	31
V.1.1. Caractéristiques de la presse à barreaux utilisée et conditions d'extraction d'huile	31
V.1.2. Interprétations du coût de revient du litre d'HVP Jatropha produit.....	32

V.2. Interprétations des résultats technico-économiques obtenus lors de l'utilisation d'hvp jatropha produite dans le moteur	32
V.2.1. Interprétations des résultats techniques obtenus sur le moteur	32
V.2.2. Interprétations sur les tests économiques d'utilisation d'huile et de gazole	34
V.3. Avantages d'utilisation d'hvp a la place du gazole dans un moteur.....	35
VI. CONCLUSIONS.....	36
VII. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES	38
BIBLIOGRAPHIE	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Les propriétés physico-chimiques de l'huile de Jatropha et du gazole [KPLE M., 2009].....	12
Tableau IV.1: Caractéristiques de la presse utilisée pour l'extraction d'huile.....	22
Tableau IV.2: Bilan des prévisions sur le temps d'amortissement de la presse.....	23
Tableau IV.3: Récapitulatif des achats liés au kit de bicarburation	24
Tableau IV.4: Récapitulatif des débits massiques et des taux de variation de la consommation spécifique pour les deux carburants à différentes charges	26
Tableau IV.5: Récapitulatif des performances du moteur diesel en fonctionnement à l'huile et au gazole utilisé avec la décortiqueuse de riz (comme charge).	28
Tableau IV.6: Bilan des prévisions liées au fonctionnement de la décortiqueuse de riz	29
Tableau IV.7: Récapitulatif des dépenses et production d'électricité avec l'HVP et le gazole	30

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : Différentes étapes de la production d'huile de qualité carburant.....	9
Figure III.1: Presse à barreaux utilisée pour l'extraction d'huile de jatropha.....	15
Figure III.2: Photo montrant le seau en plastique avec les 3 niveaux de filtration (à gauche) et le seau avec les cerceaux entourés du tissu filtrant (à droite) lors de la filtration.....	16
Figure III.3:Photo montrant le générateur diesel, modèle HHD3500LH3, marque ASTRA KOREA avec une puissance maximale de 3 kW	17
Figure III.4: Photo des différentes composantes du kit de bicarburant successivement le système de préchauffage (a), le système de basculement (b), le pré-filtre (c) et le système composé de réservoirs et durite (d)	19
Figure III.5: Photo montrant les charges utilisées en monophasé : les résistances (à gauche) et en triphasé, une décortiqueuse de 2,2 kW	20
Figure IV.1: Courbes montrant l'évolution de la consommation spécifique C_s en gazole et en HVP jatropha en fonction des charges du moteur en fonctionnement.....	25
Figure IV.2: Courbes montrant l'évolution des températures de fumées (très proche de la chambre de combustion) en fonction du temps à différentes charges du moteur pour le gazole	26
Figure IV.3: Variation de la température des fumées en fonction des charges.....	27
Figure IV.4: Courbes montrant la variation de la température des gaz d'échappement au cours du décorticage de riz	28

I. INTRODUCTION

I.1. CONTEXTE D'ETUDE

Du nom d'un florissant et prestigieux empire d'Afrique Occidentale fondé entre le XIV^e et le XV^e siècle, le centre Songhaï est une ONG créée en Octobre 1985 par le prêtre dominicain Godfrey NZAMUJO à Porto-Novo (au Bénin). Ce centre a pour objectif de trouver des alternatives à la crise socio-économique en Afrique, en utilisant judicieusement les ressources locales et les apports extérieurs pour un développement rural réel, compétitif et respectueux de l'environnement. C'est ainsi que le centre promeut un système intégrant les trois secteurs (primaire, secondaire et tertiaire) en mettant un accent particulier sur l'autonomisation de ses unités de production (agricole, animale,...) en énergies respectueuses de l'environnement. Le développement des énergies renouvelables a débuté dès 1991, par la production de biogaz pour l'alimentation de la cuisine en gaz et plus tard le photovoltaïque pour l'électrification des bâtiments d'élevage, d'hébergement et l'implantation des systèmes de pompage d'eau et d'irrigation.

Toujours dans le souci de développer des énergies renouvelables, le centre Songhaï a voulu mettre en place un parc technologique nommé *Energies Renouvelables Décentralisées* en partenariat avec EDF R&D. Ce parc technologique vise la promotion de la production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse pour l'alimentation en électricité des agriculteurs et des villages sous le concept de « ville rurale verte ». Pour ce faire une plate-forme d'expérimentation est mise en place avec le soutien de la R&D d'EDF et d'Esf afin de maîtriser les moyens de production d'énergie à partir de la biomasse, d'optimiser leur fonctionnement pour une rentabilité, de définir les formations pour l'exploitation et la maintenance de ces installations. Cette plate-forme va ainsi s'élargir par la production d'électricité à partir de la gazéification de biomasse solide et du biocarburant issu des graines de *Jatropha Curcas* (*Jatropha*) pour minimiser les dépenses énergétiques et autonomiser les unités de production du centre.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le stage proposé par le centre Songhaï afin de contribuer à la mise en place de tests technico-économiques sur la production d'électricité à partir de *Jatropha*. Ce sujet est venu de la collaboration existant entre le Laboratoire biomasse énergie et biocarburants (L.B.E.B) de l'institut 2IE de Ouagadougou et des autres partenaires techniques du centre (EDF R&D et Esf) pour tenter de résoudre un problème.

I.2. PROBLEMATIQUE

La facture électrique liée à la consommation de l'électricité conventionnelle dans le centre pour la production des huiles nutritives (soja, sésame...), des céréales comme le soja, le riz très élevée constitue un problème pour le centre Songhaï. Aussi, l'impact environnemental dû à l'utilisation en amont des énergies fossiles pour la production de cette électricité ne s'inscrit pas sur la droite ligne du développement des énergies renouvelables dans le centre.

C'est ainsi qu'en collaboration avec le Laboratoire L.B.E.B de l'Institut 2IE (Ouagadougou) et les partenaires techniques (EDF R&D et ESF), le centre Songhaï a proposé une voie de solution à travers ce sujet qui s'intitule "Mise en place des tests technico-économiques sur la plate-forme biocarburant : de la plantation à l'utilisation de l'huile de Jatropha dans un moteur". L'intérêt de ce sujet réside dans la production de l'huile de Jatropha avec des moyens paysans, du faible coût de réalisation des modifications du moteur et surtout de la réalisation des tests technico-économiques en conditions réelles d'utilisation du moteur avec une instrumentation appropriée. Aussi, les tests technico-économiques qui découleront de cette étude serviront de base au centre pour étendre son parc technologique en vue d'avancer vers une autonomisation en électricité en passant par des énergies moins polluantes.

Les avantages de l'utilisation de l'huile de Jatropha dans un moteur ont été démontrés au Mali, précisément à Kita où des tests réalisés sur un moteur indien (moulin pour céréales) montrent un bon fonctionnement du moteur et un potentiel de gain économique d'environ 15% par rapport à l'utilisation du gasoil par mois [Fotseu W., 2010]. L'amélioration des taux de substitution de l'huile de Jatropha au gasoil dans les moteurs diesel et l'optimisation des fours à huile végétale (huile de jatropha) en remplacement du bois de feu ont permis d'éviter la déforestation à *Tolongoina* et *Tsindra* (Madagascar) [Üllenberg A., 2008]. Aussi, l'électrification rurale au Mali dans le village de *Kéléya* avec l'huile de Jatropha utilisée dans un groupe électrogène est un franc succès depuis 2006 [Mélanie et coll., 2008]. C'est ainsi que certains paramètres sont à maîtriser pour une bonne utilisation d'huile de Jatropha dans un moteur diesel à injection directe utilisé en bicarburation [Sidibé S., 2011, Rousset P., 2008]. Ces résultats obtenus lors de ces différentes études montrent les avantages de l'utilisation de l'huile de Jatropha pour la production d'électricité et ce sujet de stage vise également la production et l'utilisation d'électricité à base de biocarburant (biomasse). Pour traiter au mieux ce sujet, nous allons primo, identifier le moteur (au centre Songhaï) qui servira pour les expériences et produire l'huile de jatropha en suivant toutes les étapes nécessaires. Ici, un accent particulier sera mis sur la décantation et la filtration de l'huile

pressée. Secundo, pour l'utilisation de cette huile, nous allons réaliser les modifications nécessaires (fabrication d'un kit de bicarburation) sur le moteur pour effectuer des tests fiables et conséquents afin de donner les meilleures conditions d'utilisation de l'huile de Jatropha dans ce moteur.

Dans ce document, nous allons donner nos hypothèses de travail et les objectifs à atteindre lors de notre travail. Ensuite, nous décrirons la méthode et les matériels utilisés lors production de l'huile de Jatropha et surtout de son utilisation dans le moteur utilisé sur lequel ce travail sera focalisé. Nous présenterons également les interprétations issues des tests effectués sur le moteur avant de livrer nos convictions et perspectives.

II. OBJECTIFS DU TRAVAIL

II.1. GENERALITES SUR LE JATROPHA CURCAS

Le Jatropha est une famille d'un millier de plantes appartenant à la famille des euphorbiacées dont l'une des espèces très prisée dans les recherches est le *Jatropha Curcas* [Ali O. Haïdara, 1996]. Le Jatropha Curcas appelé encore pourghère ou plus simplement jatropha, est une plante originaire de l'Amérique du Sud. C'est une plante dont l'aire de distribution naturelle se situe principalement dans les zones arides et semi-arides [Makkar et coll., 1997]. Mais on trouve également la plante dans les régions tropicales humides et en général, son aire de culture se situe entre les latitudes 30°N et 35°S [Rijssenbeek et coll., 2007]. Le Jatropha est un grand arbuste à croissance rapide d'une hauteur de 2 à 3m, pouvant atteindre 5m dans les conditions favorables c'est-à-dire dans les régions de températures pas trop basses, d'altitude entre 600 et 800m avec une précipitation idéale entre 300 et 1000mm de pluie par an et des températures de 18 à 28°C [Haïdara Ali O., 1996]. En outre, le Jatropha aime les sols pauvres et ne supportent pas les terrains argileux car les sols trop compactes limitent la croissance racinaire remarquable au cours du développement de la plante [Heinning, 2006]. Lors de la culture, la plante peut être développée par semis direct (en utilisant les graines) dans les zones humides ou à fortes humidité relative [Munch., 1986] ou souvent par semis indirect (par bouturage) en utilisant des plants de taille comprise entre 30 et 40 cm [Joker et coll., 2003]. Une densité de plantation de 2m*3m est préconisée pour un bon développement de la plante et elle commence vraiment par être productive au bout de 3 à 4 ans. Elle peut ainsi produire jusqu'à 30 ans commercialement avec une durée de vie de 50 ans et une productivité pouvant aller de 2000 à 5000 kg/ha/an [Rousset P. et coll, 2008]. La plante produit beaucoup de graines dont la maturité physiologique est atteinte quand la capsule du fruit (initialement verte) se colore en jaune et les graines même en noir au 57^e jour après l'apparition des fleurs [Kaushik et coll., 2001]. La capsule mûre contient 1 à 3 graines oléagineuses dont la teneur en huile varie de 27 à 40%, ce qui rend la plante de Jatropha particulièrement intéressante [Üllenberg A., 2008]. Le mode de récolte requis pour les graines de jatropha mûres est la récolte manuelle et nécessite pour les cueilleurs le port de gants et de vêtements de protection pour éviter le contact irritant avec la sève de la plante [Saturnino et coll., 2005]. Le même auteur note que la récolte est un point essentiel pour la production d'huile de jatropha surtout de qualité carburant.

II.2. PRODUCTION DE L'HUILE DE JATROPHA DE QUALITE CARBURANT

La production d'huile de qualité carburant nécessite après la récolte des graines de passer par des étapes successives de prétraitement (nettoyage, triage et séchage) des graines, d'extraction de l'huile, de la décantation suivie de la filtration de l'huile extraite avant le stockage [Rousset P. et coll, 2008].

