



Mise en place des tests technico-économiques sur la plateforme biocarburant : de la plantation à l'utilisation de l'huile de *Jatropha curcas L.* dans un moteur

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

Présenté et soutenu publiquement le 18 Octobre 2013 par

Jaliilou Al Qâdir ZAKANE

Travaux dirigés par : Dr. Sayon Sadio SIDIBE Enseignant, Chercheur/2ie
Bruno PECHINE, Chef de projet EDF

Jury d'évaluation du stage :

Président : D. YAMEUGUEU

Membres et correcteurs : S. SIDIBE
F. PINTA
J. BASSOLE

Promotion [2012/2013]

DEDICACE

À ALLAH LE TOUT MISERICORDIEUX

Ton Amour, Ta Miséricorde, Tes Grâces à mon égard m’ont fortifié dans la persévérance, la patience et la curiosité afin de relever des défis tout en veillant sur ma santé.

À mes très chers parents pour leur amour inconditionnel et leur patience à mon endroit,

À mes deux sœurs Muniirah et Taahirah,

À mes oncles, tantes et amis,

À ces personnes en qui j’ai vu des modèles de réussite.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'intervention et au soutien de plusieurs personnes, Je tiens sincèrement à les remercier.

Tout d'abord Dr Joel Blin, responsable du Laboratoire de Biomasse Energie et Biocarburant (LBEB) pour m'avoir accueilli dans son laboratoire.

Je remercie sincèrement le Dr Sayon Sidibé, enseignant chercheur au Laboratoire Energie et Biocarburant pour m'avoir apporté son précieux aide logistique et conseils et aussi pour avoir accepté de diriger et d'examiner mon travail.

Je remercie sincèrement le Dr François Pinta, enseignant chercheur au Laboratoire Energie et Biocarburant pour m'avoir apporté ses conseils et aussi pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie également Monsieur Bruno PECHINE et Monsieur Eric NANTEAU pour toute l'aide et surtout la formation sur l'instrumentation sur le moteur qu'ils ont eu à nous dispenser à travers leur structure Electricité De France (EDF).

Mes sincères remerciements sont adressés à Monsieur Godfrey Nzamujo directeur du Centre Songhaï pour m'avoir accueilli au sein de son centre et pour ces multiples conseils.

Mes remerciements vont à l'endroit de Monsieur Justin Lekoto, responsable du département Energies renouvelables qui m'a consacré du temps à être mon maître de stage malgré son emploi du temps chargé.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de Monsieur Constantin Dossa, responsable du département d'électricité du centre, Monsieur Marius Nvekounou responsable de l'usine, Monsieur Roger Agbotoun responsable du centre Songhaï Parakou, Monsieur Victor Boko responsable du centre Songhaï Savalou.

Je tiens à remercier tous les intervenants du département des Energies Renouvelables du Centre Songhaï plus précisément Romain Agbokamey, Jerry Ayoaso, Sylvianne Bille, Henock Gnanga, Marcelle Houndjo et Alvine Medem.

Je remercie tout le personnel médical du centre Songhaï pour leur excellent travail.

Je remercie aussi Aristide Dejean 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 remercie le président du jury et l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

RESUME

Dans le souci de la création d'une ville rurale verte basée sur l'autosuffisance alimentaire et énergétique, le centre Songhai s'attèle à développer les énergies renouvelables. Le centre a alors mis en place des plantations de *Jatropha curcas L.* pour la production d'huile de qualité carburant. Pour l'extraction de l'huile, il a été utilisé une presse à barreaux *AGICO*. Un filtre a été localement réalisé au cours de la production et les prix évalués du litre d'huile de *Jatropha curcas L.* dépendent des rendements de la plantation et sont peu en faveur pour l'utilisation d'huile pure ou en mélange.

L'utilisation de l'huile dans le moteur diesel d'une puissance maximale de 5 kW s'est faite en bicarburation avec un kit produit avec des matériaux locaux et en mélange à 30% d'huile de *Jatropha curcas L.* et de 70% de gasoil. Des tests réalisés à différentes charges avec ces différents carburants ont permis de trouver la consommation spécifique en carburant, la température des gaz d'échappement et les rendements globaux. En utilisation longue durée du moteur avec une scie électrique, il ressort des performances quasi identiques avec le gasoil et avec le mélange 30% d'huile de *Jatropha curcas L.* et de 70% de gasoil. Aussi, le gain environnemental de la production à l'utilisation d'huile de *Jatropha curcas L.* dans un moteur à travers le mélange garantit un développement durable à la filière mais la rentabilité économique reste discutable.

Mots clés : Production d'huile de *Jatropha*, presse, kit de bicarburation, mélange huile de *Jatropha* (30%) et du gasoil (70%), moteur diesel, application villageoise, suivi plantation de *Jatropha*

ABSTRACT

In order to create a green rural town based on food and energy self-sufficiency, Songhai Center is striving to develop renewable energy. The center was then set up plantations of *Jatropha curcas L.* for the production of fuel oil quality. To extract the oil, it was used a press *AGICO* bars. A filter was locally produced during production of fuel oil quality and evaluated prices of a liter of oil of *Jatropha curcas L.* depend on planting yields and are not for use of pure oil or as a mixture.

To use oil in diesel engine with a maximum power of 5 kW, we used bi-fuel kit made of local materials and mixture to 30% oil of *Jatropha curcas L.* and 70% of diesel oil. Tests performed at different loads with these different fuels have to find the specific fuel

consumption, the temperature of the exhaust gases, the overall yields. In long-term use of the engine with an electric saw, it appears almost identical performances with diesel and the mixture of 30% oil of *Jatropha curcas L.* and 70% of diesel oil. Also, the environment gain from production to utilization of *Jatropha curcas L.* oil in a motor through the mixture ensures sustainable development in the sector but profitably remains questionable.

Key words: *Jatropha* oil production, press, bi-fuel kit, mixture of *Jatropha* oil at 30% and Diesel at 70%, diesel engine, rural utilization, follow-up of *Jatropha* plantation.

LISTE DES ABREVIATIONS

ONG : Organisation Non Gouvernementale.

2ie: Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

EDF : Électricité de France.

R&D : Recherche et Développement.

LBEB : Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants.

ESF : Électriciens Sans Frontières.

Kg : Kilogramme.

PPM : Partie Par Millions

HVC : Huile Végétale Carburant.

KVA : KiloVolt-Ampères.

Km : kilomètre.

KW : Kilowatt.

KWh : Kilowattheure.

T : Tonnes.

Ha : Hectares

Sommaire

DEDICACE.....	1
REMERCIEMENTS	2
RESUME.....	3
ABSTRACT	3
LISTE DES ABREVIATIONS	5
Liste des Tableaux.....	8
Liste des Figures.....	10
INTRODUCTION.....	12
1. Contexte général.....	12
2. Problématique.....	13
3. Objectifs	14
4. Méthodologie	14
1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	16
1.1. Bioénergie et biocarburant.....	16
1.2. Généralités sur le <i>Jatropha curcas L</i>	16
1.1. Filière de production d’HVC à partir des graines conditionnées	19
1.2. Propriétés physico-chimiques des huiles	21
1.3. Valorisation des coproduits de la filière de production de l’huile de <i>Jatropha</i>	26
1.4. Technologie du moteur diesel.....	29
1.5. Modifications et adaptations des moteurs diesels pour un fonctionnement à partir d’huile végétale.....	31
1.6. L’intérêt économique pour les huiles-carburants	32
1.7. Méthode suggérée.....	32
1.8. Analyse de viabilité	34
2. Tests et expérimentations.....	36
2.1. Matériel et méthode	36
2.2. Résultats et discussions du volet technique.....	50
3. Hypothèses pour l’évaluation économique de la filière <i>Jatropha</i>	62
3.1. Rentabilité économique	62
3.2. Investissement de départ.....	62
3.3. Les gains pour le projet <i>Jatropha</i>	69
3.4. Evaluation du Kilowattheure électrique	69

3.5. Résultats et discussions du volet économique.....	70
CONCLUSION - PERSPECTIVES.....	85
Bibliographie.....	87
ANNEXE	90

Liste des Tableaux

Tableau 1-1 : Analyse minimale de contrôle. (Fotseu, 2010)	22
Tableau 1-2 : Groupes d'huiles végétales et indices d'iode (Adoum Mahamat, 2010)	22
Tableau 1-3 : Caractéristiques physiques des huiles végétales pures. (Girard, et al., 2011) ...	26
Tableau 1-4 : Comparaison de la composition des tourteaux et de soja (Domergue & Pirot, 2008).....	27
Tableau 2-1 : Caractéristiques du générateur	42
Tableau 2-2 : Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé.....	46
Tableau 2-3 : Liste du matériel de mesure ; source Auteur (Benin 2013)	47
Tableau 2-4 : Caractéristiques de la presse ; source Auteur (Benin 2013)	52
Tableau 3-1 : Récapitulatif des dépenses liées à la plantation ; source : Auteur (Benin2013)	64
Tableau 3-2 : Récapitulatif des dépenses liées au suivi de la plantation ; source : Auteur (Benin2013).....	65
Tableau 3-3 : Récapitulatif des dépenses liées à la post production ; source : Auteur (Benin2013).....	67
Tableau 3-4 : Récapitulatif des dépenses liées à la production de l'huile ; source : Auteur (Benin2013).....	69
Tableau 3-5 : Récapitulatif des dépenses liées à la production d'électricité ; source : Auteur (Benin2013	70
Tableau 3-6 : Récapitulatif des achats liés au kit de bicarburant ; source : Auteur (Benin2013).....	70
Tableau 3-7 : Prix de revient du kilogramme de graines en fonction des hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).	71
Tableau 3-8 : Evaluation de la surface nécessaire pour répondre à 30% des besoins énergétiques du site de Parakou, évaluation du prix de revient du litre d'huile et du litre de mélange selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).	72
Tableau 3-9 : Evaluation de la surface nécessaire pour répondre à 30% des besoins énergétiques du site de Savalou et évaluation du prix de revient du litre d'huile selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).....	72
Tableau 3-10 : Prix de revient du Kg de graines et du litre d'huile de Jatropha avec prise en compte du transport Parakou Porto Novo selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).....	75
Tableau 3-11 : Prix de revient du Kg de graines et du litre d'huile de Jatropha avec prise en compte du transport Savalou Porto Novo selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).....	75
Tableau 3-12 : Prix du KWh électrique produit à partir du mélange sur le site de Parakou selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).....	76
Tableau 3-13 : Prix du KWh électrique produit à partir du mélange sur le site de Savalou selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).....	76
Tableau 3-14 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.	77