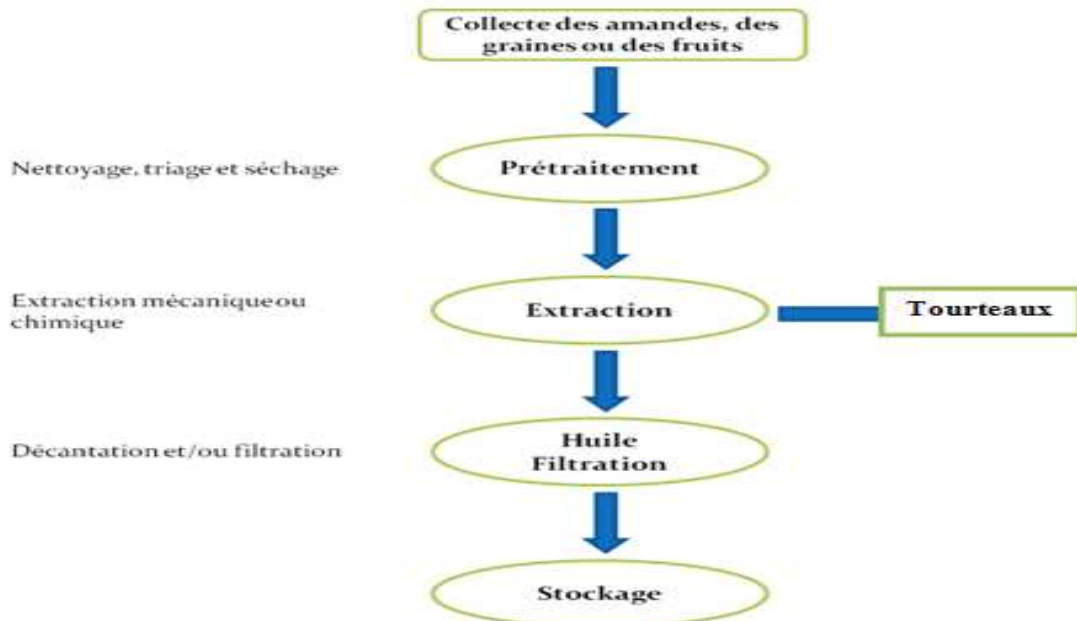


Figure II.1 : Différentes étapes de la production d'huile de qualité carburant

La production d'HVP suit des étapes successives et précises depuis la première étape jusqu'à la dernière étape.

✚ La première étape du prétraitement se fait par nettoyage des graines, triage pour enlever les impuretés (feuille d'arbre, caillou, objets métalliques,...) dont le taux doit être inférieur à 2% pour diminuer le risque de pourrissement des graines et d'usure de la presse avant le séchage pour diminuer l'humidité des graines [Sidibé S., 2011; Lachaise C. et coll., 2004]. Le séchage s'effectue en général au soleil et les graines séchées ne doivent admettre qu'une humidité maximale de 9% en masse ; ce qui avec les 2% d'impuretés sont nécessaires au bon fonctionnement de la plupart des presses artisanales disponibles sur le marché [Vaitilingom., 2008; Lachaise C. et coll., 2004].

✚ La phase d'extraction d'huile qui suit celle du prétraitement, s'effectue par pressage mécanique ou extraction par solvant pour une utilisation carburant ou à grande échelle. La 1^{ère} méthode permet d'extraire entre 90 et 95% de l'huile de la graine avec une

presse et la seconde 99% [Shahidi, 2005]. Au niveau de la méthode de pressages mécaniques, on note le pressage discontinu et le pressage continu.

Le pressage discontinu s'effectue avec des presses hydrauliques comme la presse ADMGA fabriquée au Burkina-Faso (répandue au Burkina et au Mali) et permet d'obtenir entre 12 et 17% d'huile pure [Koreissi. et coll, 2005].

Le pressage discontinu est effectué aussi par la presse Bielenberg. La presse *Bielenberg* est une presse manuelle développée dans les années 1980 par *Karl Bielenberg* qui est très utilisée pour les projets de petites tailles (projets villageois, d'ONG) à cause de son coût concurrentiel et de sa maintenance assez simple [Üllenberg A., 2008]. Son rendement de 0,15 kg pour 1 kg de graines et trop dépend des efforts physiques, de la fréquence de mouvement de l'opérateur [Freslon, 2006]. Les presses *Bielenberg* et les presses hydrauliques ont de faibles rendements et leur actionnement est éprouvant ce qui fait qu'elles ne conviennent qu'au projet de faible ampleur (voir les détails sur les types de presse en annexe I) [Üllenberg A., 2008; Freslon, 2006].

Le pressage continu quant à lui, s'effectue avec les presses motorisées souvent pour les projets de moyenne et grande tailles.

Pour une production à grande échelle et pour la production d'une huile de qualité carburant, les presses les plus utilisées sont les presses à vis. Ces presses sont divisées en deux modèles : les presses à barreaux (ou anneaux) et les presses à cylindre (tube ou cage) perforé [Bereens, 2007]. Le principe des presses à vis est le suivant : les graines sont chargées dans une trémie d'approvisionnement, elles tombent dans une cage dans laquelle elles sont transportées et écrasées par une vis tournante en direction d'un orifice sortie. Dans les presses à barreaux, la vis tourne dans une cage garnie d'anneaux en acier d'écartements réglables, les tourteaux sortent en forme de plaquettes alors qu'au niveau des presses à tube perforé, la vis tourne dans un cylindre garni de trous (par lesquels sortent l'huile) et les tourteaux sortent en granulés [Bereens, 2007]. La capacité des presses à barreaux (40 kg à 200 kg/h) est plus élevée que celle des presses à cylindre perforé et leurs rendements peuvent aller jusqu'à 95% (voir les détails sur les types de presse en annexe I) [Rousset P. et coll., 2008]. Les travaux *Ferchau (2000)* et *Jossart (2004)* montrent que ces rendements sont très dépendants de la vitesse de rotation de la vis sans fin, du diamètre des buses de sortie des presses et préconisent une vitesse de rotation faible pour extraire plus d'huile. Aussi, ils affirment qu'il faut un diamètre de buse pas trop faible pour éviter une élévation de température responsable de la formation

des phospholipides dommageables pour les moteurs [Jossart et coll., 2004]. On distingue aussi la technique d'extraction par solvant qui consiste à diluer l'huile provenant du pressage mécanique par un solvant volatil (éthanol, hexane) et on obtient des rendements très élevés qui peuvent aller jusqu'à 99%. L'utilisation du solvant se fait au détriment de la qualité des tourteaux qui deviennent inutilisables (fait appel à l'utilisation de produits dangereux) au contraire du pressage mécanique simple dont les tourteaux peuvent être valorisés comme engrais dans l'agriculture [Adriaans et coll., 2006].

✚ La 3^{ème} étape que constitue la phase de filtration est très importante et peut se faire directement en sortie de presse mais se fait habituellement après une décantation qui permet de supprimer les grosses impuretés par sédimentation. Ce principe basé sur la différence de densité entre l'huile et les particules, permet de séparer le mélange solide-liquide et dure 3 jours à 3 semaines [Ferchau, 2000]. Ensuite, on filtre l'huile issue de la décantation avec des filtres à gazole de tracteurs qui est à 5 μ de diamètre, des filtres à plaques ou à cartouches [Barthélémi J., 2005].

✚ Au cours du stockage (4^{ème} étape), l'huile filtrée à 5 μ doit être à l'abri de la lumière directe du soleil, à température quasi constante, dans un endroit frais mais non humide et on peut ainsi stocker (dernière étape) dans des bidons en plastique ou en acier inoxydable pendant plusieurs années comme huile de qualité carburant [Barthélémi J., 2005].

II.3. CONDITIONS D'UTILISATION DE L'HUILE DE JATROPHA DANS LES MOTEURS

Seuls, les moteurs diesel admettent l'utilisation d'huile végétale pure à la place du carburant utilisé (gazole, fuel lourd...) [Boussel, 1994]. Ces moteurs diesel fonctionnent selon le principe du cycle à quatre temps : admission, compression, inflammation-détente et échappement. La combustion interne de ces moteurs se déclenche par auto-inflammation alors qu'un moteur à essence nécessite une bougie pour amorcer l'inflammation par allumage [Rousset P. et coll, 2008]. Les moteurs diesels sont divisés en deux types : les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte. Dans le moteur à injection indirecte, le combustible est admis dans une chambre de précombustion avant son entrée dans l'air à haute pression (dans la chambre de combustion) alors que dans le moteur à injection directe le

ADIKPETO Patrick Fernandez D. Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables 2010-2011

combustible est directement injecté dans la chambre de combustion.

Tableau II.1: Les propriétés physico-chimiques de l'huile de Jatropha et du gazole [KPLE M., 2009]

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

Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de Jatropha diffèrent de celles du gazole (tableau II.1). L'indice de cétane (aptitude à l'auto-inflammation), la viscosité cinématique et le point éclair (relatif à la vaporisation du carburant) sont les paramètres les plus importants à maîtriser pour une utilisation carburant des HVP dans un moteur diesel [Knote, 2004].

L'utilisation d'HVP dans un moteur diesel (surtout à injection directe) cause énormes problèmes comme le colmatage des filtres, la casse des pompes à injections et les dépôts goudronneux dans la chambre de combustion dus aux caractéristiques physico-chimiques de l'HVP. Au regard de ces caractéristiques à travers le tableau II., on note que la viscosité de l'HVP Jatropha est largement supérieure (plus de 10 fois confère tableau II.1) à celle du gazole, ceci amène des problèmes de pulvérisation au niveau de l'injection de l'HVP. Cette viscosité de l'HVP se rapproche de celle du gazole lorsqu'on chauffe l'huile jusqu'à 100°C environ [Sidibé S., 2011 ; Argawa et coll., 2007]. Aussi, l'indice de cétane du gazole étant plus faible que celui d'HVP Jatropha et ceci conduit à un délai d'inflammation plus long pour l'huile de Jatropha. Cela cause des dépôts et encrassements au niveau de la pompe d'injection, de la soupape d'admission, segments, cylindres... (voir détails en annexe II). Mais lorsque la température à l'intérieure de la chambre de combustion est supérieure à 500°C, le délai d'inflammation se réduit considérablement et on observe plus le dépôt d'encrassement au niveau des organes du moteur [Sidibé S., 2011 ; Rousset P. et coll., 2007]. La composition chimique des HVP et leur mauvaise combustion conduisent à des rejets en

gaz (NO_x, CO, HC...) élevés. Ce problème n'apparaît plus lorsqu'on utilise l'HVP quand la température de la chambre de combustion est supérieure à 500°C (voir annexe II). L'utilisation de l'huile peut se faire par mélange HVP/gazole car l'huile de Jatropha se mélange bien au gazole ou par utilisation directe mais avec des modifications sur les moteurs diesel. Le mélange entre l'HVP et le gazole, ne doit pas dépasser les 30% pour les moteurs à injection directe et on doit modifier les organes (filtre, pompe d'injection...) des moteurs à injection indirecte pour utiliser le mélange à tous les taux. Ceci à cause des risques de séparation de phase qui apparaissent mais la dépendance au combustible fossile (gazole, fuel lourd) subsiste [Barthélemy, 2005]. On peut donc utiliser la bicarburation pour l'utilisation directe de l'HVP Jatropha en achetant ou en confectionnant un kit de bicarburation adapté au moteur diesel à utiliser. Ce principe de bicarburation a été mis au point par le CIRAD et permet avec deux réservoirs : un pour le gazole et l'autre pour l'HVP, montés avec des pré-filtres et conduits de carburant sur un moteur diesel, d'avoir deux circuits d'alimentation [Rousset P. et coll., 2007]. On démarre le moteur avec le gazole afin que sa chambre de combustion ne soit assez chaude (température supérieure à 500°C) pour pouvoir basculer à l'HVP pour un fonctionnement continu en prenant soin de rebasculer au gazole pour rincer le circuit du moteur avant de l'éteindre.

Les différents résultats obtenus au cours des travaux et projets effectués nous renseignent sur les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'huile de jatropha dans un moteur et nous guiderons à atteindre les objectifs de ce travail qui sont de :

- ✚ Produire de l'huile de jatropha de qualité carburant (HVP) mais avec des moyens artisanaux;
- ✚ Trouver grâce aux tests technico-économiques, les conditions optimales d'utilisation de cette huile de jatropha pour produire l'électricité à travers un groupe électrogène diesel de 3kW en fonctionnement réel avec un moteur.

Il s'agira surtout pour nous ici, de faire une évaluation technique surtout de l'utilisation de l'HVP jatropha produite, dans le moteur diesel en conditions réelles d'utilisation, en réalisant le coût de l'opération (de la production à l'utilisation de l'huile de jatropha dans le moteur).

III. MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie, nous allons estimer la quantité de matière première (graines de Jatropha) disponible au centre Songhaï, recenser les matériels qui nous ont permis de produire l'huile de Jatropha. Nous allons également faire le détail des méthodes utilisées pour réaliser les tests technico-économiques lors de la production d'électricité par le générateur diesel pour diverses charges.