Tableau 3-15 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.	77
Tableau 3-16 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.	78
Tableau 3-17 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.	78
Tableau 3-18 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.	79
Tableau 3-19 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.	79
Tableau 3-20 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.	80
Tableau 3-21 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.	80
Tableau 3-22 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.	81
Tableau 3-23 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.	81

Liste des Figures

Figure 0-1 : Méthodologie adoptée	15
Figure 1-1: Limite de culture du Jatropha (Brittaine & NeBambi, 2010).....	17
Figure 2-1 : Séchage des fruits de Jatropha avant décorticage	37
Figure 2-2 : Méthode manuelle de décorticage des graines de Jatropha.....	37
Figure 2-3 : Décortiqueuse de Jatropha.....	38
Figure 2-4 : Prétraitement des graines.....	39
Figure 2-5 : Séchage des graines de Jatropha	39
Figure 2-6 : Presse à barreaux utilisée pour l'extraction d'huile de Jatropha	40
Figure 2-7 : 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.....	41
Figure 2-8 : Filtration de l'huile	41
Figure 2-9 : Générateur diesel, modèle HHD5000LH3, marque JINAODA avec une puissance maximale de 5 kW.....	42
Figure 2-10 : Réservoirs	43
Figure 2-11 : Système de pré-filtres	44
Figure 2-12 : Système de préchauffage.....	44
Figure 2-13 : Système de basculement.....	45
Figure 2-14 : Moteur adapté à la bicarburant.....	45
Figure 2-15 : Premier type de charge à gauche et second type de charges à droite.....	46
Figure 2-16: Scie électrique	46
Figure 2-17 : Proportion des produits de décorticage des fruits provenant de Parakou ; source Auteur (Benin 2013).....	50
Figure 2-18 : Proportions des produits de décorticage des fruits provenant de Savalou; source Auteur (Benin 2013).....	51
Figure 2-19 : Test de décantation ; source Auteur (Benin 2013).....	54
Figure 2-20 : Evolution de la consommation horaire en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013).....	55
Figure 2-21 : Evolution de la consommation spécifique en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013).....	56
Figure 2-22 : Evolution de la température des gaz d'échappement en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)	57
Figure 2-23 : Evolution du rendement global en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013).....	58
Figure 2-24 : Evolution du rendement du moteur en fonction de la température des gaz d'échappement; source Auteur (Benin 2013).....	59
Figure 2-25 : Evolution de la température de la chambre de combustion en fonction de la variation du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)	60
Figure 2-26 : Variation du rendement global pour chaque 10KWh; source Auteur (Benin 2013).....	61
Figure 3-1 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de Jatropha pour un rendement de 0,5T/Ha/an sur le site de Parakou	73

Figure 3-2 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de Jatropha pour un rendement de 0,5T/Ha/an sur le sur le site de Savalou. 73

Figure 3-3 : Variation du prix du litre d'huile de Jatropha sur les sites de Parakou et de Savalou selon les différents scénarii pour un rendement de plantation de 0,5T/Ha/an. 82

Figure 3-4 : Variation des montants des subventions en fonction du rendement à l'hectare... 82

Figure 3-5 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de Jatropha 83

INTRODUCTION

Avertissement : Dans ce document, lorsque le mot « *Jatropha* » sera mentionné, il s'agira de *Jatropha curcas L.* et lorsque le mélange sera cité il s'agira du mélange de gasoil (70%) et d'huile de *Jatropha* (30%).

1. Contexte général

Le centre Songhaï est une Organisation Non Gouvernementale (ONG) créée en Octobre 1985 au Benin (Porto-Novo) par le prêtre dominicain Godfrey Nzamujo. Le centre Songhaï qui est devenu depuis lors, un centre international de référence pour ses activités agro-pastorales 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 sous le concept de « ville rurale verte ». Songhaï développe une gamme d'activités assez variées et diversifiées qui touchent trois secteurs de développement à savoir le secteur primaire (la production végétale, la production animale et la pisciculture), le secteur secondaire (agro-industrie, fabrication mécanique) et le secteur tertiaire (commercialisation et marketing). Le développement des énergies renouvelables a débuté dès 1991, par la production de biogaz pour l'alimentation de la cuisine en gaz et la production d'électricité, 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 d'une croissance rurale, qui selon le fondateur passe par une agriculture à valeurs ajoutées et une autonomie en énergie, le centre Songhaï a mis en place un parc technologique nommé Energies Renouvelables Décentralisées en partenariat avec Electricité De France Recherche et Développement (EDF R&D). Ce parc vise la promotion de la production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse pour l'alimentation en électricité des agriculteurs et des villages. Pour ce faire, une plate-forme d'expérimentation est mise en place avec le soutien de la R&D d'EDF et d'Electriciens sans frontières (ESF) afin de maîtriser les moyens de production d'énergie à partir de la biomasse, d'optimiser leur fonctionnement pour une meilleure rentabilité, de définir les formations pour l'exploitation et la maintenance de ces installations. Cette plate-forme s'est élargie en 2011 par la production d'électricité à partir du biocarburant issu des graines de *Jatropha curcas L.* (*Jatropha*) et plus tard par la gazéification de biomasse solide. Cette plate-forme servira également de levier de développement des énergies renouvelables pour les autres sites Songhaï (Savalou, Parakou,

Nattitingou, Bassila, Nikki, Kandi, Abomey Lokossa, Cotonou et les sites du Nigeria) où la pénurie en énergie est un frein récurrent et commun à tous ces centres agro-pastoraux ruraux. C'est dans ce contexte que le centre Songhaï en étroite collaboration avec EDF R&D et aussi avec l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie) à travers le Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB) ont proposé ce thème afin de trouver des pistes d'amélioration pour la filière *Jatropha* (de la plantation à l'utilisation de l'huile de *Jatropha* dans un moteur pour des usages villageoises).

2. Problématique

La facture électrique liée à la consommation de l'électricité conventionnelle dans le centre pilote (Porto-Novo) pour mener ses activités rémunératrices de revenus est très élevée (approximativement 73millions de FCFA/an). Cette facture est d'autant plus exorbitante lorsque l'on s'éloigne des zones urbaines vers les zones rurales où la production d'électricité conventionnelle est laissée à la charge de l'individu lambda. Il est important pour Songhaï de trouver des solutions pour réduire cette facture électrique afin donc d'assurer la continuité de ses services en zones urbaines tout comme en zones rurales.

Aussi, l'impact environnemental dû à l'utilisation en amont des énergies fossiles pour la production d'électricité ne s'inscrit pas en étroite ligne dans le développement rural réel et respectueux de l'environnement tant recherché par le centre Songhaï.

Les énergies renouvelables constituent donc cette alternative pour réduire la facture électrique et une manière pour honorer cette vision de développement durable du centre. Parmi ces énergies renouvelables figurent les biocarburants qui depuis ces dernières années ont suscité un grand intérêt de la part des opérateurs œuvrant dans le secteur de l'agrobusiness et de l'énergie. Parmi les biocarburants, le choix du centre Songhaï s'est porté sur le *Jatropha*. Des questionnements de la part de Songhaï sur la rentabilité économique de cette filière, dans le cas des exploitations individuelles ou villageoises persistent. Ces questionnements sur la rentabilité économique soulèvent à leur tour des questions techniques de faisabilité sur toute la filière. D'ou la raison de cette étude dont l'intitulé est le suivant : « 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 un mélange volumétrique de gasoil à 70% et d'huile de *Jatropha* à 30%. Ces tests 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 peu polluantes.

La faisabilité technique a été démontrée en laboratoire ((Sidibe, Blin, & Yao, 2010) et (Blin, Daho, & Yao, 2009)) qu'on peut utiliser les biocarburants particulièrement les huiles végétales pures et plus précisément l'huile de *Jatropha* dans les moteurs diesels. Il manque malheureusement des retours d'expérience sur de longues périodes concernant les trois fonctions (production, l'extraction d'huile et la prestation de services énergétiques ou de fourniture d'électricité bon marché((Allard, 2010) et (Bruggeman, Fakambi, Fauveaud, & Liagre, 2010)) de la filière agrocarburants à base de *Jatropha* pour confirmer d'ores et déjà de l'intérêt économique pour les agroindustriels comme le centre Songhaï même si l'avantage environnemental est réel (Domergue & Pirot, 2008).

Dans un premier temps, les objectifs à atteindre lors de la présente étude seront clairement définis. Ensuite, la méthode et les matériels utilisés lors de la production de l'huile de *Jatropha* et de son utilisation dans le moteur seront minutieusement décrits. En outre les tests seront étayés par des discussions et des analyses des différents résultats obtenus et enfin une conclusion et des perspectives seront proposées à la suite de l'étude.

3. Objectifs

Les objectifs du stage étaient les suivants:

- Mettre en place des tests de performance et d'endurance sur différents moteurs de Songhaï : finalisation de la plate-forme de tests, rédaction de programme d'essai détaillé sur différents mélanges d'huile.
- Etablir un rapport détaillé du bilan technico-économique de la production d'électricité à partir de biocarburant de *Jatropha* au niveau villageois et individuel : plantations, production d'huile, utilisation en moteur, usages villageois adaptés.
- Mettre en place un suivi des parcelles de culture de *Jatropha*, avec la rédaction d'un dossier de suivi en collaboration avec l'animateur de la plate-forme.

4. Méthodologie

Le stage s'est déroulé selon la chronologie suivante :

- ✓ La recherche bibliographique générale sur le domaine.
- ✓ Visite de terrain afin de répertorier les moteurs diesels des centres Songhaï (Savalou et de Parakou) et de rédiger le dossier de suivi des plantations de *Jatropha*.
- ✓ Réalisation et montage du kit de bicarburant fabriqué à partir des pièces locales.

- ✓ Tests de performance avec le gasoil, l'huile de *Jatropha*, et le mélange de gasoil (70%) et d'huile de *Jatropha* (30%).
- ✓ Test de fonctionnement du moteur avec le gasoil et le mélange de gasoil (70%) et d'huile de *Jatropha* (30%).