III.1. PRODUCTION DE L'HUILE VEGETALE PURE DE JATROPHA

Nous disposons sur le site de Songhaï, des graines de jatropha sèches et stockées dans des sacs de 25 kg. La première quantité de graines utilisée est de 50 kg avec une seconde quantité de 67 kg additionnelle (apportée un mois plus tard). La production d'huile à partir des deux quantités de graines s'est faite à travers quatre grandes étapes successives : prétraitement des graines, extraction d'huile (transformation des graines en huile par pressage), décantation et filtration de l'huile avant son stockage pour une utilisation carburant.

■ Prétraitement des graines de jatropha

Les graines étant déjà séchées, le prétraitement à consister au nettoyage des graines au moyen d'un tamis pour enlever la poussière et ensuite au triage des graines pour enlever les feuilles des arbres, cailloux... c'est-à-dire les impuretés contenues dans les graines de jatropha. Cette étape a nécessité l'appui de deux manœuvres et a duré 10 heures.

■ Extraction de l'huile

Une fois les graines prétraitées, elles ont été utilisées pour l'extraction d'huile par pressage. Les graines sont pesées avant d'être introduites dans la presse. La presse utilisée lors de l'extraction est une presse à vis et à barreaux d'origine chinoise (figure III.1).



Figure III.1: Presse à barreaux utilisée pour l'extraction d'huile de jatropha

Cette presse a une capacité théorique de 166 à 292 kg/h et est actionnée par un moteur de 11 kW à l'aide de trois courroies passant dans la gorge d'une poulie (en bas). Une courroie sert à tourner les graines de jatropha à l'intérieur de la trémie avant d'être pressées (les caractéristiques de la presse sont données en annexe III). Lors du pressage, l'huile chargée de déchets (couleur brune) sort par les sorties entre les barreaux et glisse dans un plateau. Ensuite, l'huile est recueillie dans un récipient pour être stockée dans des bidons en plastique de 20 litres. Les tourteaux de jatropha sont expulsés à la sortie de la presse en forme de plaquette. L'huile est stockée dans des bidons avant l'étape de la filtration.

Filtration de l'huile de jatropha

Au cours de cette troisième étape, nous faisons d'abord la décantation avant la filtration proprement dite. Cette décantation débute dès le stockage de l'huile extraite et dure deux semaines. Après, l'huile séparée des sédiments (des grosses particules) est filtrée avec un filtre adapté. Le filtre a été conçu et réalisé avec un seau de 25 litres dans lequel on a disposé trois niveaux de filtration. Chaque niveau de filtration est constitué d'un cerceau entouré d'un paille filtrant appelé “*guihuivo*” (figure III.2).



Figure III.2: Photo montrant le seau en plastique avec les 3 niveaux de filtration (à gauche) et le seau avec les cerceaux entourés du tissu filtrant (à droite) lors de la filtration

Pour la filtration de l'huile, on verse progressivement l'huile dépourvue de sédiments sur le premier niveau et par gravitation l'huile s'infiltre entre les fins trous du tissu jusqu'au troisième niveau de filtration au niveau du dernier cerceau. Le temps de filtration de 12 litres est d'environ 1 heure mais il faut une grande quantité pour donner un ratio.

■ Stockage d'huile de jatropha

L'huile ainsi filtrée est stockée dans des bidons en plastique de 20 litres dans un endroit humide et à l'abri du rayon solaire. L'huile de jatropha de qualité carburant est ainsi obtenue et peut être utilisée comme combustible pour la production d'électricité par un générateur.

Le bilan économique de la production sera effectué à travers l'estimation du coût de production du litre d'HVP jatropha dans le centre Songhaï. Pour cela, nous allons considérer l'investissement initial relatif au coût de la presse à vis, au filtre construit artisanalement et de l'usine à construire pour la production de l'huile de jatropha. Aussi, les dépenses annuelles relatives à la maintenance de la presse, la main d'œuvre pour le personnel mobilisé, à l'énergie consommée par la presse (avec un coût de 109F/kWh) seront considérées avec un temps de travail calculé à Songhaï de 335 jours par an. On actualisera ces dépenses annuelles avec un taux d'actualisation de 10% sur le temps d'amortissement de la presse. La capacité de la presse utilisée sera celle trouvée lors de l'extraction et le rendement net également. Toutes ces hypothèses seront faites sans considérer la valorisation des tourteaux pour l'estimation du coût d'HVP jatropha produite par litre.

III.2. TESTS D'UTILISATION DE L'HUILE DE JATROPHA DANS UN MOTEUR

Pour utiliser l'huile de Jatropha comme carburant, on dispose d'un générateur diesel à refroidissement par air de puissance maximale 3 kW (figure III.3). **Ce générateur présente un intérêt particulier vu sa puissance qui diffère des puissances élevées utilisées dans les travaux sur l'HVP. L'utilisation de ce moteur permettra de trouver les performances des moteurs de faibles puissances en utilisation d'HVP.**



Figure III.3: Photo montrant le générateur diesel, modèle HHD3500LH3, marque JINAODA avec une puissance maximale de 3 kW

Ce groupe électrogène qui est un générateur comportant un moteur diesel à injection directe, monocylindre, à aspiration d'air, refroidi par air, de la marque JINAODA de modèle HHD3500LH3 a servi pour les différents tests. Ce moteur tourne à une vitesse constante de 3000 tr/min. Un alternateur électrique couplé au moteur, délivre une tension de 220V monophasé ou une tension de 380V en triphasé. Des charges résistives de marque AEV de puissance maximale 0,5kW et 1kW (en monophasé) sont connectés seuls ou associés en parallèle (1,5kW) à l'alternateur et permettent de charger le moteur jusqu'à sa charge maximale. Pour produire cette électricité avec une huile végétale pure de jatropha, il faut l'adapter au moteur et/ou adapter le moteur à l'huile en effectuant des modifications. Notre choix est d'adapter le moteur diesel en utilisant la méthode de bicarburant parce qu'elle ne nécessite pas de modifications de la chambre de combustion et sa réalisation peut se faire avec des moyens artisanaux. En outre, la bicarburant présente l'avantage de s'affranchir de l'utilisation d'une grande quantité de gazole et de permettre une utilisation plus accrue d'huile

végétale pure (ce qui n'est pas le cas du mélange huile/gazole) une opportunité pour les populations en zone rurale. Les essais sont réalisés des taux allant 0 à 100% de charge du moteur et avec une décortiqueuse (conditions réelles d'utilisation) en alimentation bicarburation.

■ Modifications du moteur: réalisation d'un kit de bicarburation

Le mode d'alimentation adopté lors de l'utilisation de l'huile de *jatropha* dans le moteur diesel est donc la bicarburation. En effet, le centre Songhaï envisage après l'aboutissement de ce projet, vulgariser l'utilisation de cette huile dans les moteurs dans les villages pour qu'ils puissent s'autoalimenter en électricité.

La bicarburation est un procédé qui consiste à installer en parallèle avec le premier circuit d'alimentation (celui du gazole), un second circuit propre à l'huile végétale (l'huile de *jatropha*).

Pour réaliser le kit de bicarburation que nous avons monté sur le moteur du groupe électrogène, nous avons utilisé en série :

⊕ Réservoirs

Le système de réservoirs est constitué de deux bidons de 5L chacun, utilisés respectivement pour contenir le gazole et l'huile de *jatropha*.

⊕ Un système de pré-filtre

Il est constitué de deux (2) pré-filtres de gazole pour **Mercedes** qui permettent d'effectuer un filtrage des carburants à la sortie des réservoirs.

⊕ Un système de préchauffage

C'est le fait que l'huile de *jatropha* possède une viscosité plus élevée comparée au gazole qui amène la nécessité du préchauffage de l'huile. Pour ce système de préchauffage, nous avons valorisé la chaleur rejetée lors de la combustion (de l'huile de *jatropha*) par le réservoir d'échappement. Nous avons ainsi enroulé le tube de conduite d'huile (en tuyau inox très résistant à la chaleur) autour de ce réservoir afin de diminuer au maximum la viscosité de l'huile (qui devient fluide) pour qu'elle se rapproche de celle du gazole. Ceci permet de soulager la pompe d'injection, d'améliorer la pulvérisation de l'huile de *jatropha* dans la chambre de combustion afin de rendre meilleure la combustion de l'huile.

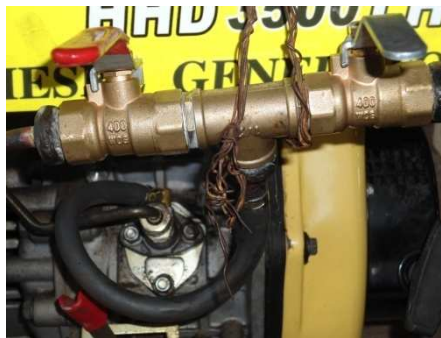
④ Un système de basculement

Ce système de basculement est composé de deux vannes d'arrêt, trois embouts, un mamelon et un tube (en T). En fixant cet ensemble à l'aide d'un petit support, ce système est fixé sur le moteur au niveau de la pompe d'injection. L'ensemble formé par ce système joue le rôle d'électrovanne et offre à l'utilisateur du groupe électrogène la possibilité d'alimenter avec le gazole et de basculer après à l'huile ou inversement.

Toutes ces différentes composantes du kit de bicarburant seront reliées par des durites, avec deux bidons percés d'un trou pour adapter le tube à l'aide d'une valve de chambre à air.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure III.4: Photo des différentes composantes du kit de bicarburant successivement le système de préchauffage (a), le système de basculement (b), le pré-filtre (c) et le système composé de réservoirs et durite (d)

Toutes ces composantes sont montées sur le moteur du groupe électrogène et permettent une utilisation de l'huile de jatropha et du gazole pour réaliser les tests. Pour les tests, on utilise une instrumentation composée d'un thermocouple introduite dans le tube d'échappement tout proche de la chambre de combustion. Une balance de précision a été utilisée pour mesurer la quantité de combustible consommée dans un intervalle de temps donné de fonctionnement du

générateur afin d'estimer le débit massique.

Après le démarrage au gazole, nos hypothèses sont que la stabilisation de la température des gaz d'échappement de combustion conduit à une température suffisante dans la chambre de combustion. Aussi, la couleur des gaz d'échappement passe du noir au blanc lorsqu'on passe du gazole à l'huile de Jatropha. Ces hypothèses nous permettront de déterminer respectivement les temps t_1 et t_2 de basculement gazole/huile de Jatropha et de retour au gazole pour nettoyer le circuit d'alimentation en combustible. La puissance, la tension délivrée par le générateur, sa fréquence et l'énergie électrique consommée par différentes charges ont été trouvées grâce au compteur d'énergie et au multimètre. Toutes les composantes des figures III.3 et III.4 sont connectées à un réseau et les données sont stockées sur un e-reader (logiciel de lecture de données). Les charges utilisées en fonctionnement monophasé du générateur diesel sont des résistances admettant des puissances maximales de 0,5kW, 1kW et 1,5kW pour trouver le taux de charge minimal d'un bon fonctionnement du générateur. En fonctionnement triphasé, nous avons utilisé une décortiqueuse de riz dont la puissance nominale est 2,2 kW pour avoir des données en conditions réelles de fonctionnement du générateur diesel (figure III.5).



Figure III.5: Photo montrant les charges utilisées en monophasé, les résistances (à gauche) et en triphasé, une décortiqueuse de 2,2 kW

Les données de température des gaz d'échappement, de puissance, s'affichent sur l'ordinateur par l'intermédiaire d'un enregistreur de données le *e-reader* observable à l'aide du logiciel *test commander*.

IV. RESULTATS

Les résultats de l'étude sont donnés en deux grands volets : la production de l'huile de Jatropha et l'utilisation de l'HVP Jatropha dans le groupe électrogène diesel.

IV.1. RESULTATS DES TESTS TECHNICO-ECONOMIQUES LIES A LA PRODUCTION D'HUILE VEGETALE PURE DE JATROPHA

La première partie concernant la production de l'huile de jatropha de qualité carburant, renseigne sur les différentes caractéristiques de la presse à barreaux utilisée lors de l'extraction d'huile, la température de l'huile extraite et l'estimation du coût de production par litre d'HVP Jatropha.

IV.1.1. Caractéristiques de la presse et conditions de pressage de l'huile

Les caractéristiques de la presse à barreaux utilisée lors de l'extraction d'huile concernent les rendements de la presse et sa capacité horaire. La température de l'huile extraite aussi sera mesurée pour rendre compte des conditions de pressage.

Les rendements de la presse se feront au moyen de rapport de masse d'huile et de graines.