Le schéma suivant indique de façon plus détaillée la méthodologie adoptée et dictée par les contraintes de terrain

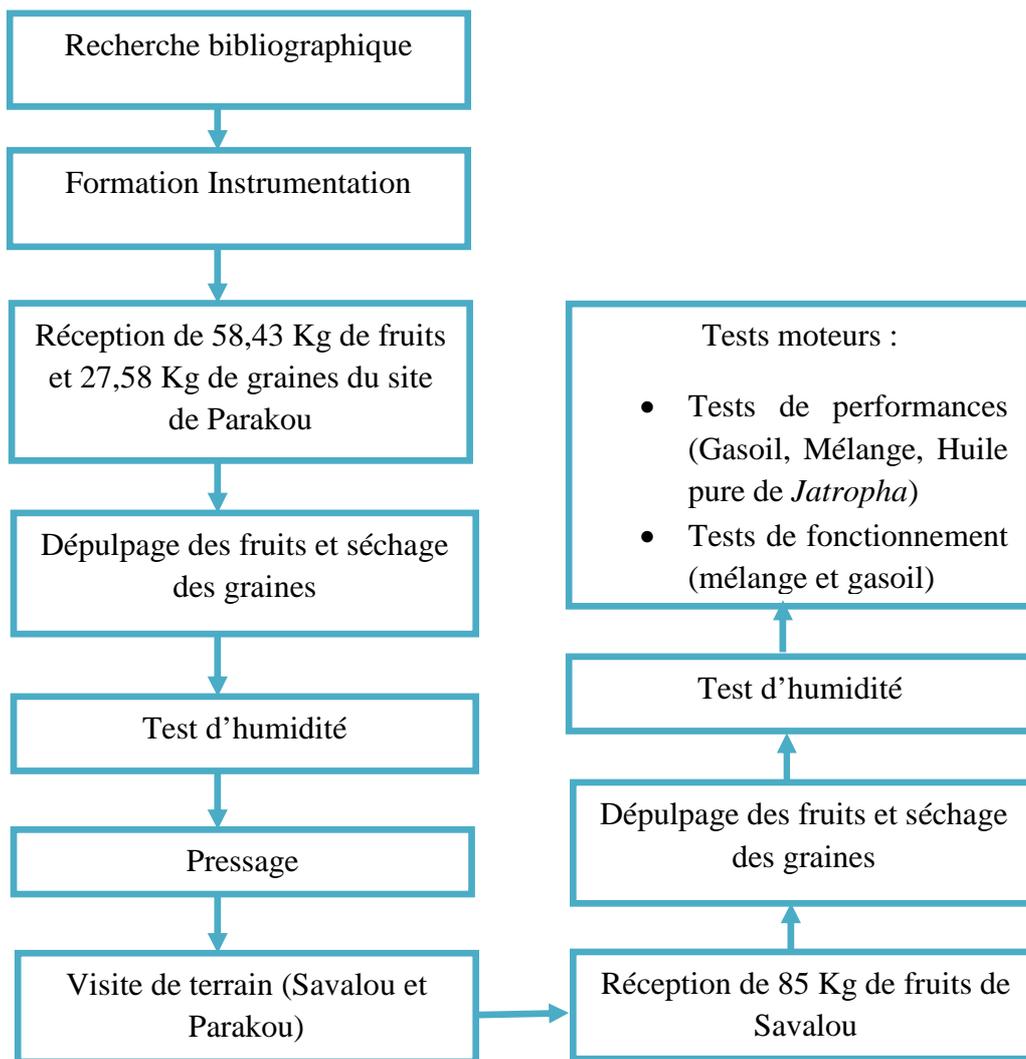


Figure 0-1 : Méthodologie adoptée

La quantité de graines reçues n'a pas été suffisante pour produire la quantité d'huile nécessaire pour réaliser les tests d'endurance.

1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Bioénergie et biocarburant

La bioénergie est une énergie renouvelable, non fossile obtenue à partir de la combustion de biomasse plus souvent sous la forme de bois de chauffe, de biogaz, de gaz de synthèse ou de biocombustibles liquides (Brittaine & NeBambi, 2010). Les biocarburants liquides peuvent être le bioéthanol, le biodiesel ou des huiles végétales pures. Les biocarburants liquides peuvent remplacer l'essence et le gasoil dans les engins de transport et peuvent être utilisés dans des moteurs stationnaires pour produire de l'électricité, pomper de l'eau et moulin des graines alimentaires. Ces biocarburants liquides servent aussi bien pour l'éclairage que pour la cuisson des aliments. (Brittaine & NeBambi, 2010)

Parmi les biocarburants liquides ci-dessus cités, l'objet de la présente étude est l'utilisation de l'huile de *Jatropha* en mélange avec le gasoil dans un moteur en vue de produire de l'électricité en zones rurales.

1.2. Généralités sur le *Jatropha curcas L*

- **La plante**

Le *Jatropha curcas L.*, originaire d'Amérique centrale est un arbrisseau qui fait parti de la famille des euphorbiacées qui regroupent entre 165 et 175 espèces. (Becker, 2009) Il existe deux types de génotypes de *Jatropha*, le premier est toxique et le second ne l'est pas. Le génotype non toxique n'est trouvé qu'au Mexique. (Becker, 2009) Le *Jatropha curcas L* encore appelé pourghère ou plus simplement *Jatropha* a une croissance rapide d'une hauteur de 2 à 3m (Bedrossian & al., 2008) pouvant atteindre 5m si les conditions lui sont favorables. Le diamètre du tronc est d'environ 20cm, son écorce est lisse, grise ou rougeâtre, brillante portant des écailles papyracées ; la texture de son bois est molle. Son canal médullaire est développé et peu résistant. Ses tissus présentent de longs canaux qui s'étendent jusqu'aux racines et dans lesquels circulent du latex, substance laiteuse qui coule abondamment en cas de coupure. Le tronc est dès sa base subdivisé en branches. Il présente de nombreuses cicatrices causées par la chute des feuilles qui tombent pendant la saison sèche et qui repoussent dès les premières pluies. Ses feuilles sont vertes, éparses, brillantes, larges et alternées en forme de palme. La floraison monoïque est présente sur la même plante mais avec des sexes séparés. Les fleurs mâles, en plus grand nombre, se trouvent aux extrémités des extrémités des ramifications, alors que les fleurs femelles se trouvent sur les

ramifications. Elles sont toutes de couleur jaune-vert, mais les mâles sont sans pédoncules articulés, alors que les femelles sont largement pédonculées. (Bedrossian & al., 2008)

- **Conditions édapho-climatiques**

L'aire de distribution naturelle du *Jatropha* se situe principalement dans les zones arides et semi-arides. (Makkar & Becker, 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 (Heller, 1996) comme l'indique la figure ci-dessous.

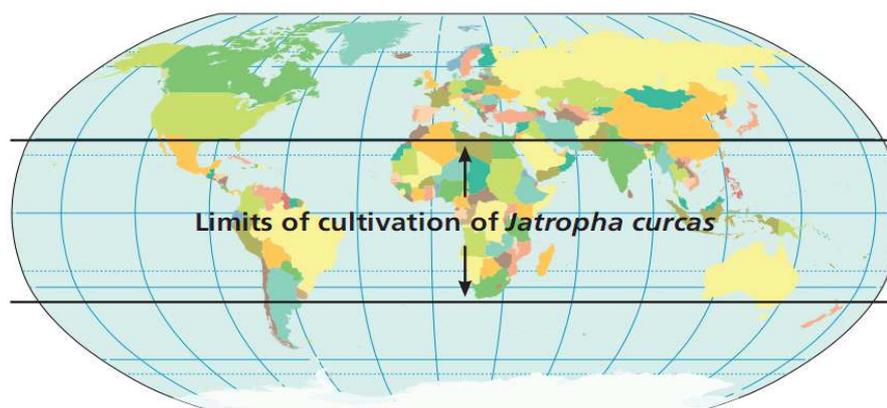


Figure 1-1: Limite de culture du Jatropha (Brittaine & NeBambi, 2010)

La plante supporte des sols dont le pH est compris entre 4,5 et 9. (Biswas & al., 2006) Elle préfère des sols profonds, de texture sableuse, à structure grumeleuse où son système racinaire peut se développer de façon optimale. Elle se développe également dans des sols pauvres et pierreux (Godin & Spensley, 1971). Par contre, les sols présentant des risques d'engorgement comme les sols argileux sont impropres à son développement. (Achten & al., 2007). Le *Jatropha*, par contre ne résiste pas à des températures très basses mais tolère des gelées légères. Dans l'objectif d'obtenir de bonnes productions de graines, les sols fertiles sont recommandés tout comme des corrections (effectuer le sous-solage afin d'éviter la compaction du sol et de permettre l'aération de celui-ci) et des épandages d'engrais périodiques. De même des précipitations de 300 à 1000 mm enregistrées dans une zone d'altitude 600 à 800m seraient idéales pour obtenir de meilleurs rendements lors de la récolte. (Bedrossian & al., 2008)

- **Cycle de culture**

La culture est pérenne. La plante commence à produire dès la première année mais n'est vraiment productive qu'après quatre ans. La première floraison a lieu 120 jours après l'ensemencement et les premiers fruits apparaissent après 180 jours. La floraison a toujours

lieu au début de la saison des pluies et s'étend indéfiniment tant que les conditions de température et d'humidité sont réunies. La maturation des fruits a lieu 60 jours après la floraison.

La densité de plantation pour la culture de la plante doit être choisie de manière à éviter une compétition entre les plantes. Les densités les plus courantes relevées sont les suivantes :

- 2*2m (2 500 arbres/ha)
- 2*3m (1 700 arbres/ha)
- 3*3m (1 111 arbres/ha) (Domergue & Pirot, 2008).

Il ressort que cette densité de plantation est fonction des conditions pédoclimatiques de la zone d'implantation qui vont influencer sur la croissance des plantes. Klaus Becker (Becker, 2009) affirme que les densités les plus couramment adoptées sont entre 830 arbres/ha (3*4m) et 1111 arbres/ha (3*3m). Gokhale (2008) (Gokhale, 2008) et Rijssenbeek et al (Domergue & Pirot, 2008) abondent dans le même sens que Klaus Becker (2009) et mentionnent que la densité de 2500 arbres/ha est trop élevée pour assurer la récolte des graines après la troisième année.