✚ Taux de recouvrement : c'est le rendement le plus significatif. Il représente le rapport entre la masse d'huile extraite par la masse d'huile qu'on peut théoriquement extraire des graines et sera noté T_{recouvr} . Pour le jatropha on estime à 35% d'huile théorique dans la graine.

$$T_{\text{recouvr}} = \frac{\text{masse d'huile extraite}}{35\% * \text{masse des graines séchées}} \quad (\text{Eq. IV. 1})$$

avec les masses des graines séchées et d'huile extraite en kg.

✚ Rendement net : c'est le rapport entre la masse d'huile obtenue après filtration et le masse de l'oléagineux (masse des graines)

$$\eta_{\text{net}} = \frac{\text{masse d'huile après filtration}}{\text{masse des graines séchées}} * 100 \quad (\text{Eq. IV. 2})$$

- ✚ Rendement brut : c'est le rapport entre la masse d'huile extraite et la masse de l'oléagineux (masse des graines)

$$\eta_{\text{brut}} = \frac{\text{masse d'huile extraite}}{\text{masse des graines séchées}} * 100 \quad (\text{Eq. IV.3})$$

Désignons par m_1 , m_2 et m_3 respectivement les masses des graines de Jatropha séchées, d'huile extraite et d'huile obtenue après filtration. Les résultats obtenus lors de l'extraction d'huile nous livrent des valeurs consignées dans le tableau IV.1 :

Tableau IV.1: Caractéristiques de la presse utilisée pour l'extraction d'huile

Caractéristiques de la presse utilisée pour l'extraction de l'huile de jatropha		
	Valeurs trouvées	Unités
Masse d'oléagineux m_1 :	117	kg
Masse d'huile extraite m_2 :	39,5	kg
Masse d'huile déjà filtrée m_3 :	23	kg
Taux de tourteaux	65,09	%
Rendement brut	33,76	%
Rendement net	19,70	%
Taux de recouvrement	97,14	%
Température d'extraction	39,70	°C
Capacité horaire	56	kg/h

En plus de ces tests techniques sur la presse, une évaluation économique a été effectuée et concerne l'huile obtenue du pressage.

IV.1.2. Résultats liés au coût de production par litre d'huile produite

Cette évaluation est liée à l'estimation du coût de revient par litre d'huile de jatropha produite. Les données utilisées pour la réalisation de ce prix de revient du litre d'HVP

Jatropha sont :

Coût de la presse à barreaux (AGICO) : 4 000 000 FCFA

Coût des filtres utilisés : 150 000 FCFA

Coût de la construction (installation) : 1 500 000 FCFA

Maintenance annuelle de la presse : 400 000 FCFA

Coût des graines par kg : 100 FCFA

Les résultats globaux obtenus de ces données avec un taux d'actualisation de 10% sur le temps d'amortissement de la presse de 8 ans, les dépenses d'installation liées au coût de la presse, du filtre conçu, de l'aménagement des lieux de pressage et des coûts supplémentaires sont données dans le tableau IV.2 :

Tableau IV.2: Bilan des prévisions sur le temps d'amortissement de la presse

	<i>Investissements pour les installations (FCFA)</i>	<i>Dépenses auxiliaires (FCFA)</i>	<i>Production d'huile de jatropha (L)</i>
<i>Valeur à la 1ère année</i>	5 650 000	17 940 600	40 200
<i>Valeur totale après actualisation sur les 8 ans</i>	5 650 000	95 711 777	321 600

Les données de ce tableau nous amènent à avoir les résultats suivants :

Dépenses totales sur le temps d'usage de la presse : 101361377 FCFA

Quantité totale d'HVP jatropha produite : 321600 Litres

Coût de production du litre d'HVP jatropha : 315 FCFA

En considérant la main d'œuvre (100 000 FCFA/personne) pour 3 personnes utilisées, on obtient un coût de 368 FCFA et dans l'hypothèse d'une production industrielle avec filtre industriel (2 000 000 FCFA) ce coût s'élève à 374 FCFA hors taxe.

Avant la seconde partie qui sera consacrée aux résultats de l'étude technico-économique de l'utilisation d'HVP Jatropha dans un moteur diesel, les modifications nécessaires au moteur avant son utilisation avec l'huile seront abordées.

➡ Coût des modifications pour l'utilisation de l'huile de Jatropha dans un moteur

Les différentes modifications effectuées concernent la réalisation du kit de bicarburation, confectionné avec des moyens locaux. Le bilan des dépenses faites lors de cette réalisation nous amène aux différentes valeurs des composantes utilisées qui sont consignées dans le

tableau IV.3 :

Tableau IV.3: Récapitulatif des achats liés au kit de bicarburation

Pour le générateur diesel de 3 kW					
	Composantes	Nombre	Prix unitaire	Total/ Composante	Références
Réalisation d'un Kit de bicarburation	Mètre de durite 8mm	2	350	700	Marché Ouando et Etablissement El-Hadja Moulikath
	Mètre de tuyau en inox 8mm	2	300	600	
	Préfiltre gazole	2	500	1000	
	Petits colliers	15	50	750	
	Vanne d'arrêt 3/8	2	2000	4000	
	Mamelon 3/8	1	1000	1000	
	Embout 3/8	3	700	2100	
	Té 3/8	1	400	400	
	Téflon	2	250	500	
	Support + vis	1	500	500	
TOTAL				11750	

IV.2. RESULTATS DES TESTS TECHNICO-ECONOMIQUES REALISES LORS DE L'UTILISATION D'HUILE ET DU GAZOLE DANS LE MOTEUR DIESEL

IV.2.1. Résultats des tests techniques réalisés sur le moteur fonctionnant au gazole et en HVP Jatropha

Les tests techniques ont été effectués lors de l'utilisation de l'HVP Jatropha dans le moteur fonctionnant avec un kit de bicarburation avec des charges en monophasé (charges résistives) et des charges en triphasé (décortiqueuse de riz). Les résultats obtenus sont relatifs aux performances du moteur et aux émissions de polluants lors de la combustion du gazole et d'HVP Jatropha pour les différentes charges en fonctionnement monophasé et triphasé du moteur.

IV.2.1.1. Utilisation du moteur en monophasé avec différentes charges résistives

Les tests techniques réalisés sur le moteur en fonctionnement, donnent pour des résistances chauffantes, les résultats relatifs aux performances du moteur et à la qualité de combustion.

➡ Performances du moteur

ADIKPETO Patrick Fernandez D. Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables 2010-2011

Ces performances concernent la consommation spécifique C_s en gazole et en HVP jatropha du moteur et la température des gaz d'échappement lors de la combustion de ces carburants à différentes charges résistives. Le générateur diesel utilisé avec des charges résistives de 2 kW et 1,5 kW fournit en monophasé une puissance maximale égale à 1200 W. Aussi, les charges disponibles reçoivent des puissances de 1200 W, 900 W et 500 W lors du fonctionnement du moteur diesel avec respectivement 1,5 kW, 1 kW et 0,5 kW.

➤ La consommation spécifique C_s de carburant du moteur

La consommation spécifique C_s d'un moteur en fonctionnement est le rapport entre le débit massique dm du carburant consommé et la puissance de la charge (P_{charge}) du moteur. Elle s'exprime en g/kWh généralement.

$$C_s = \frac{dm}{P_{charge}} = \frac{m}{t * P_{charge}} \quad (Eq. IV.4)$$

Où dm est en g/h et la puissance de la charge du moteur en kW.

Les tests réalisés à différentes charges en monophasé nous ont fourni les résultats relatifs au débit massique, à la consommation spécifique C_s et au taux de variation de C_s en fonction des carburants (gazole et HVP Jatropha) consommés par le moteur.

Les résultats permettent de réaliser les graphes de la figure IV.1 :

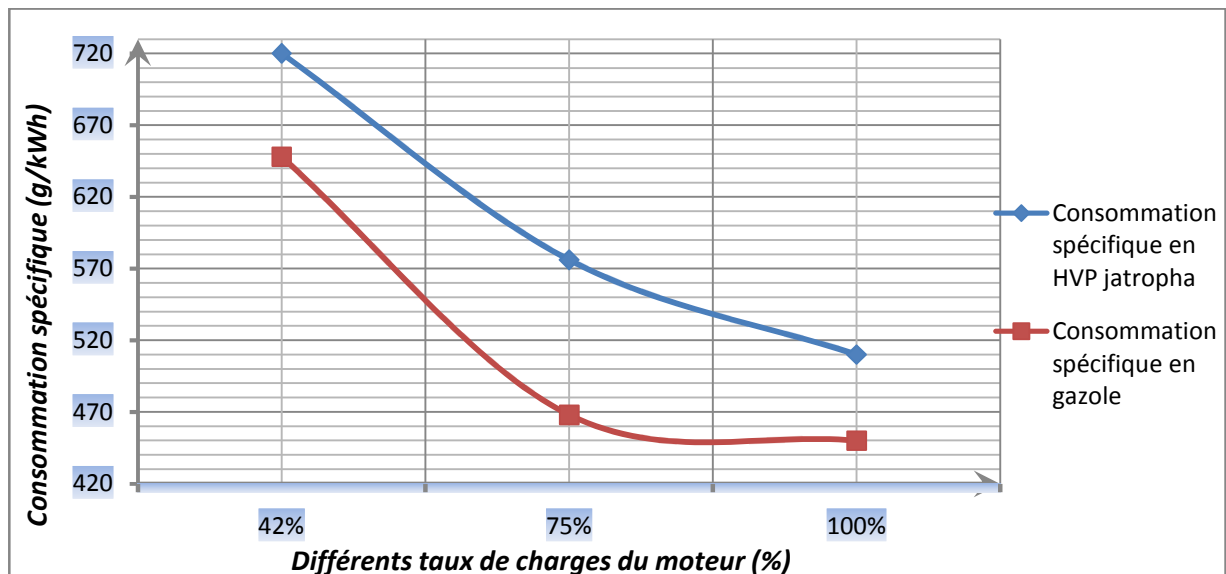


Figure IV.1: Courbes montrant l'évolution de la consommation spécifique C_s en gazole et en HVP jatropha en fonction des charges du moteur en fonctionnement

Pour comparer la consommation de carburant en HVP Jatropha par rapport à celle du gazole, nous avons donné le taux de variation de la consommation spécifique aux différentes charges utilisées en monophasé. Ceci nous a permis de réaliser le tableau IV.4 comme suit :

Tableau IV.4: Récapitulatif des débits massiques et des taux de variation de la consommation spécifique pour les deux carburants à différentes charges

Charges	Débit en g/s		Taux d'augmentation de Cs (%)
	Gazole	Jatropha	
42%	0,09	0,1	10
75%	0,13	0,16	19
100%	0,15	0,17	12

D'autres résultats relatifs aux performances du moteur seront donnés à travers la température des gaz d'échappement en fonctionnement du générateur avec l'huile et le gazole.

- La température des gaz d'échappement du moteur

Cette température exprime la température des fumées juste à la sortie de la chambre de combustion, d'évacuation des gaz d'échappement. Dans notre cas où la sonde de température a été insérée très proche de la chambre de combustion, les mesures obtenues sur le logiciel *test commander* nous conduisent aux résultats qui permettent de réaliser les courbes de température de la figure IV.2 relatives au fonctionnement en gazole du moteur :

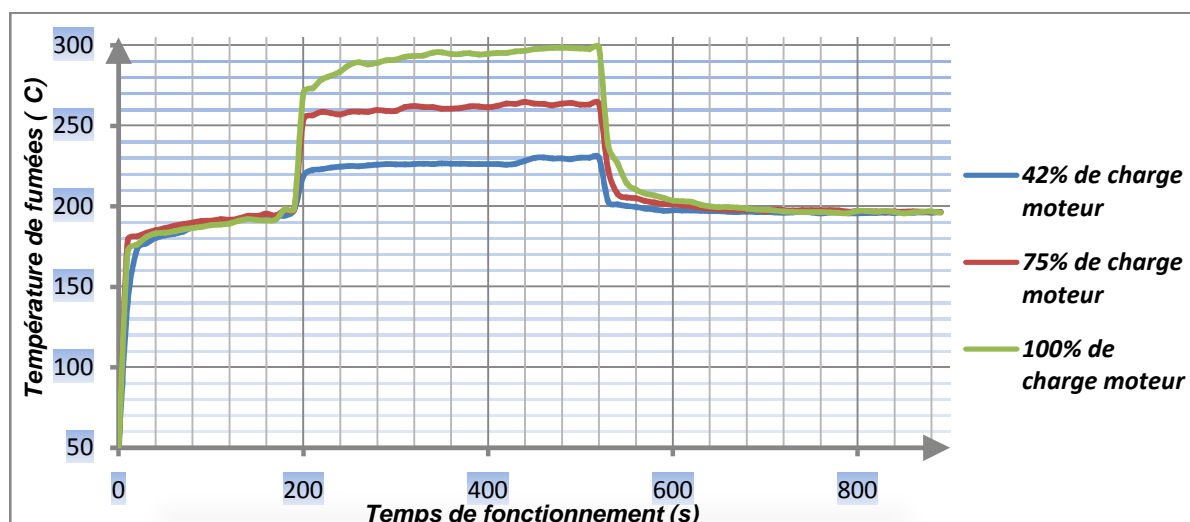


Figure IV.2: Courbes montrant l'évolution des températures de fumées (très proche de la chambre de combustion) en fonction du temps à différentes charges du moteur pour le gazole

La mise en marche du moteur a lieu au temps ($t=0s$), après 3 minutes environ de stabilisation on met les charges pour le moteur pendant 5 minutes (300 s) et dès cet instant on coupe le moteur.

Après l'étalonnage du moteur au gazole, la figure IV.3 présente les variations de la valeur maximale de la température des gaz d'échappement en fonctionnement avec les deux carburants aux différentes charges résistives en monophasé.

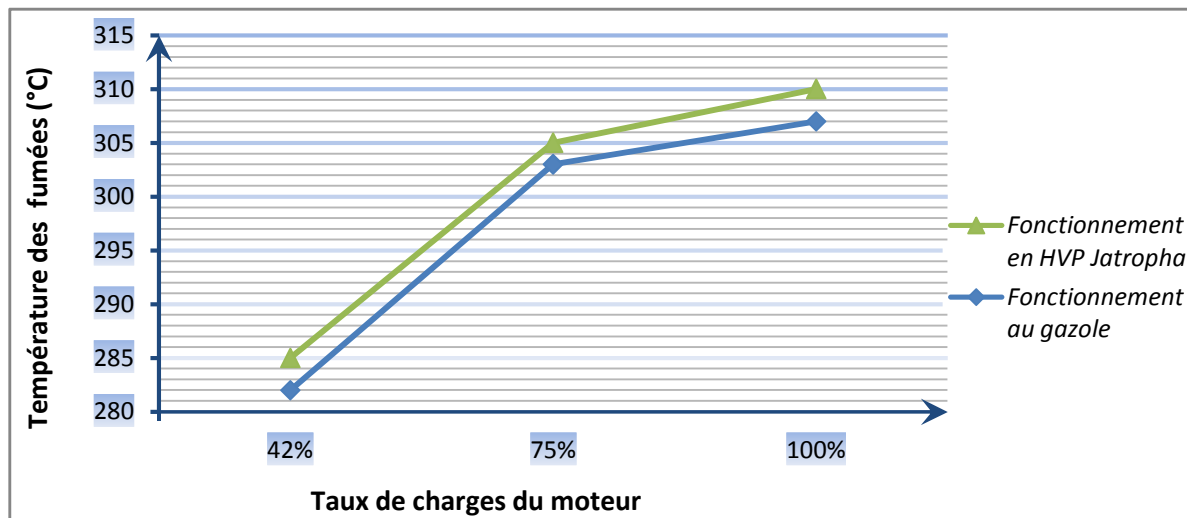


Figure IV.3: Courbe montrant la variation de la température des fumées en fonction des charges

Lors de la combustion des carburants dans le moteur, les gaz d'échappement ne sont pas identiques, la qualité de la combustion n'est pas identique.

➡ Qualité de la combustion des carburants (gazole et HVP Jatropha) dans le moteur

Au niveau de l'analyse des gaz de fumées, le défaut d'équipement ne nous permet pas de quantifier les quantités de CO_2 , de CO et SO_2 présentes. On remarque néanmoins une opacité au niveau des gaz d'échappement lors de la combustion du gazole et une couleur blanche des gaz issus de la combustion d'HVP Jatropha dans le moteur.

IV.1.1.2. Utilisation du moteur en triphasé avec une décortiqueuse de riz

La décortiqueuse a été utilisée comme charge en fonctionnement triphasé du moteur avec un taux de charge de 73,33%. Les résultats obtenus sont relatifs aux performances du moteur et à la qualité de la combustion.

➡ Performances du moteur

Les performances du moteur en usage réel avec une décortiqueuse de riz sont liées à la

consommation spécifique C_s en carburant et à la température des gaz d'échappement.

C'est ainsi qu'après les tests réalisés avec des charges résistives (tests propres au laboratoire), les tests effectués avec la décortiqueuse (en conditions réelles d'utilisation) sur le générateur diesel ont permis d'obtenir certains résultats qui traités avec le *test commander* nous donnent les courbes de la figure IV.4 :

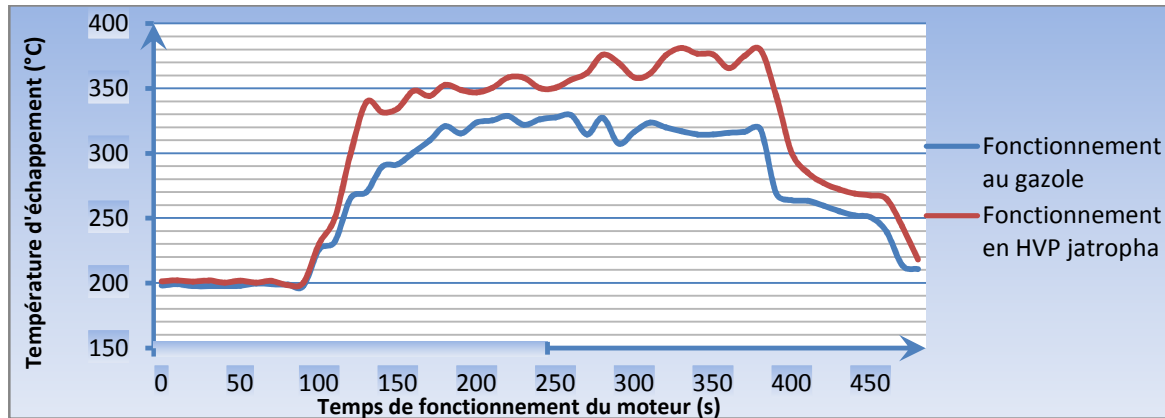


Figure IV.4: Courbes montrant la variation de la température des gaz d'échappement au cours du décortilage de riz

Notons que l'introduction de la charge a lieu après 100 secondes et après 300 secondes (5 minutes) de fonctionnement en charge, on retire la charge du moteur.

Les résultats ci-dessus concernent uniquement la température des gaz d'échappement au cours du décortilage de riz. Les résultats liés aux débits massiques mais surtout à la consommation spécifique C_s en carburant lors de cette utilisation en conditions réelles de travail, sont consignés dans le tableau IV.5 ci-dessous :

Tableau IV.5: Récapitulatif des performances du moteur diesel en fonctionnement à l'huile et au gazole utilisé avec la décortiqueuse de riz (comme charge)

	Débit massique (g/s)	Consommation C_s (g/kWh)	Plage des températures d'échappement (°C)
Fonctionnement avec le gazole	0,19	311	340°C - 360°C
Fonctionnement avec l'HVP jatropha	0,21	344	345°C - 380°C

L'utilisation de la décortiqueuse pour le fonctionnement en triphasé du générateur diesel a permis de prendre des temps de décortilage pour une masse fixe de 4 kg de riz déjà traité appelé "cuit". On trouve un temps de 5 minutes de décortilage de riz avec un débit moyen de

0,21 g/s de consommation en fonctionnement du moteur avec l'huile de Jatropha et 4 min 40s et un débit moyen de 0,19 g/s pour le décortiquage en fonctionnement de ce même moteur avec le gazole. Le taux de variation de consommation spécifique du moteur entre l'utilisation en HVP Jatropha et en gazole est d'environ 9,5%.

➡ Qualité de la combustion

La proportion de fumées noires reste plus importante au niveau de la combustion du gazole par rapport à celle d'HVP Jatropha. De plus, la quantité de gaz d'échappement obtenus avec la décortiqueuse est plus importante que celle obtenue avec les charges résistives au même taux de charge (environ 75%).

IV.2.2. Résultats des tests économiques pour l'utilisation d'HVP Jatropha dans le moteur au lieu du gazole

Le bilan économique de l'utilisation d'HVP Jatropha à la place du gazole dans le moteur se fera en utilisation réelle. Pour réaliser ces tests économiques d'alimentation du moteur en HVP Jatropha avec la décortiqueuse de riz, nous considérons le débit massique de l'HVP Jatropha avec un fonctionnement de 8h/jour de la décortiqueuse donc du moteur pendant le temps annuel de travail. La durée d'amortissement du générateur diesel étant de 4 ans et celle de la décortiqueuse 8 ans, nous estimons d'abord les consommations en carburant (huile de Jatropha et gazole) avec la quantité prévisionnelle de riz décortiqué. Ces valeurs sont contenues dans le tableau IV.6 ci-dessous :

Tableau IV.6: Bilan des prévisions liées au fonctionnement de la décortiqueuse de riz

	Consommation en HVP Jatropha (g/s)	Quantité prévisionnelle de riz décortiqué par an (kg)	Consommation d'huile (L)	Consommation en gazole (L)
Valeur calculée	0,21	128640	1864	1522

Considérant une utilisation de la décortiqueuse sur sa durée d'amortissement, les frais liés à la maintenance (vidange et remplacement de pièces usées) du générateur diesel et à sa modification (kit de bicarburant) avec un taux d'actualisation de 10%, nous aboutirons à l'estimation du coût de production du kWh d'électricité produite à partir d'HVP Jatropha et

du gazole. Plusieurs données ont été utilisées afin de mieux estimer le coût de revient du kWh en utilisant l'HVP Jatropha ou le gazole :

Coût de la décortiqueuse : 1 250 000 FCFA

Coût du moteur diesel : 750 000 FCFA

Consommation horaire d'HVP : 756 Kg/h

En prenant le prix calculé du litre d'huile de 315FCFA et celui du gazole vendu à la station au Bénin de 500FCFA, on obtient les résultats consignés dans le tableau IV.7 :

Tableau IV.7: Récapitulatif des dépenses et production d'électricité avec l'HVP et le gazole en utilisation réelle

	<i>Installation (FCFA)</i>	<i>Dépenses auxiliaires (FCFA)</i>	<i>Production réelle d'électricité avec les carburants (kWh)</i>
<i>Valeur à la 1ère année</i>	1 150 000	789024	4990
<i>Valeur totale après les 8 ans d'utilisation</i>	1 150 000	4209385	39920

<i>Prix de revient du kWh avec l'hvp jatropha</i>	134 FCFA
<i>Prix de revient du kWh avec le gazole</i>	180 FCFA

➡ Résultats sur le plan environnemental

Pour estimer la quantité de CO₂ économisé lors de l'utilisation d'HVP Jatropha, nous allons considérer un facteur d'émission de 2,7 kg de CO₂/litre de gazole brûlé lors de la combustion (www.total.fr). La quantité totale économisée par an Qécono sera donnée par la relation :

$$Qécono = \text{Facteur d'émission} * \text{Volume de gazole équivalent} \quad (\text{Eq. IV. 4})$$

Ce volume de gazole est le volume correspondant au volume d'huile qu'on a utilisé pour décortiquer le riz par an. Le calcul de la quantité de CO₂ économisée lors de l'utilisation de l'HVP Jatropha à la place du gazole pour le décortilage du riz avec la décortiqueuse est de 4,11 téq CO₂ par an et 32,88 téq CO₂ sur le temps d'amortissement de la décortiqueuse. Toutefois, nous avons une faible consommation de gazole due au démarrage (3 minutes) et au rinçage des conduits du moteur diesel (8 minutes) chaque jour ce qui correspond à une consommation 91,32 litres de gazole par an. En considérant l'émission de CO₂ issue de cette combustion de gazole on trouve finalement sur les 8 ans, un gain réel de 30,91 téq CO₂.

V. DISCUSSION ET ANALYSES

Les analyses et discussion se feront en deux grands volets : à savoir celles relatives à la production de l'HVP jatropha et les interprétations relatives à l'utilisation de l'HVP jatropha dans le moteur diesel.