- **Les punaises et maladies du *Jatropha***

Contrairement à une idée largement répandue, les propriétés insecticides et toxiques du *Jatropha* ne l'immunisent pas pour autant des maladies et des parasites. (Bedrossian & al., 2008) Lors de l'implantation de la culture, il y a une forte incidence de fourmis (saúva et rapa-rapa) ainsi que de termites. Il est donc essentiel de lutter contre ces insectes (surtout la fourmi saúva). Il existe également des rapports indiquant des attaques de grillons quelques semaines après l'ensemencement. Les principaux ravageurs de plantes adultes sont : l'acarien blanc (*Polyphagotarsonemus latus*) et la cigale verte (*Empoasca* spp.) qui provoquent de sérieux dommages, et peuvent rendre non viable toute production si aucune mesure n'est prise. En ce qui concerne les punaises (*Pachycoris klugii*, et *Pachycoris torridus*.), malgré des observations fréquentes, il n'existe aucune donnée concluante quant aux dommages qu'elles pourraient causer (Bedrossian & al., 2008). Actuellement, il est fait mention des cochenilles farineuses qui seraient à l'origine de sérieux dommages dans les plantations de *Jatropha* au Bénin et au Togo.

Dans le rapport du CIRAD et AGROgeneration (Domergue & Pirot, 2008) et celui du FAO (2010) (Brittaine & NeBambi, 2010) sur le *Jatropha*, les auteurs font mention d'autres punaises retrouvées en monoculture du *Jatropha* comme le *Scutellera nobilis*, l'*Agonosoma trilineatum*, etc. qui s'attaquent soit aux fleurs, soit aux fruits, soit aux feuilles soit aux graines

de la plante. Ces ravageurs peuvent également affecter les plantes cultivées en association avec le *Jatropha*. C'est une plante hôte facultative pour les virus de manioc et ne doit pas être plantée comme haie autour des champs de manioc.

Freitas (1906), Godfrey (1923), Calvino (1925), Usda (1960) Viegas (1961), Philips (1975), Singh (1983), Kar and Das (1987), Heller (1992), Naveen Sharma (2007) font mention de maladies fongicides (*Phytophthora* spp, *Pytium* spp, etc.) qui causent soit des taches sur les feuilles, soit une perte totale des feuilles soit des galeries dans les feuilles. (Domergue & Pirot, 2008)

- **La récolte**

La maturité des fruits de *Jatropha* a lieu 3 à 4 mois après la fécondation selon Münch & Kiefer,(1986). Cette période de maturité s'étale de Janvier à Juillet suivant les régions de culture. Les fruits de *Jatropha* sont des capsules presque sphériques de 2,5 à 4 cm de long et de 2 à 3 cm (Bedrossian & al., 2008) d'épaisseur à trois loges séparées (carpelles) contenant chacune une graine. Les fruits sont verts lorsqu'ils se forment, puis ils jaunissent et deviennent brunes quand ils sont bien murs. Les capsules de *Jatropha* ne murissent pas en même temps par conséquent lors de la récolte il ne faut choisir que les fruits de couleur brune. Pour l'instant la récolte est essentiellement effectuée manuellement mais concomitamment des études sur les adaptations de cueilleuses sont également menées. Les amendes (graines) sont prélevées à l'intérieur des capsules. Les graines considérées comme oléagineux ont une couleur brun foncée à noire. Ces graines sont de forme ovale allongée, enveloppées d'un tégument extérieur très dur à cassure nette, souvent appelé coque. Sous ce tégument, une pellicule blanche recouvre l'amende. Cette dernière est formée d'un albumen huileux blanchâtre contenant l'embryon pourvu de 2 larges cotylédons aplatis. (Domergue & Pirot, 2008)

La graine ainsi recueillie contient des substances toxiques, ce qui la rend impropre à la consommation et explique aussi ces propriétés médicinales.

1.1. Filière de production d'HVC à partir des graines conditionnées

La filière de production d'huiles végétales utilisée comme carburant regroupent les étapes suivantes:

- Stockage des graines
- Extraction de l'huile
- Purification
- Stockage de l'huile purifiée. (Girard, et al., 2011)

La partie suivante décrit chaque étape de la filière de production de l'huile végétale.

- **Stockage des graines**

Le stockage des graines oléagineuses avant l'extraction de l'huile peut s'avérer souvent long et s'étale sur plusieurs mois. Par conséquent il faut s'assurer durant ce stockage que les graines restent exemptes de toutes impuretés (de type cailloux, feuilles et objets métalliques) qui sont la cause du pourrissement des graines. Ces impuretés provoquent aussi l'usure de la presse et contribuent à augmenter le taux d'impuretés dans l'huile. Leur taux doit être inférieur à 2%. Les graines doivent être aussi ventilées régulièrement pour éviter l'acidification et les échauffements. Les lots de graines sont stabilisés si leur humidité est inférieure à 9% en masse. (Sidibe, Blin, & Yao, 2010)

- **Extraction de l'huile ou pressage**

L'huile végétale carburant est généralement obtenue par pressage à froid des graines et fruits oléagineux. Les conditions de pressage jouent un rôle très important sur la qualité de l'huile obtenue. Une forte hygrométrie et une température de la graine inférieure à l'air ambiant peuvent provoquer un phénomène de condensation à l'origine de présence d'eau dans l'huile. Le préchauffage régulé des graines contribue à améliorer le taux d'extraction. La température et la vitesse de pressage sont des paramètres importants qui influencent sur la qualité de l'huile. La température de pressage joue sur la teneur en phospholipides qui augmentent proportionnellement avec la température d'extraction. Il est par conséquent préconisé de ne pas excéder 60°C à l'intérieur de la presse. (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) La vitesse de pressage joue sur le rendement d'extraction de l'huile. Il est préférable de privilégier un fonctionnement en continu pour obtenir des caractéristiques homogènes de l'huile et du tourteau. Le taux d'extraction idéale se situe dans une fourchette de 80 à 85% de la teneur en huile contenue dans la graine. (Girard, et al., 2011) L'extraction de l'huile est effectuée généralement par deux types de presse :

- Les presses à cage ou à anneaux pour des capacités inférieures à 100Kg de graines traitées par heure. (Girard, et al., 2011)
- Les presses à barreaux pour des capacités allant jusqu'à 2 tonnes de graines traitées par heure. (Girard, et al., 2011)

- **Purification de l'huile végétale carburant**

Cette étape permet de débarrasser l'huile des impuretés afin d'avoir une huile de meilleure qualité carburant. Cette purification se subdivise en 2 étapes :

- Une décantation ou une filtration directe.

➤ Une filtration de sécurité.

✓ **La décantation ou sédimentation**

Elle permet d'entraîner les particules par gravité dans le fond de cuve en maintenant l'huile au repos pendant des jours voire des semaines (3 à 4 semaines). (Girard, et al., 2011). La viscosité et la température influent notablement sur la décantation. La vitesse de sédimentation augmente avec la température. Par contre, plus la solution est visqueuse plus la décantation est lente. C'est le moyen le plus simple et le moins coûteux pour se débarrasser des impuretés de grande taille, mais requiert beaucoup de temps et d'espace. Pour augmenter l'efficacité de la décantation il est recommandé de répéter la décantation dans des cuves successives. (Girard, et al., 2011)

✓ **La filtration directe**

Elle consiste à filtrer l'huile en sortie de presse avec un filtre presse à plateaux ou un filtre vertical. La filtration directe à très haute température permet le passage à travers le filtre de particules indésirables au point de fusion plus élevé. Il est recommandé de filtrer à une température de 20 à 60°C. (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) Le filtre à plaques est particulièrement efficace pour la filtration. Il est donc facultatif d'utiliser des cuves de décantation lorsqu'on utilise ce type de filtre. Idéalement la filtration doit être à moins de 10 μ m (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) pour éviter toute contamination et toute impureté dans l'huile. Parmi les filtres utilisés, on distingue les filtres à cartouches, les filtres presses et les filtres poches.

✓ **La filtration de sécurité**

C'est l'étape qui suit soit la décantation soit la filtration directe. Cette étape est effectuée afin de s'assurer de la qualité finale de l'huile carburant. La filtration est toujours effectuée à moins de 10 μ m et à une température de 20 à 60°C. (Girard, et al., 2011)

1.2. Propriétés physico-chimiques des huiles

Les HVP ont des propriétés physico-chimiques différentes de celles du gasoil, ce qui amène à prendre des précautions nécessaires en vue de leur utilisation comme carburant dans les moteurs diesels. En Europe, une prénorme européenne, la DIN 51605, récapitule les critères à respecter pour obtenir une huile végétale (de colza) de qualité carburant dans les véhicules ainsi que les paramètres et les méthodes d'analyse. (Fotseu, 2010). Cette prénorme s'avère être très draconienne et les outils analytiques dont elle fait appel sont très difficiles à mettre en place dans les zones agricoles et plus particulièrement dans les pays en voie de développement. En outre cette prénorme est basée sur des méthodes analytiques utilisées dans

le secteur pétrolier qui demandent beaucoup de moyens et de compétence technique. Cette prénorme renseigne également sur les facteurs qui doivent entrer dans l'analyse minimale de contrôle en production d'huile carburant. Cette analyse minimale de contrôle en production d'huile carburant permet de garantir une qualité suffisante pour les huiles végétales carburants et est adaptée aux pays en voie de développement qui ne disposent d'aucun standard ou de normalisation des huiles végétales pour une utilisation carburant.

Tableau I-1 : Analyse minimale de contrôle. (Fotseu, 2010)

Propriétés/Teneur	Unités	Maxi	Norme
Teneur en particules/Sédiments	mg/kg (ppm)	24	DIN EN 12662
Acidité	mg KOH/g	2,0	DIN EN 14104
Teneur en phosphore	mg/kg (ppm)	12	DIN EN 14107
Teneur en Ca et Mg	mg/kg (ppm)	20	DIN 14538
Teneur en eau	% masse	0,075	DIN EN ISO 12937
Teneur en cires			Chromatographie en phase gazeuse
-Totales	ppm	100(100ppm)	
-Cristallisables	ppm	75 (75ppm)	

- **Caractéristiques chimiques des HVC**

- ✓ **Teneur en huile et profil en acides gras**

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

Tableau I-2 : Groupes d'huiles végétales et indices d'iode (Adoum Mahamat, 2010)

Type d'huile	Acides	Exemples	Indice d'iode
Huiles saturées	Laurique Palmitique Stéarique	Coprah, Palmiste, Babassu Buruti, Palme Karité	5-50
Huiles mono-insaturées	Oléique	Arachide, Colza, Jatropha, Sésame, Ricin, Olive	50-100
Huiles di-insaturées	Linoléique	Tournesol, Coton, Maïs, Soja...	100-150
Huiles tri-insaturées	Linéique	Lin, Bois de Chine	>150

✓ **Teneur en phosphores**

La teneur en phosphore indique la présence de phospholipides. Les phospholipides sont des constituants indésirables qui proviennent des membranes cellulaires des graines et amendes. Ce paramètre est très important pour un usage carburant. En effet, ces phospholipides sont responsables d'encrassement des soupapes et de la chambre de combustion et des cylindres lors de l'utilisation d'huile végétale carburant (phénomène de gommage). Cet élément peut se retrouver en plus ou moins grande quantité dans l'huile selon les conditions de trituration. Ainsi, un pressage à froid, autour de 50°C, offre l'avantage de produire une huile dont la teneur en phospholipides est fortement réduite. (Girard, et al., 2011)

✓ **L'acidité**

Les huiles peuvent s'altérer pendant le stockage par hydrolyse en présence d'eau ou au cours du pressage si de hautes températures sont atteintes et ainsi contenir des fortes teneurs en acide gras libres. Ces acides gras libres sont responsables de l'acidité d'une huile végétale. Leur teneur doit être limitée car ils contribuent à la corrosion des moteurs, détériorent les organes en amont de la chambre de combustion et sont responsables de l'instabilité des huiles (oxydation) durant le stockage. (Girard, et al., 2011)

✓ **Teneur en eau**

La teneur en eau doit être limitée car elle provoque la formation d'acides gras libres par hydrolyse des triglycérides de l'huile végétale et induit des problèmes comme la corrosion et l'instabilité à l'oxydation, mais diminue également l'énergie libérée lors de la combustion et endommage les têtes de piston. Ce paramètre est donc à surveiller et dépendra de l'humidité de la graine et des conditions de stockage de l'huile. (Girard, et al., 2011)

✓ **L'oxydation**

L'indice de peroxyde permet d'estimer le niveau d'oxydation de l'huile et donc son degré de stabilité. Plus une huile est insaturée, plus elle est sensible à l'oxydation et donc moins elle est stable. Pour ce paramètre, on observe une plus forte influence de l'oxygène de l'air qui oxyde les huiles insaturées en peroxydes dans un premier temps puis en « produits de scission » tels

que les aldéhydes et les cétones à chaîne courte, responsables de l'odeur rance des corps gras. L'oxydation améliore l'indice de cétane, c'est-à-dire la capacité de l'huile à s'enflammer, ce qui est plutôt positif dans l'utilisation de l'huile végétale pure carburant. (Fotseu, 2010)

✓ **Teneur en sédiments**

Les sédiments sont des impuretés issues du processus d'obtention de l'huile. Cette teneur doit être limitée car les sédiments sont abrasifs et entraînent l'usure prématurée des moteurs. Ces sédiments bouchent également les filtres et rendent difficile la circulation du carburant. (Girard, et al., 2011)

✓ **L'indice d'iode**

C'est le nombre de gramme d'iode nécessaire pour saturer 100 g d'huile. Il mesure l'insaturation des huiles (nombre de doubles liaisons) et leur facilité de s'oxyder. Lorsqu'une huile insaturée sèche, elle se polymérise et se transforme en une substance plus visqueuse. Des conditions de stockage inappropriées pendant une longue période conduisent à l'oxydation des huiles insaturées, ce qui se traduit par des problèmes de pompage et de circulation, de filtration et de pulvérisation dans le moteur. (Fotseu, 2010)

✓ **Teneur en cires**

Les cires sont des esters d'acides gras et des alcools gras à longue chaîne (pouvant aller jusqu'à 16 atomes de carbone) ; elles proviennent de la coque de certaines graines ou de la peau de certains fruits (tournesol, olive). La teneur en cires varie en fonction de l'origine de la graine, de sa maturité, et de la température d'extraction de l'huile. Les teneurs en cires peuvent être élevées notamment lorsque la température de pressage est élevée. Dans ces conditions, les cires se solubilisent à chaud mais pourront être filtrées ultérieurement à froid. Les cires ne posent pas de difficulté au niveau de la combustion, mais elles sont problématiques à froid pour les organes périphériques : circuit d'alimentation, pompe, filtre car elles se cristallisent. (Girard, et al., 2011)

• **Caractéristiques physiques des HVC**

✓ **Point éclair**

Le point éclair d'un liquide se définit comme la température minimale à laquelle la concentration de vapeurs émises, dans des conditions normalisées, s'enflamme au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'un point chaud mais insuffisante pour produire la propagation de la combustion en l'absence de la flamme pilote. (Alter-Energies) Les produits peuvent être classés en fonction de leur point-éclair :

- $< 0^{\circ}\text{C}$: extrêmement inflammables

- de 0°C à 21°C : facilement inflammables
- de 21°C à 55 °C : inflammables (Adoum Mahamat, 2010)

Ce paramètre n'a pas d'influence particulière sur les performances des moteurs, c'est plutôt un paramètre de sécurité pour le stockage. (Girard, et al., 2011) Dans le cas de l'huile de Jatropha, le point éclair est beaucoup élevé par rapport à celui du gasoil, ce qui est synonyme de sécurité pour le stockage et la manutention de l'huile de pourghère.

✓ **L'indice de cétane**

Il caractérise le délai entre l'injection et la combustion dans un moteur Diesel. Cette caractéristique est particulièrement importante pour le diesel (ou les agro carburants équivalents) où le carburant doit s'auto enflammer sous l'effet de la compression de l'air enfermé dans le cylindre. Les indices de cétane obtenus pour la plupart des huiles végétales se situent entre 29 et 43 contre 45 à 55 pour le gasoil. (Girard, et al., 2011) La conséquence du faible indice de cétane des HVC est le démarrage à froid plus difficile du moteur, une augmentation du bruit : la combustion est en effet plus brutale car le délai d'inflammation est plus long. (Vaitilingom, 1992)

✓ **Le pouvoir calorifique (PCI)**

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) se définit comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible. Elle s'exprime en kJ/kg. Il détermine la consommation en carburant et en grande partie le taux de dégagement de chaleur ainsi que le rendement du moteur. Le pouvoir calorifique des différentes huiles végétales sont proches les uns des autres mais inférieures d'environ 10 à 15% au PCI du carburant diesel. (Girard, et al., 2011) Cependant, en raison de la légère différence de densité, le PCI volumique des huiles végétales se rapproche de 5 à 6% de celui du diesel. (Girard, et al., 2011) Les conséquences de la faible valeur du PCI des HVP comparées à celui du gasoil sont la surconsommation d'environ 8% en moyenne en huile, la baisse de la puissance du moteur et la baisse du rendement thermique.

✓ **La viscosité cinématique**

Les HVC ont une viscosité cinématique plus élevée que celle du gasoil, ce qui peut poser des problèmes de fonctionnement du moteur. Cette forte viscosité est attribuée à leur masse molaire élevée (600 à 900 kg/mol). (Girard, et al., 2011) De plus, la viscosité des huiles végétales augmente avec l'insaturation des acides gras, la longueur des chaînes carbonées et l'abaissement de la température d'utilisation. La viscosité élevée des huiles végétales a une incidence sur le moteur diesel qui se traduit par une diminution du débit d'injection maximal

provoqué par des pertes de charges importantes dans la pompe d'injection ainsi que dans les filtres, les injecteurs ou les gicleurs et une mauvaise atomisation/vaporisation du carburant d'où une combustion incomplète. Aussi, apparaissent souvent des problèmes de lubrification sur certaines pompes d'injection à basse température entraînant des pertes mécaniques importantes. Plusieurs solutions existent :

- Le préchauffage de l'huile avant le démarrage du moteur.
- Le mélange de l'huile avec du gasoil ou du biodiesel
- Le démarrage du moteur avec du gasoil pur avant de passer à de l'huile pure à l'aide d'un kit de bicarburation.

✓ **La densité**

La densité des huiles végétales est plus élevée de 10% en moyenne que celle du gasoil. Ce n'est pas un problème mais un élément à prendre en compte pour ajuster les débits de carburant. (Vaitilingom, 1992). Le tableau suivant donne les caractéristiques physiques du gasoil et quelques huiles végétales :

Tableau 1-3 : Caractéristiques physiques des huiles végétales pures. (Girard, et al., 2011)

Combustibles	Densité à 20°C	Point éclair	Indice de cétane	PCI (KJ/KG)	Viscosité cinématique 20°C (mm ² /s)	Point à d'écoulement (°C)
Gasoil	836	93	50	43800	3 à 7,5	<-5
Coton	921	243	35-40	36780	73	-1
Palme	915	280	38-40	36920	95-106	31
Copra	915	-	40-42	37100	30-37	20-28
Colza	915	320	32-36	37400	77	-11
Tournesol	925	316	35-37	37750	55-61	-5
Soja	920	330	36-38	37300	58-63	-4
Arachide	914	258	39-41	39330	85	9
Jatropha	920	240	45	38850	55	3

1.3. Valorisation des coproduits de la filière de production de l'huile de Jatropha

- Valorisation des pulpes et des coques
- ✓ Biocombustible

Les pulpes et les coques de la graine de *Jatropha* sont des combustibles. Le pouvoir calorifique des pulpes de fruits est évalué à 14,5 MJ/kg et celui des coques à 18 MJ/kg.