V.1. INTERPRETATIONS DES RESULTATS OBTENUS DE LA PRODUCTION D'HUILE VEGETALE PURE DE JATROPHA AU CENTRE SONGHAÏ

V.1.1. Caractéristiques de la presse à barreaux utilisée et conditions d'extraction d'huile

L'extraction d'HVP Jatropha nous a fourni les résultats du tableau IV.1 qui nous montre les caractéristiques techniques de la presse à barreaux utilisée pour l'extraction d'HVP jatropha. La proportion des tourteaux trouvée lors du pressage est 65,09 % très proche des 2/3 de la quantité des graines pressée prévue dans la littérature [*Barthélémi, 2005; Rousset P. et coll., 2007*] et supérieure au 60 % de tourteaux trouvée lors de l'extraction d'HVP jatropha effectuée avec la même presse par les ONG *GERES Mali* et *AVD Delta Sévaré* à Koutiala [*Pallièrre B., 2008*]. Le tableau IV.1 montre aussi les caractéristiques de la presse liées à ses rendements brut et net qui sont respectivement 33,76 % et 19,7 % avec un taux de recouvrement de 97,16 %. Ces rendements sont quasiment les mêmes que ceux obtenus lors des travaux d'extraction d'huile de jatropha à Koutiala de *Benjamin Pallièrre (2008)*. Aussi, le taux de recouvrement est en accord avec celui des presses à barreaux qui est compris entre 95 et 98% d'après les travaux de *Rousset P. et coll., (2007)* sur l'extraction des HVP. Ce taux de recouvrement est très intéressant car il est très proche du maximum 98%, ce qui nous laisse penser que la presse utilisée pour l'extraction est bonne. La capacité horaire de la presse est de 60 kg/h ce qui est inclus dans l'intervalle de 40 kg/h à 200 kg/h affiché dans les résumés des travaux de *Barthélémi (2005), Rousset P. (2007)*.

Au niveau des conditions d'extraction d'HVP, on note que la température d'extraction d'huile est 39,7°C ce qui est bien inférieure à la limite de 50°C exigée par *Rousset P. et coll. (2007), Domergue M. et coll. (2008)* dans leurs travaux respectifs. Ceci limite l'augmentation des phospholipides dans l'HVP produite et le risque d'encrassement de la chambre de combustion. Les caractéristiques de la presse et les conditions d'extraction de l'huile sont globalement bonnes mais on peut optimiser les conditions d'extraction en effectuant des réglages au niveau de la presse, le rendement net d'huile filtrée en augmentant la durée de

décantation et en envoyant l'huile décantée à forte pression dans le filtre fabriqué.

V.1.2. Interprétations du coût de revient du litre d'HVP Jatropha produit

En plus des caractéristiques de la presse, le bilan économique de la production d'HVP montre à la lecture du tableau IV.2, que le coût de production du litre de d'huile de Jatropha revient à 315 FCFA et 368 FCFA (avec main d'œuvre). Ce coût est ainsi plus faible que celui du gazole (500FCFA au 15 Août 2011 à la station service au Bénin). Ce prix de revient du litre d'huile est moins élevé que celui produit au Mali qui est de 400FCFA par les GERES Mali, JMI. L'intérêt de la production d'HVP n'est pas seulement économique mais surtout, cet intérêt réside dans la maîtrise des matières premières, des moyens de production. Ceci conduit à la disponibilité de l'HVP jatropha produite avec des technologies moins sophistiquées que celle de la production du gazole.

➡ *Interprétations sur le coût de la réalisation du kit de bicarburation (modifications du moteur)*

Avant l'utilisation de l'HVP jatropha dans le moteur diesel, les modifications apportées avec la fabrication du kit de bicarburation ont conduit à un coût total de 11750FCFA comme le montre le tableau IV.3. Ce kit a été fabriqué avec des moyens locaux et disponibles et le coût de fabrication est comparable mais inférieur au 17250FCFA de coût global obtenu par *Fotseu W. (2010)* lors de la fabrication d'un kit de bicarburation pour un moteur indien diesel à Kita (Mali). Surtout, le coût du kit produit localement est 25 fois inférieur au coût des kits industriels le moins élevé de 359595FCFA (source AEDEN, ECOWER). Ce kit présente aussi l'avantage d'être aisé dans sa réalisation et accessible aux populations rurales. Mais ce kit local exige l'omniprésence d'une personne sur la place pour l'utiliser (au moment des basculements). Même si sa technologie est aisée, on peut envisager une automatisation du basculement des vannes avec des électrovannes pour améliorer et diminuer le fait qu'il mobilise de la main d'œuvre sur place.

V.2. INTERPRETATIONS DES RESULTATS TECHNICO-ECONOMIQUES OBTENUS LORS DE L'UTILISATION D'HVP JATROPHA PRODUITE DANS LE MOTEUR

V.2.1. Interprétations des résultats techniques obtenus sur le moteur

V.2.1.1. Pour l'utilisation du moteur en monophasé avec des charges résistives

➡ Performances du moteur

Ces performances concernent la consommation spécifique et la température des gaz d'échappement lors de l'utilisation du moteur en monophasé.

➤ Consommation spécifique C_s du moteur en carburant

Après analyse de la figure IV.4, on remarque que la consommation spécifique C_s pour tous les deux carburants décroît quand les charges augmentent. Le tableau IV.4 montre en plus que la consommation spécifique augmente d'environ 13% en moyenne pour l'HVP jatropha par rapport au gazole. Ce résultat est en accord avec les conclusions des recherches de *Sidibé S. (2011) et de Rousset P. et coll. (2008)*. La surconsommation en HVP jatropha du moteur s'explique par le fait que le PCI du gazole (43,8 MJ/kg) est supérieur de 7,8% à celui de l'HVP Jatropha (40,4 MJ/kg déterminé au LBEB). Ce résultat conduit au constat d'une masse d'HVP Jatropha plus importante (que celle du gazole) injectée dans la chambre de combustion du moteur en fonctionnement pour une même puissance délivrée. On peut ainsi dire que la combustion est meilleure à de forte charge (ici 75%), ce que reconnaissent *Rousset P. et coll. (2008) et Sidibé S. (2011)* dans leurs recherches sur les HVP en préconisant un usage du moteur à un taux de charge minimal de 70%.

➤ Température des gaz d'échappement

La figure IV.2 montre que la température des gaz d'échappement croît avec la charge avec un écart moyen de 10°C en fonctionnement au gazole du moteur. Cet état de chose est confirmé pour les deux carburants par la lecture de la figure IV.3, et montre en plus que les niveaux de température des gaz d'échappement sont plus élevés de 3°C en moyenne en usage du moteur avec l'HVP Jatropha qu'avec le gazole. Ce résultat est en accord avec celui trouvé lors des travaux de *Sidibé S. (2011)* sur l'utilisation de l'huile de Jatropha dans un moteur diesel et montre que l'augmentation de la température de combustion du moteur diesel avec l'huile s'expliquerait par une mauvaise combustion et une surconsommation.

➡ Qualité de combustion du moteur

La combustion de l'HVP Jatropha n'est pas polluante en CO_2 car son CO_2 rejeté est renouvelable alors que celle du gazole ne l'est pas. On peut dire de cette étude qu'au cours de la combustion d'HVP Jatropha dans un moteur diesel, il y a plus de rejet de CO_2 (ceci est dû à

ADIKPETO Patrick Fernandez D. Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables 2010-2011

la surconsommation d'HVP) et plus de CO qu'au cours de la combustion du gazole. C'est en effet, les mêmes conclusions ont sanctionnées les travaux de *Barthélemy (2005)* et montre que le rejet de CO est réduit en fonctionnement au gazole à cause de la bonne atomisation et pulvérisation du gazole dans la chambre de combustion.

V.2.1.2. Pour l'utilisation du moteur en triphasé avec la décortiqueuse de riz

➡ Performances du moteur

➤ La consommation spécifique Cs de carburant du moteur

La consommation spécifique en huile de Jatropha du moteur diesel en utilisation avec la décortiqueuse, est plus élevée de 9,5% par rapport à la consommation spécifique en gazole (tableau IV.6). Ceci explique la durée de 30 secondes supplémentaire de décorticage des 4 kg de riz en usage du moteur avec l'huile par rapport au gazole.

➤ La température des gaz d'échappement du moteur

L'analyse de la figure IV.4 nous montre que les valeurs de la température des gaz d'échappement sont élevées et atteignent des valeurs plus importantes quand on utilise le moteur avec l'huile de Jatropha. L'écart moyen entre le fonctionnement en huile et en gazole est de 10°C.

➡ Qualité de combustion des carburants

Les fumées noires de gaz sont très visibles en fonctionnement au gazole avec le moteur qu'avec l'huile mais nous n'avons pas pu quantifier les différentes proportions de CO₂ et CO rejetées faute d'analyseur de gaz. Mais on peut dire que le CO₂ rejeté par combustion d'huile est renouvelable alors que celui rejeté avec le gazole est fossile donc non renouvelable.

V.2.2. Interprétations sur les tests économiques d'utilisation d'huile et de gazole

Dans cette partie, nous avons comparé le coût du kwh d'électricité produite par l'huile de Jatropha et le gazole. On constate à la lecture du tableau IV.7 que le coût du kWh d'électricité avec l'huile est de 25% inférieur à celui obtenu avec le gazole. Ceci montre que l'utilisation d'huile pour produire l'électricité est bénéfique et plus intéressante que l'utilisation de gazole à ces mêmes fins. Mais ce coût est plus élevé que celui de l'électricité conventionnelle qui de 109FCFA pour les usagers privés. Ceci étant, les avantages d'utilisation d'huile dans un **ADIKPETO Patrick Fernandez D.** Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables 2010-2011

moteur sont aussi environnementaux.

➡ Sur le plan environnemental

L'utilisation d'HVP Jatropha pour le moteur en usage avec la décortiqueuse de riz ferait éviter 32,88 téq CO₂ (30,91 téq CO₂ en considérant le gazole utilisé pour le démarrage et le basculement) sur les 8 ans d'utilisation de la décortiqueuse. Ceci montre le respect et le gain environnemental qui découle de l'utilisation d'huile de Jatropha à la place du gazole pour la production d'électricité.

V.3. AVANTAGES D'UTILISATION D'HVP A LA PLACE DU GAZOLE DANS UN MOTEUR

Beaucoup d'avantages sont liés à l'utilisation d'huile de Jatropha dans un moteur diesel pour la production diesel. La vulgarisation de la plantation de Jatropha aide par ses racines souterraines à stabiliser les terres mais il faut privilégier les terres délaissées pour diminuer le risque de concurrence avec les cultures vivrières sur les meilleures terres (*Rousset P., 2007*). La production d'huile de Jatropha sur le lieu d'utilisation supprime les problèmes de transport du carburant et la diminution des sorties de devises liées à l'importation du gazole (*Domergue M. et coll., 2008*). L'huile de Jatropha produite est moins chère que le gazole, ce qui amène une réduction du coût du carburant, le développement de l'économie et de l'autonomie énergétique des zones rurales. L'utilisation de l'huile dans un moteur diesel permet la production d'énergies renouvelables sans génération de CO₂ puisqu'il est recyclé par la plante qui sera produite à la place de celle utilisée pour produire l'huile. Même s'il faut faire des modifications sur le moteur pour pouvoir utiliser l'huile, les méthodes de modifications existent comme la confection d'un kit de bicarburation de technologie aisée et à moindre coût. L'utilisation de l'huile de Jatropha présente aussi l'avantage de la valorisation du sous produit de pressage des graines que constituent les tourteaux comme engrais pour les cultures (*Vaitilingom et coll., 2008*) ou comme matière première pour le *biochar* et la gazéification.

VI. CONCLUSIONS

A l'heure où le monde entier s'évertue à trouver des sources d'énergies respectueuses de l'environnement pour réduire l'impact de l'utilisation des énergies fossiles et faire face au prix sans cesse grandissant des produits pétroliers, le Centre Songhaï a aussi choisi de s'orienter vers les énergies renouvelables. Le travail effectué sur le biocarburant qui est l'objet de notre stage au Centre Songhaï, a concerné la production et l'utilisation de l'huile végétale pure de Jatropha dans un moteur diesel. Au cours de la production d'huile de Jatropha de qualité carburant, les étapes successives de prétraitement, d'extraction d'huile, de décantation et de filtration ont été suivies avec minutie. L'extraction a été effectuée au moyen d'une presse à barreaux d'origine chinoise de marque *AGICO* avec les graines sèches préalablement triées. Les différents rendements trouvés et les conditions d'extraction avec une température d'huile extraite inférieure à 50°C montrent que la presse est satisfaisante en termes d'extraction et que sa capacité horaire de 60 kg/h est bonne même si elle reste bien inférieure à sa valeur maximale de 292 kg/h. La proportion de tourteaux issue du pressage des graines est bien proche des 2/3 prévue dans les travaux antérieurs au nôtre. La phase de décantation qui a duré trois semaines est essentielle quant à la séparation de l'huile des déchets résiduels pour une utilisation carburant de l'huile puisque l'huile recueillie est très claire. Au niveau de la filtration, la confection du filtre artisanal a permis de tracer une piste pour la réalisation locale d'un filtre à huile de qualité carburant à un coût moindre de 10000FCFA environ mais en étudiant la granulométrie réelle du filtre (4 à 5 μ). L'évaluation du coût de production de l'huile nous a permis de trouver une valeur de 315FCFA pour un litre d'huile de Jatropha produit (hors taxe et main d'œuvre). Ce prix du litre d'huile est bien inférieur (368 FCFA avec main d'œuvre) au prix du litre de gazole qui est autour de 500FCFA dans les villes au Bénin et montre la possibilité et l'opportunité de production d'huile à des fins énergétiques surtout dans les zones rurales. L'expansion de cette politique constituerait une dynamisation des économies locales mais surtout un frein à la fuite des devises créée par l'importation du gazole.