Dans plusieurs pays, les tourteaux, pulpes et coques servent à fabriquer des briquettes d'allumage pour le feu. Aux Philippines (Bayanihan), la mise en place d'une usine de *Jatropha* a par exemple développé la production et la commercialisation locale de ces briquettes. (Domergue & Pirot, 2008)

✓ **Synthèse de charbons actifs à partir des coques**

Les coques étant des matériaux poreux, elles peuvent être utilisées pour produire des charbons actifs, qui présentent une très grande surface spécifique conférant un fort pouvoir adsorbant. Le charbon actif est utilisé dans différents domaines d'application : filtration (eau potable, masque à gaz), industrie, chimie (décoloration des eaux, décoloration du sucre, décaféination du café), médecine. La fabrication du charbon nécessite une première étape de pyrolyse, puis une seconde étape d'activation, qui consiste à augmenter le pouvoir adsorbant, notamment en éliminant les goudrons qui obstruent les pores, selon deux procédés distincts :

- ❖ L'activation physique, combustion entre 900 et 1000°C, effectuée dans un courant d'air et de vapeur d'eau, injectés sous pression (procédé d'oxydation contrôlée) crée des millions de tubes microscopiques à l'intérieur du charbon augmentant fortement sa surface et son pouvoir d'adsorption. Ce procédé donne un charbon à pores étroits.
- ❖ L'activation chimique est effectuée par de l'acide phosphorique à une température comprise entre 400 et 500°C. Ce procédé donne un charbon à pores plus larges.

• **Valorisation des tourteaux**

✓ **Alimentation animale**

Malgré les composés toxiques des graines de *Jatropha*, elles sont tout de même riches en éléments nutritifs comme le souligne le tableau suivant :

Tableau 1-4 : Comparaison de la composition des tourteaux et de soja (Domergue & Pirot, 2008)

Composition des tourteaux (% de MS)	Jatropha	Soja
Crude protein	61.2	45.7
Lipid	1.2	1.8
Ash	10.4	6.4
Neutral détergent fiber	8.1	17.2
Acid détergent fiber	6.8	12.2
Acide détergent lignin	0.3	0
Gross energy (MJ kg ⁻¹)	18.3	19.4

Il est possible de détoxifier les tourteaux de *Jatropha* et de les utiliser dans l'alimentation animale et celle des poissons. Pour ce faire, il faudrait réaliser une combinaison de traitements thermique et chimique comme le soulignent Aregheore & al.,(2003). A la suite de ces traitements

la concentration en ester de phorbol sera réduite avec 2 traitements, sans incidence sur l'appétence de la nourriture pour les rats :

- traitement chimique au méthanol : 4 lavages avec du méthanol à 92 %, suivi d'un traitement thermique à 121°C pendant 30 min ; (Aregheore & al., 2003)
- traitement chimique à l'hydroxyde de sodium (NaOH) + hypochlorite de sodium (NaOCl), suivi d'un traitement thermique à 121°C pendant 30 min. (Aregheore & al., 2003)

Le traitement thermique puis chimique avec du méthanol à 92 % a réduit la teneur initiale d'ester de phorbol de 1.78 mg/g à un niveau tolérable de 0.09 mg/g. Le tourteau ainsi obtenu présente un taux de protéines pures de 68 %, qui est beaucoup plus élevé que le taux de protéines habituellement trouvé dans les autres tourteaux oléagineux (45.7 % pour le soja). Le *Jatropha* pourrait ainsi se substituer aux tourteaux oléagineux conventionnels comme le tourteau de soja, très coûteux. Le traitement est prometteur, mais pour l'instant coûteux à mettre en œuvre. Il pourrait être envisagé à une petite échelle de production. Le prix peut être réduit si le méthanol est réutilisé.

✓ **Utilisation comme engrais organique**

Le tourteau de pressage de graines entières de Pourghère est classé par « Landwirtschaftliche Versuchsanstalt » (établissement allemand d'essais agronomiques) comme un engrais organique complexe (contenant NPK) à teneur marquée en azote. (Münch & Kiefer, 1986) La fertilisation organique avec du tourteau de *Jatropha* donne de très bons résultats sur la culture de *Jatropha*. Il peut également être employé sur d'autres cultures, comme Cunha Da Silveira (1934) (Domergue & Pirot, 2008) le mentionne au Cap Vert: sur le blé (mêlé avec du superphosphate) et le maïs (mêlé avec du sulfate de potasse).

Les expériences menées également par l'ICRISAT sur l'effet des tourteaux de *Jatropha* sur la croissance et le comportement végétatif du riz en Inde, en système de riziculture intensive et en système de riziculture améliorée mettent en exergue l'efficacité de ce fertilisant car les rendements sont significatifs. (Domergue & Pirot, 2008)

✓ **Effet insecticide et phytotoxicité des tourteaux**

En plus d'être un excellent engrais organique, le tourteau de *Jatropha*, grâce à sa teneur résiduelle en huile, contient des mêmes substances biocides, ce qui lui confère des propriétés insecticides et réduit la quantité de nématodes dans le sol. Le tourteau de ricin, parent proche du *Jatropha*, est utilisé comme engrais organique à effet répulsif pour les taupes et rongeurs. Il est agréé en agriculture biologique en France.

Cependant, les substances toxiques qu'il contient peuvent être néfastes pour les plantes : des essais de phytotoxicité des tourteaux de *Jatropha* et de ricin sur la germination de graines tomates, de pastèques, de petits pois et de maïs dans des récipients contenant du sable avec différentes teneurs en tourteau, ont montré un effet toxique sur les semis, particulièrement sur les graines de tomates. (Münch & Kiefer, 1986)

Aucune étude n'a été menée sur un éventuel risque de contamination des cultures vivrières par ces substances toxiques, ni sur les conséquences à moyen et long terme de l'épandage d'un engrais toxique sur le sol ou les nappes d'eau souterraines. Des recherches devraient être menées sur l'éventuelle toxicité des résidus issus des épandages de tourteau de *Jatropha* sur des cultures destinées à l'alimentation humaine.

✓ **Production de biogaz à partir des tourteaux**

Les tourteaux de *Jatropha*, étant fermentescibles, ils peuvent être utilisés pour la production de biogaz. Visser et al. (2007) (Domergue & Pirot, 2008) affirment que la valeur à retenir pour le rendement en méthane pour une installation industrielle de biogaz à partir des tourteaux de *Jatropha* serait la production d'un gaz avec 50-60% de méthane, un taux de transformation de 0,5 à 0,6 m³/kg de matière organique, avec un pouvoir calorifique compris entre 18 et 22 MJ/Kg.

1.4. Technologie du moteur diesel

Le tout premier moteur Diesel date de 1897, 5 tonnes pour 20 chevaux pour 170 tr/min avec un rendement de 28%. Rodolphe DIESEL en est l'inventeur. (Fotseu, 2010) Basé sur le principe de fonctionnement du moteur à explosion à quatre temps à essence, le moteur diesel se distingue par le fait qu'au temps d'admission le moteur n'aspire que de l'air lorsque la soupape d'admission s'ouvre, contrairement au moteur à essence, qui lui aspire de l'air et de l'essence dans sa version carburateur. Au deuxième temps, l'air est comprimé, la pression peut atteindre 40 bars à 600°C. (Fotseu, 2010) En fin de compression, une charge de gasoil est injectée à haute pression. La haute température régnant alors dans la chambre de combustion suffit pour provoquer l'auto-inflammation du carburant. Le troisième et quatrième temps, qui sont respectivement la combustion et l'échappement, se déroulent identiquement à ceux de moteur quatre temps essence.

La figure en [annexe 1](#) résume les phases du cycle à 4 temps décrit ci-dessus.:

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

- **Moteurs à injection indirecte**

L'injection indirecte, regroupant les différentes solutions de chambres de combustion divisées (l'injecteur pulvérise le combustible dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion), les gaz rejoignant ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison. Ce type de moteur est installé les gros moteurs industriels et les automobiles. Ils sont les mieux adaptables au fonctionnement au HVP car fonctionnent à de haute température, 500°C, dès 10% de charge. (Girard, et al., 2011)

- **Moteurs à injection directe**

L'injection directe, qui désigne tous les procédés ne comportant pas de fractionnement de la chambre de combustion (l'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre principale du cylindre). Ce type de moteur est installé sur les tracteurs, les camions et de plus en plus les moteurs statiques. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les HVP. Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées, ces types de moteurs connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement. (Adoum Mahamat, 2010)

La figure en [annexe 2](#) illustre parfaitement les constitutions des chambres de combustion du moteur à injection indirecte et directe.

Parmi les moteurs à injection directe, on en distingue également deux types :

- **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. (Adoum Mahamat, 2010) Le moteur doit tourner à au moins 70% de sa puissance maximale pour pouvoir accepter l'huile sans problème. (Adoum Mahamat, 2010)

- **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, (Adoum Mahamat, 2010) 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. (Adoum Mahamat, 2010)

- **Problèmes de combustion liés à la nature des huiles végétales**

Les problèmes de combustion des HVC dépendent en grande partie de la nature de la biomasse oléagineuse. Les caractéristiques physico-chimiques intrinsèques des HVC qui sont les causes des problèmes de l'utilisation des HVC dans un moteur diesel sont les suivants :

- La viscosité
- La composition chimique des huiles. (Girard, et al., 2011)

1.5. Modifications et adaptations des moteurs diesels pour un fonctionnement à partir d'huile végétale

Les huiles végétales peuvent être utilisées comme carburant sous différentes formes (pures ou transformées) avec adaptation ou non des moteurs diesels. Leur comportement global en tant que carburant ainsi que les principaux problèmes rencontrés lors de leur utilisation ont fait de nombreuses études.

Les principales solutions mises en place pour l'utilisation des HVC dans les moteurs diesels sont :

- L'utilisation des HVC en mélange à des teneurs différentes dans le gasoil. (Girard, et al., 2011) et (Adoum Mahamat, 2010)
- L'utilisation directe des HVC en bicarburation. (Girard, et al., 2011) et (Adoum Mahamat, 2010)
- **Fonctionnement à partir de mélange huile végétale/gasoil**

Le but de l'utilisation des mélanges d'huile végétale avec du gasoil est de réduire la viscosité afin de faciliter la pulvérisation et l'atomisation de l'huile végétale dans la chambre de combustion.

Les études sur l'utilisation des mélanges comme carburant montrent qu'à moins de 30% (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) de teneur en huile, les performances du moteur sont comparables avec celles du gasoil. De manière générale, les émissions de polluants et les performances obtenues avec les mélanges se situent entre celles des huiles végétales pures et le gasoil pur. L'utilisation en mélange jusqu'à 30% ne nécessite pas de modifications (sous réserve du type de pompe à injection). L'utilisation en mélange de l'huile végétale avec le fuel permet de s'affranchir des problèmes de viscosité de l'huile mais il faut néanmoins ne pas laisser le moteur sans fonctionner longtemps pour éviter les séparations de l'huile et du gasoil dans le réservoir.

- **Adaptation type bicarburation sur les moteurs à injection directe**

Pour une utilisation en huile végétale, il est recommandé d'adapter le moteur pour fonctionner en bicarburation. Le moteur consiste à démarrer le moteur à partir du gasoil, puis d'injecter l'huile dans le circuit, seulement quand la charge du moteur est suffisante pour avoir une température élevée de la chambre de combustion qui permette une combustion totale de

l'huile (500°C). (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) Ce procédé a été mis en place et appliqué par le CIRAD sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes. Il consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gasoil.

1.6. L'intérêt économique pour les huiles-carburants

L'intérêt pour l'huile-carburant d'origine végétale est essentiellement lié à la raréfaction et au renchérissement des ressources pétrolières, problèmes qui pénalisent en premier lieu les populations des zones rurales dont l'accès à l'énergie autre que traditionnelle passe par les carburants fossiles (groupes électrogènes, moteurs d'installations fixes ou de véhicules).

C'est donc le plus souvent dans une optique de comparaison avec le diesel ou d'autre carburant pétrolier que l'on procède à l'évaluation économique d'une huile-carburant.

Afin de s'assurer de débouchés, l'éventuel producteur d'huile-carburant doit pouvoir situer son coût de revient par rapport au prix de l'équivalent pétrolier.

Le consommateur de carburant compare les alternatives, origine végétale ou pétrolière, avant d'éventuellement modifier son moteur pour une utilisation de l'huile pure.

Dans des contextes diversifiés d'émergence de filière huile-carburant, les modes de production ne sont pas stabilisés sur des itinéraires techniques complètement définis avec des niveaux de coûts représentatifs standards. Et ni les marchés ni les réseaux de commercialisation des huiles-carburants ne sont suffisamment structurés pour que les données de prix soient comparables. Aux séries de prix par origine et par qualité des carburants fossiles, font face des informations ponctuelles et souvent incomplètes, et donc difficilement comparables, sur les prix des huiles-carburant. (Fallot & Girard, 2008)

Le CIRAD et AGROgeneration (Domergue & Pirot, 2008) et P. Bouffaron et al (2012) (Bouffaron & al., 2012) mettent en relief la difficulté de procéder à une évaluation financière d'une huile-carburant pour cause d'absence d'entreprises commerciales, de coûts non monétaires, de situations où l'huile-carburant n'est pas encore produite ou consommée de façon régulière, d'une indisponibilité de base géographique pour une localisation des points de production des graines ou de l'huile-carburant, des données fiables à long terme sur les champs de *Jatropha* et de l'intégration de l'huile dans la production d'électricité dans les zones reculées. Ils proposent tout de même des méthodes assez similaires pour l'évaluation financière d'une huile carburant du point de vue du producteur et de l'utilisateur (client).

1.7. Méthode suggérée

- **Produit**

Tout d'abord, ces auteurs proposent de définir clairement le produit dont on veut évaluer le coût (coût de revient, coût de vente etc.). Ce produit peut être le Kilogramme de graines, le litre d'huile ou le Kilowattheure électrique produit à partir des HVC. Ensuite, il faut apporter des précisions discriminantes qui concernent le produit (pouvoir calorifique et autres propriétés qui sont importantes du fait d'un différentiel vis-à-vis des produits pétroliers auxquels ils sont susceptibles de se substituer, origine végétale qui affecte les propriétés, lieu de production qui peut occasionner des frais de transport...).

- **Les opérations**

Il faut identifier toutes les opérations qui contribueront directement à la fabrication ou à l'utilisation du produit. Pour chaque opération identifiée, il faut recenser les besoins en capital, travail, énergie et matériaux et autres intrants. Parmi ces coûts recensés, il faut identifier ceux qui sont variables et ceux qui sont fixes.

La figure en [annexe 3](#) (Fallot & Girard, 2008) recense les opérations nécessaires pour l'évaluation de la viabilité économique de la production d'huile de *Jatropha* et de son utilisation pour l'électrification rurale.

- **L'entreprise**

C'est elle qui s'occupe de la production et de l'acheminement de l'huile-carburant. Celle-ci délimite les coûts indirects à imputer à la production ou à l'utilisation de l'huile carburant, les frais de gestion par exemple. Aussi elle détermine les règles d'imputation, en pourcentage fixes des coûts directs, ce qui est le plus simple, ou après recensement de l'ensemble des activités liées au sein de la même entreprise et choix des critères d'imputation entre activités. (Fallot & Girard, 2008). Le tableau figurant en [annexe 4](#) donne le détail de ce que sont les grands postes de dépense à prendre en considération. Chaque situation peut être très spécifique et qu'il conviendra au porteur de projet d'être particulièrement vigilant à n'oublier aucun des postes de dépenses ([annexe 4](#)) susceptibles d'affecter la rentabilité de son projet.

Le coût des équipements peut être élevé (si il y a lieu d'acquérir un nouveau moteur par exemple) au regard de la durée d'utilisation pour des applications d'électrification rurale par exemple. Il aura des répercussions fortes sur le coût de production proportionnellement à la durée de fonctionnement de l'installation. Dans la majorité des cas, les promoteurs de ce type de technologie sous-estiment les besoins d'investissement pour la préparation et le conditionnement de l'huile brute pour la « convertir » en huile carburant.

Le coût du transport est également important dans le cas de transport de graines avant trituration. Il est trop rarement correctement estimé dans les coûts de production. Ce coût

pourra être élaboré à partir du tableau ([annexe 5](#)) et ajusté en fonction du rayon d'approvisionnement moyen considéré.

1.8. Analyse de viabilité

• Les prix du marché

Cette analyse s'effectue à deux niveaux :

✓ Prix de l'huile

- pour éventuellement vendre son huile quand on s'engage dans la production d'huile.
- pour acheter de l'huile ou en «coût d'opportunité». (Fallot & Girard, 2008)

Il est important de prendre en compte la saisonnalité de l'approvisionnement afin d'anticiper les coûts de stockage éventuels ou le comportement spéculatifs des intermédiaires. Trop souvent les huiles autoconsommées ou produite à partir de collecte de fruits sont considérées comme à coût nul. La récolte de ces produits à un coût qui doit être pris en compte, au moins en ce qui concerne la main d'œuvre. Ensuite, les usages alternatifs de ces produits peuvent créer une concurrence susceptible de rapidement faire augmenter les prix de la matière première. En conséquence il est illusoire de considérer la matière première comme gratuite dans un projet sans faire courir de très gros risques à ce dernier. Le prix de cette matière première devra être au minimum rémunérer le prix du travail, sur une base ramenée au litre d'huile brute ou raffinée en fonction des situations. Selon Bouffaron & al.,(2012) concernant les études menées au Mali à Garalo, à une productivité de 4,8tonnes de graines/Ha le prix du kg de graines est de 30FCFA ; le prix minimal d'achat du litre d'huile est de 335FCFA ; le prix de revient du litre d'huile est de 345FCFA et le prix du KWh est de 495FCFA.

✓ Prix des produits concurrents, les carburants pétroliers

Il est également important de ne pas négliger les autres facteurs influençant la compétitivité des huiles par rapport aux produits pétroliers

- distance (coûts de stockage et transports);
- saisonnalité (relation producteur acheteur avec éventuel comportement spéculatif, politique commerciale avec degré d'ouverture aux importations)
- qualité : évolutions possible des propriétés et différence de pouvoir calorifique en fonction de la nature des huiles qui se traduisent par des consommations spécifiques différentes. (Fallot & Girard, 2008)

Il convient enfin, d'intégrer les taxes, subventions et éventuels crédits carbone qui pourraient être obtenus dans le cadre d'incitations au niveau du projet.

✓ La marge d'un projet de production d'électricité à partir d'huile

Pour juger de l'intérêt économique de l'huile en génération électrique, il convient donc de comparer la solution huile végétale avec le diesel (prix de revient à calculer), des prix du marché (à analyser) et des éventuelles incitations ponctuelles (opportunités à étudier). Une analyse exhaustive de faisabilité n'est pas toujours simple à élaborer par manque de données précises. (Fallot & Girard, 2008)

2. Tests et expérimentations

Dans cette partie il sera, tout d'abord, estimé la quantité de matière première (graines de *Jatropha*) disponible au centre Songhaï. Ensuite il sera recensé le matériel qui permettra de produire l'huile de *Jatropha*. Enfin la méthodologie adoptée pour réaliser les tests technico-économiques lors de la production d'électricité par le générateur diesel sera détaillée dans la suite du travail.

2.1. Matériel et méthode

- **Production d'huile végétale pure de *Jatropha***

Les sites Songhaï de Parakou et de Savalou ont fourni des fruits et des graines de *Jatropha* pour les besoins de l'étude. Il a été reçu premièrement de Parakou 58,43 Kg de fruits et 27,58 Kg de graines décortiquées. Ces quantités reçues étaient humides dues soit au transport (camion) soit depuis le site. Après 4 mois, le site de Savalou a fourni 15 Kg de fruits humides toujours expédié par camion. Et après 2 semaines, le site de Savalou a encore fourni 71 Kg de fruits secs (humidité=10,5%) expédié par les véhicules de service et de liaison du centre Songhaï. La production d'huile à partir des quantités de fruits s'est faite à travers 5 à 7 grandes étapes successives: séchage des fruits si besoin en est, décortilage, prétraitement des graines, séchage 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.

- ✓ **Séchage des fruits de *Jatropha***

Lorsque les fruits reçus sont mouillés, il convient de les sécher afin de faciliter le décortilage des graines. Ce séchage est effectué à l'air ambiant et grâce au soleil. Il a pris 3 jours lorsque le climat était favorable et près d'une semaine lorsque le temps était pluvieux. Le séchage est jugé suffisant lorsque les fruits peuvent être facilement décortiqués à la main. La figure 2.1 indique la méthode de séchage des graines :



Figure 2-1 : Séchage des fruits de Jatropha avant décortilage

✓ **Le décortilage ou dépulpage**

Cette phase qui consiste à ôter la pulpe du fruit afin de récupérer les graines était effectuée manuellement comme l'indique la figure suivante :



Figure 2-2 : Méthode manuelle de décortilage des graines de Jatropha.