L'utilisation de l'huile produite au centre Songhaï s'est faite dans un moteur (groupe électrogène) diesel *JINAODA* de puissance maximale 3 kW. Ce moteur n'étant pas adapté à l'huile, des modifications ont été effectuées sur le moteur avant l'utilisation à travers la réalisation d'un kit de bicarburant. La technologie utilisée à cet effet est simple et son prix de revient est dérisoire (11750FCFA) par rapport au coût onéreux des kits industriels

proposés par différentes sociétés et dont les technologies seront difficilement accessibles à des populations rurales. Des tests techniques ont été réalisés sur le moteur diesel avec des charges résistives en alimentation monophasé du moteur et une décortiqueuse de riz en alimentation triphasé du moteur. Il ressort de ces tests qu'après le démarrage du générateur diesel utilisé, trois (3) minutes sont nécessaires pour basculer du gazole au jatropha et qu'au retour au gazole, il faut huit (8) minutes pour nettoyer le circuit d'alimentation avant de couper le moteur. En outre, la consommation spécifique du moteur en huile comme en gazole décroît avec l'accroissement des charges et la température des gaz d'échappement croît avec les charges du moteur. La combustion des carburants (huile et gazole) est meilleure à des charges élevées, plus de 70% de la puissance maximale du moteur pour tous les deux types d'alimentation (triphase et monophasé). L'estimation du coût de production d'unité d'énergie électrique, a permis de constater que l'utilisation d'huile de Jatropha est économiquement plus intéressante (134FCFA/kWh) que l'utilisation du gazole (180FCFA/kWh). Aussi, l'huile utilisée à la place du gazole dans le moteur permet d'économiser d'énormes quantités de CO₂ qu'aurait engendrée l'utilisation du gazole. L'utilisation d'huile de Jatropha dans un moteur diesel pour la production d'électricité est très intéressante à plus d'un titre : économiquement, à travers son prix du kwh compétitif par rapport au gazole. Sur le plan social, elle engendre la création de nombreux emplois sur le site de production d'huile et sur le plan environnemental permet de réduire l'impact environnemental causé par l'utilisation des énergies fossiles.

VII. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

La production et l'utilisation d'huile de Jatropha dans un moteur diesel au centre Songhaï (Bénin) ont permis d'atteindre les objectifs d'installation de la filière biocarburant sur la plate-forme énergies renouvelables de ce centre. Au cours de la production d'huile la quantité de graines de Jatropha disponibles n'a pas permis d'optimiser le pressage pour parvenir à un rendement meilleur en huile végétale pure. Aussi, même si la fabrication locale du filtre reste une bonne initiative de notre travail, la filtration de l'huile est une étape très importante de la production d'huile de qualité carburant et nécessite une étude approfondie sur la taille des mailles du tissu filtrant pour valider cette approche. L'amélioration de la filtration par pulvérisation de l'huile à forte pression sur le tissu filtrant reste aussi une piste à explorer pour rendre cette étape meilleure. La méthode de bicarburation utilisée exige pour une utilisation continue du moteur, un opérateur pour la manipulation des vannes et la surveillance des temps de basculement à l'huile et au gazole. L'automatisation de ces paramètres reste envisageable mais nécessite l'introduction d'une technologie nouvelle pas forcément adaptée aux populations rurales. L'utilisation d'huile à la place du gazole est bénéfique mais oblige une rigueur au niveau de l'entretien du moteur qui nécessite une vidange après deux semaines en utilisation continue. Après le démarrage du moteur au gazole, il est nécessaire d'attendre trois (3) minutes pour atteindre la stabilisation du régime électrique du moteur avant l'introduction d'une charge puis veiller, à rincer pendant 8 minutes le circuit au gazole avant de couper le moteur diesel. Lors du fonctionnement en triphasé du moteur diesel, les trois phases du moteur de la décortiqueuse de riz doivent être bien aux bornes correspondantes du moteur diesel pour empêcher un fonctionnement en sens inverse de la décortiqueuse. La recherche d'un moteur triphasé de puissance très proche des 3 kW du moteur diesel permettrait de décortiquer une plus grande quantité de riz avec une combustion meilleure liée à l'augmentation de la charge. La production de Jatropha étant basée au centre Songhaï de Savalou (Centre Bénin), l'installation d'une unité de production locale d'huile de Jatropha permettrait de s'affranchir du problème d'électricité lié au manque de gazole pour alimenter leur générateur diesel. La vulgarisation de la technologie de décorticage de riz avec un moteur à usage d'huile dans les zones rurales productrices de riz, permettra aux populations de s'autoalimenter en électricité et pouvoir créer des ressources supplémentaires par la vente du riz décortiqué.

BIBLIOGRAPHIE

- Barthélémi J. (2005), Faisabilité technique et intérêts économiques de la production de l'huile végétale pure pour des usages de biocarburants et biocombustibles, France, Mémoire de fin de formation master.
- Bereens, P. (2007), Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries, in Department of Sustainable Energy Technology, Eindhoven University of Technology : Eindhoven.
- Domergue M., Pirot R. (2008), Jatropha Curcas L. Rapport de synthèse bibliographique, CIRAD et AGRO Generation.
- Ferchau, E. (2000), Equipement for decentralized cold pressing of oil seeds., Folkecenter for Renewable Energy.
- Fotseu W., (2010), Possibilité d'utilisation de l'huile de jatropha dans les moteurs diesels du cercle de Kita, Mémoire de fin de formation master GEER, Mali.
- Haïdara A. O., (1996), Valorisation d'une huile végétale tropicale : l'huile de pourghère ; (rapport jatropha).
- Henning, R. (2006), *Jatropha curcas* L. in Africa Assessment of the impact of the dissemination of « the Jatropha System ».
- Joker D., Jepsen, J. (2003), Jatropha curcas L. Seed Leaflet . Humleback, 83: p. 1-2.
- Kaushik, N. (2003), Effect of capsule maturity on germination and seedling vigour in Jatropha curcas. Seed Science and Technology, 31(2): p. 449-454.
- Lachaise C., JP, Couvreur (2004), CIVAM DEFIS, FDCUMA Mayenne, Compte rendu d'étude : Faisabilité sur l'utilisation d'huile végétale pure pour la production d'énergie en agriculture.
- Makkar, H.P.S., et al. (1997), Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of Jatropha Curcas. Journal of agricultural and food chemistry, 45(8): p. 3152-3157.
- MH. Novak, JM. Jossart. (2004), Diversification agricole ; guide pour la production et les débouchés d'huile et de tourteaux de colza à la ferme.
- Munch, E., Kiefer J. (1986), Le Pourghère (*Jatropha curcas* L., Botanique, écologie, culture (1^{ère} partie), produits de récolte, filières de valorisations, réflexions économique (2^{ème} partie)
- ADIKPETO Patrick Fernandez D.** Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables 2010-2011

- partie), Université de Stuttgart – Hoffenheim, p. 276 pages.
- Pallièrè B., (2008), Extraction d'HVP jatropha, Essai AVD Delta- Sévaré et Geres Mali, Koutiala, Mali.
- Rijssenbeek, W.H.R., Jongschaap R, Lutzeyer HJ, Venturi P. (2007), Expert Meeting Jatropha, Brussels, 07/12/07.
- Rousset P. et collaborateurs (2008), Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales, Brésil, 83-92.
- Saturnino, H.M., et al. (2005), Cultura do pinhao-manso (Jatropha curcas L.) ; Cultivation of Jatropha curcas L. Informe Agropecuario, 26(229) : p. 44-78.
- Sidibé S S. (2011), Cours de biomasse sur biocarburants, Cours MSGE.
- Sidibé S S., Vaitilingom G., Blin J. (2011), Etude de deux solutions d'utilisation de l'huile de jatropha curcas dans le moteur diesel à injection directe, 6^{ème} journée scientifique du 2iE, 4 au 8 Avril 2011, Ouagadougou.
- Shahidi, F. (2005), 'Edible oil & fat products : Processing Technologies'. Bailey's Industrial Oil & Fat Products, ed. I. John Wiley & Sons. Vol. volume 5, New Jersey.
- Üllenberg, A. (2008), Jatropha à Madagascar – Rapport sur l'état actuel du secteur-, Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) Madagascar. p. 40 pages.
- Vaitilingom G. (2007), Extraction conditionnement et utilisation des huiles végétales pures carburant. In Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique, Ouagadougou.
- Vaitilingom G., Bedrossian C. (2008), Extraction, conditionnement et utilisation des huiles végétales pures carburant, Rapport d'HVP, Brésil. P.207-219.

Sites internet

- www.riaed.com consulté le 09 Juillet 2011.
- www.jatropha.de consulté le 15 Juillet 2011.
- www.total.fr consulté le 17 Août 2011.

Annexe I : Les différents types de presse à huile



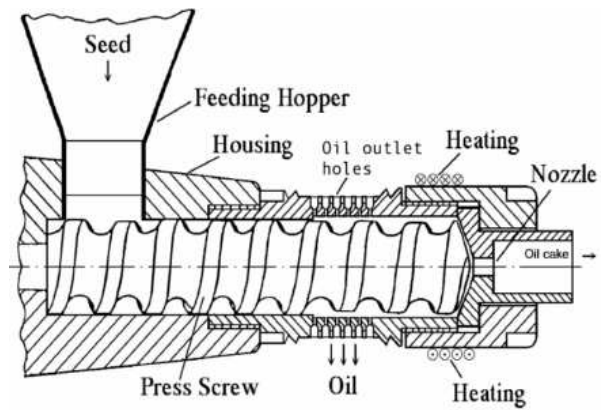
Presse ADMGA (source: *Domergue M., 2008*)



Presse Bielenberg (source : *Freslon, 2006*)



Presse à anneaux (à barreaux)
(source : *Rousset P., 2007*)



Presse à cage perforée (tube perforé)
(source : *Freslon, 2006*)

Annexe II : Détails sur les solutions pour l'utilisation d'HVP

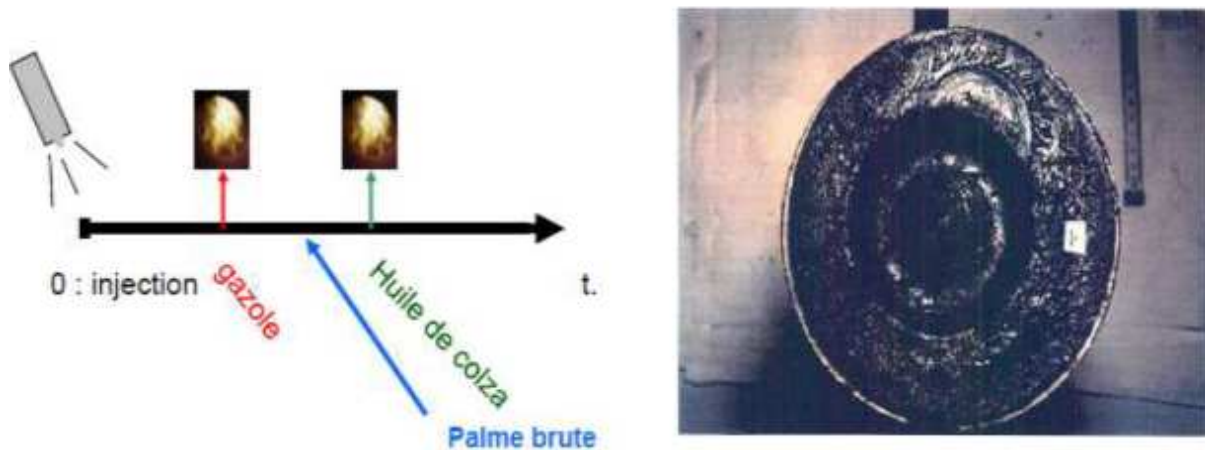


Figure a : montrant le dépôt d'encrassement causé par l'indice de cétane plus faible des huiles végétales par rapport au gazole (Rousset P., 2008)

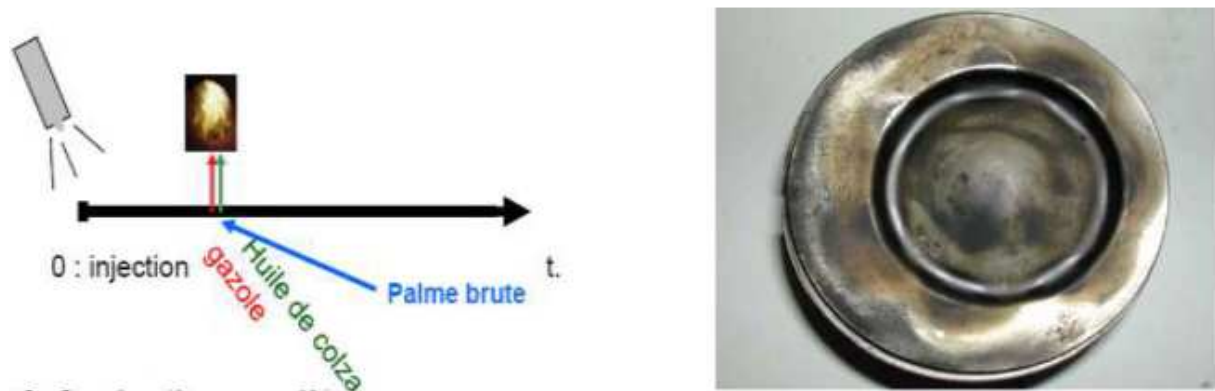


Figure b : montrant la combustion normale des huiles lorsque la température de la chambre de combustion est plus de 500°C (Rousset P., 2008)

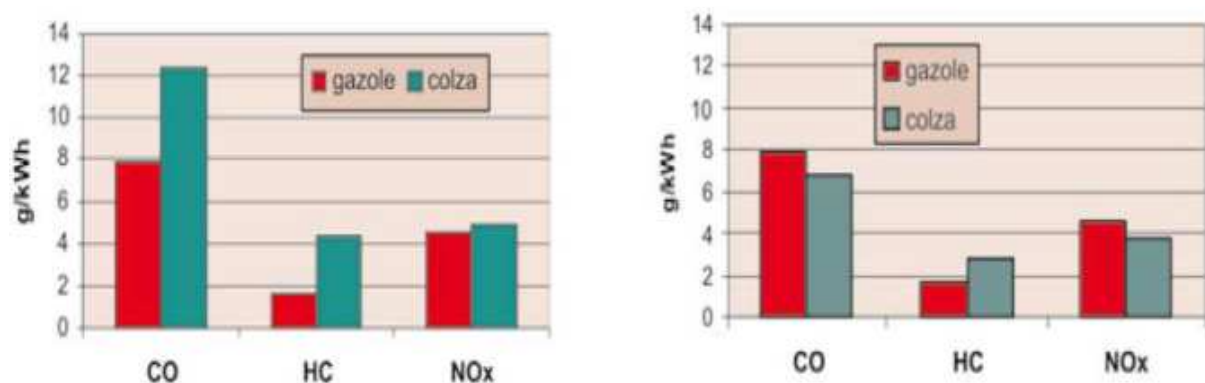
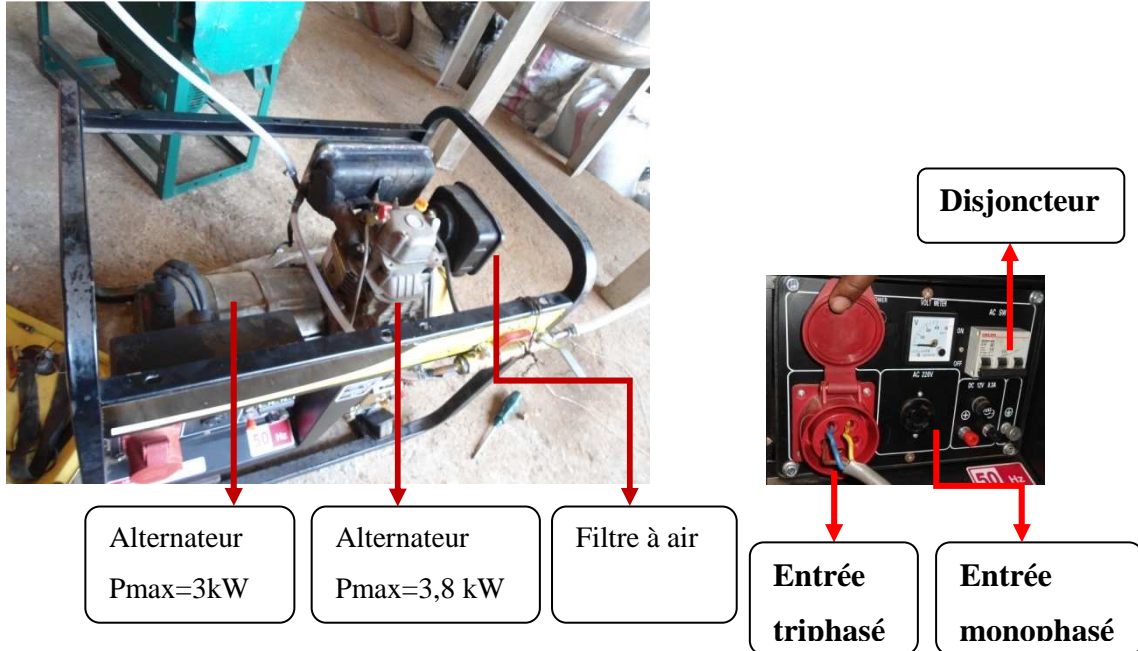


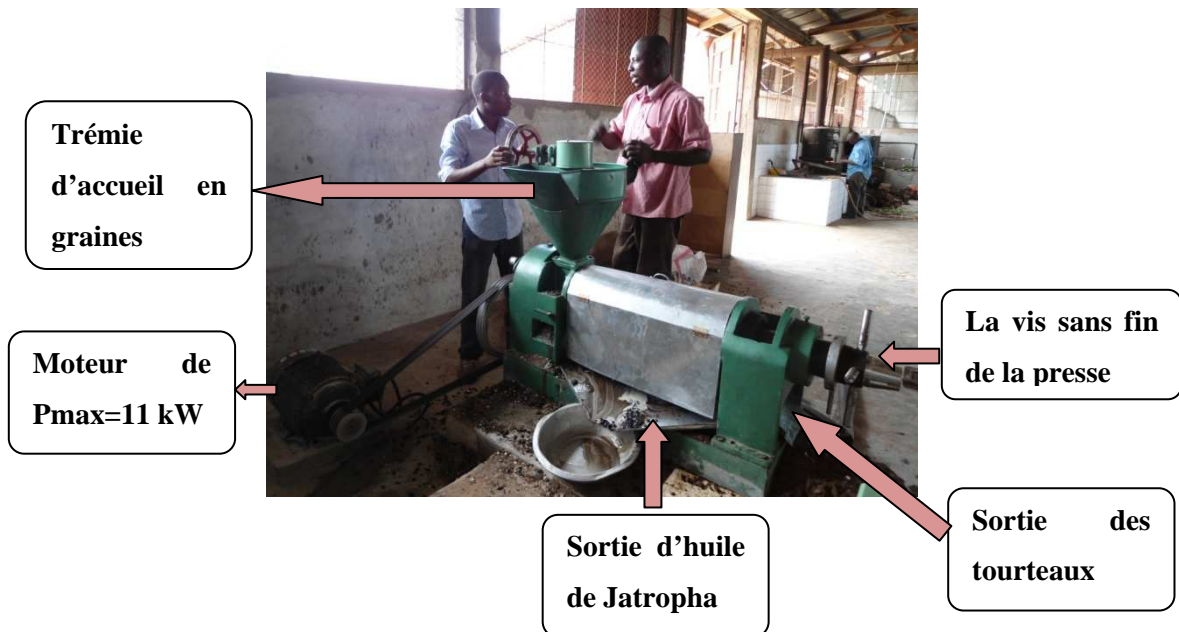
Figure c : montrant l'influence de la température T de la chambre de combustion sur la qualité de la combustion des huiles, ici le colza : mauvaise combustion (à gauche où $T < 500^{\circ}\text{C}$) et bonne combustion (à droite où $T > 500^{\circ}\text{C}$) (Rousset P., 2008)

Annexe III : Détails sur les moteurs utilisés

● Détails sur le générateur diesel utilisé

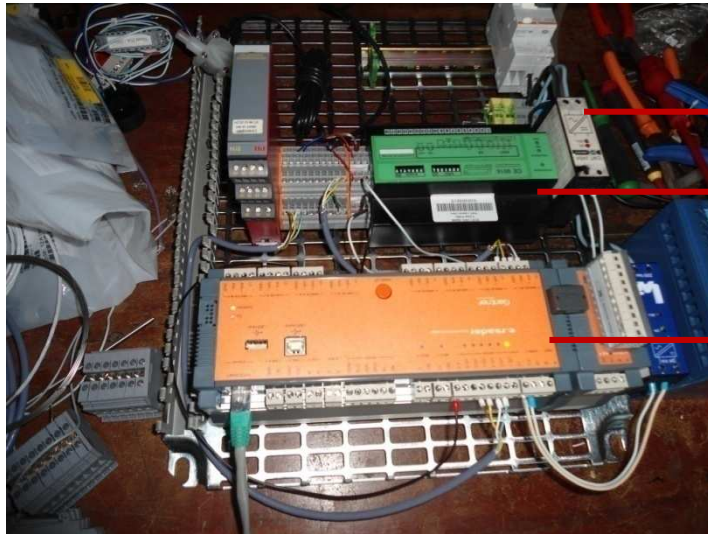


● La presse à barreaux utilisée (fabriquée par le groupe chinois AGICO)



Annexe IV : Autres appareils de mesure utilisés

● Système d'acquisition de données



Alimentation en 12V

Compteur d'électricité

Enregistreur e-reader

Rôle: Il sert à stocker les données qu'on peut visualiser avec le logiciel *test-commander*.

● Le calibrateur



Rôle: Il sert à mesurer des grandeurs (tension, intensité, Température, fréquence...) et à vérifier le bon fonctionnement D'un montage avant de mettre en service (à gauche).

Rôle: A droite, on a une sonde Pt 100 (4 fils) qui sert à mesurer la température en général. Ici nous l'avons utilisé pour mesurer la température des gaz d'échappement.



Annexe V: Feuille de fonctionnement du moteur

- ➡ Vérifier d'abord s'il y a bien du gazole et surtout d'huile de Jatropha suffisamment dans les deux réservoirs ;
- ➡ Ouvrir la vanne du gazole et laisser la vanne d'huile fermer ;
- ➡ Basculer le contact de vitesse du moteur en position **ON** (en l'amenant vers la droite) et tirer sur la corde de mise en marche ;
- ➡ Mettre les bornes de la décortiqueuse dans l'entrée rouge (triphase) du moteur en vérifiant bien que les bornes 1, 2 et 3 sont mises de la gauche vers la droite (borne 1 : scotchée une fois, borne 2 : scotchée deux fois...) ;
- ➡ Après 3 minutes de combustion au gazole : le régime de stabilisation de courant et de tension est atteint mais surtout la température de la chambre est suffisante pour basculer à l'huile ;
- ➡ Fermer la vanne du gazole et ouvrir aussitôt celle d'huile de Jatropha ;
- ➡ Fonctionner à l'huile durant toute la durée de décorticage du riz sans problème ;
- ➡ Fermer la vanne d'huile à la fin de l'opération puis ouvrir la vanne du gazole ;
- ➡ Laisser fonctionner pendant 8 minutes et couper l'alimentation en ramenant la vitesse vers la gauche en fermant la vanne du gazole ;
- ➡ N'oublier jamais de faire la vidange au gazole dans le moteur chaque deux semaines dans une utilisation continue du moteur.

NB : Pour utiliser des charges en monophasé il faut utiliser l'entrée noire et pour les charges en triphasé comme la décortiqueuse, l'entrée rouge en suivant les étapes de la feuille de fonctionnement du moteur.

Aussi le décorticage de 4 kg de riz au gazole (3 minutes) suffit pour basculer à l'HVP Jatropha et le décorticage de deux mesures de riz (8 kg de riz) après le retour suffisent pour bien rincer le circuit d'alimentation d'arrêter le moteur.