Il s'est avéré que cette méthode n'est pas des plus adaptées pour le centre Songhaï car il demande un grand effort physique et un temps plus long. Par la suite, il a été adapté une

décortiqueuse d'arachide pour le décortiquage des graines de *Jatropha* comme l'indique les figures suivantes :



Figure 2-3 : Décortiqueuse de Jatropha

Les modifications qui ont été apportées sont les suivantes :

- ❖ 1^{er} lieu : Le système de réglage de la hauteur de concassage des fruits de *Jatropha*.
- ❖ 2nd lieu : la largeur des ouvertures du tamis de fond.

L'usage de cette décortiqueuse est du moins des plus simples, demande peu d'effort physique pour parvenir aux mêmes résultats que la méthode manuelle de décortiquage des graines et enfin demande peu de temps (pour 58,43 kg de fruits le décortiquage a pris 7 jours avec la méthode manuelle tandis qu'avec la décortiqueuse cela a nécessité à peine 2 jours).

✓ **Prétraitement des graines de Jatropha**

Le prétraitement a consisté au nettoyage des graines au moyen d'un tamis pour enlever la poussière et les coques et ensuite au triage des graines pour enlever cailloux des graines de *Jatropha*. Cette étape a nécessité l'appui d'un manoeuvre et a duré 24 heures. La figure suivante indique le nettoyage des graines :



Figure 2-4 : Prétraitement des graines.

✓ Séchage des graines de Jatropha

Les graines reçues directement des sites ont été séchées afin d'atteindre une humidité de 14,28% avant le pressage. A cause du temps pluvieux, le séchage a été effectué à l'aide du séchoir du gazéifier comme l'indique la figure suivante :



Figure 2-5 : Séchage des graines de Jatropha

Les fruits reçus en second lieu de Savalou avaient une humidité de 10,5%. (L'évaluation de l'humidité des graines a été effectuée à l'aide de l'étuve de la section champignon ; les poids de trois échantillons sont pris avant et après passage à l'étuve. La température de l'étuve est maintenue à 110°C pendant 3 heures. Les poids des échantillons (03) sont pesés. Puis on réitère la même opération avec les mêmes échantillons jusqu'à ce que les poids des échantillons ne varient plus, de là on tire l'humidité des graines. L'humidité est obtenue par la

formule suivante : $\frac{\text{masse avant étuve} - \text{masse stabilisée après étuve}}{\text{masse avant étuve}} \times 100$. Ces graines n'ont pas fait l'objet de séchage.

✓ **Extraction de l'huile**

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 de marque AGICO.



Figure 2-6 : 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). Lors du pressage, l'huile chargée de déchets (couleur brune) sort par les sorties entre les barreaux et glisse dans le plateau. Les tourteaux de *Jatropha* sont expulsés en bout de presse en forme de plaquette.

✓ **Filtration de l'huile de Jatropha**

L'huile est d'abord décantée avant la filtration proprement dite. Cette décantation débute dès le pressage et dure trois semaines. Une fois l'huile séparée des grosses particules, celle-ci est filtrée avec un filtre adapté. Le filtre a été conçu et réalisé avec un seau de 25 litres dans lequel il a été disposé trois niveaux de filtration. Chaque niveau de filtration est constitué d'un cerceau entouré d'un pagne filtrant appelé "guihuivo" comme l'indique la figure suivante :



Figure 2-7 : 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'infiltré entre les fins trous du tissu jusqu'au troisième niveau de filtration au niveau du dernier cerceau.



Figure 2-8 : Filtration de l'huile

Le temps de filtration de 7 litres est d'environ 25 à 30 minutes mais il faut une grande quantité pour donner un ratio.

✓ **Stockage de l'huile de *Jatropha***

L'huile ainsi filtrée est stockée dans un seau en plastique de 25 litres dans un endroit humide et à l'abri du rayonnement solaire. L'huile de *Jatropha* de qualité carburant ainsi obtenue, peut être utilisée comme combustible pour la production d'électricité par un générateur.

• **Présentation du matériel utilisé pour les essais**

✓ **Présentation du générateur**

Pour utiliser l'huile de *Jatropha* comme carburant, on dispose d'un générateur diesel à refroidissement par air de puissance maximale 5 kW. Ce générateur présente un intérêt

particulier vu sa puissance qui diffère des puissances élevées utilisées dans les travaux sur l'HVP. La figure suivante indique le générateur utilisé :



Figure 2-9 : Générateur diesel, modèle HHD5000LH3, marque JINAODA avec une puissance maximale de 5 kW

Les caractéristiques du moteur sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2-1 : Caractéristiques du générateur

Caractéristiques du générateur diesel	
Marque	JINAODA
Cylindrée (cm ³)	418
Puissance (KW)	5
Vitesse de rotation (tr/min)	3000
Tension de sortie	220 monophasé/380V triphasé

Pour produire de l'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. Deux méthodes ont été pratiquées à cet effet et ce sont les suivantes:

- ❖ La méthode de bicarburation 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 bicarburation présente l'avantage de s'affranchir de l'utilisation d'une grande quantité de gasoil et de permettre une utilisation plus accrue d'huile. Ce qui est une opportunité pour les populations des zones rurales.

- ❖ La méthode du mélange car la quantité d'huile de *Jatropha* n'est pas suffisante pour procéder à des tests moteur de longue durée. Cette méthode ne présente pas les mêmes avantages que la bicarburation car elle nécessite une grande quantité de gasoil mais qui reste inférieure à une utilisation pure.

✓ **Modification du moteur : réalisation d'un kit de bicarburation**

La bicarburation est un procédé qui consiste à installer en parallèle avec le premier circuit d'alimentation (celui du gasoil), un second circuit propre à l'huile végétale (l'huile de jatropha). Pour réaliser le kit de bicarburation qui a été monté sur le moteur du groupe électrogène, les éléments suivants ont été utilisés en série :

❖ **Réservoirs**

Le système de réservoirs est constitué de deux bidons de 5L chacun, utilisés respectivement pour contenir le gasoil(ou le mélange huile de *Jatropha* (30%) avec le gasoil) et l'huile de *Jatropha*



Figure 2-10 : Réservoirs

❖ **Un système de pré-filtres**

Il est constitué de deux (2) filtres à gasoil qui permettent d'effectuer un filtrage des carburants à la sortie des réservoirs. La figure 2.11 présente le système de pré-filtres :



Figure 2-11 : Système de pré-filtres

❖ Un système de préchauffage

C'est le fait que l'huile de *Jatropha* possède une viscosité plus élevée comparée au gasoil qui amène la nécessité du préchauffage de l'huile. Pour ce système de préchauffage, la chaleur rejetée lors de la combustion par le réservoir d'échappement a été valorisée à cet effet. Il a été enroulé le tube de conduite d'huile (tuyau en cuivre car conduit mieux 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 gasoil. 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. La figure ci-dessous indique le système de préchauffage.



Figure 2-12 : Système de préchauffage.

❖ Un système de basculement

Ce système de basculement est composé de 02 vannes d'arrêt, 05 embouts, 03 mamelons et un tube en Té. 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 gasoil et de basculer après à l'huile ou inversement. La figure suivante présente le système de basculement :



Figure 2-13 : Système de basculement.

Toutes ces composantes sont montées sur le moteur du groupe électrogène et permettent une utilisation de l'huile de *Jatropha* et du gasoil pour réaliser les tests. La figure suivante présente le kit de bicarburation installé sur le moteur.



Figure 2-14 : Moteur adapté à la bicarburation

Pour les essais de charge du moteur, il a été utilisé 2 modèles de charges purement résistives sur la borne monophasée du moteur. Le premier type de charges admet des puissances

maximales de 0,5kW, 1kW et 2kW. Le second type de charges admet une puissance de 0,8kW. Les figures suivantes présentent les résistances mentionnées.



Figure 2-15 : Premier type de charge à gauche et second type de charges à droite

Pour les essais d'endurance, le générateur a été utilisé pour alimenter une scie électrique. La plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé qui est couplé à la scie par une courroie donne les indications suivantes :

Tableau 2-2 : Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé.

VIKING EXCLUSIVE JONCOD type Y112M-4

4	KW	380/660V	8 ,5/5,1A
5 ,5	HP	IP	44
50	HZ	CONNEX	Triangle/Etoile
1440	Tr/min	BINSCL	

Cette scie électrique permet de couper des rondelles de bois pour alimenter le gazéfier en bois afin de produire de l'électricité. La scie est présentée à la figure suivante :



Figure 2-16: Scie électrique

✓ **Présentation du matériel de mesure**

Différents types de mesures ont été effectués à l'aide du matériel décrit dans le tableau suivant :

Tableau 2-3 : Liste du matériel de mesure ; source Auteur (Benin 2013)

Désignation	Caractéristiques	Commentaires
Compteurs triphasés	LJ électronique CE 9016 ; Nombre 3, mesure de l'énergie active et réactive	Pour le moteur de la scie électrique.
Transformateur de courant	Trois (3) de 50/5	Multiplier l'énergie par le rapport des TC
Balance calibrée	Marque Diamond, calibrée à 150 kg, Incertitude +/- 0,5 kg	Peser la masse de graines de <i>Jatropha</i>
Balance à affichage numérique	Marque AND, calibrée à 4Kg	Peser la masse de carburant
Une montre	Cadran numérique	Déterminer le temps des expériences
Thermocouple portable type K	Chauvin Arnoux Physics Line classe A	Relevé de la température de la chambre de combustion.
Pince ampérémétrique	Chauvin Arnoux 600v/400A	Mesures Température, courant, tension
Station météorologique	Marque Davis Vantage Pro2 Integrated Sensor Suite	Relevés conditions météorologiques de l'expérimentation
Erlenmeyer	Capacité 500 ml	Réaliser les mélanges
Burette graduée	Capacité 25 ml	Réaliser les mélanges

• **Méthodologie de mesures**



Fruits de *Jatropha*

Huile de *Jatropha*

Utilisation Moteur

✓ **Détermination des proportions des produits de décorticage des fruits du *Jatropha***

Le décorticage regroupe les étapes suivantes : le concassage des fruits et le tri des graines. Les produits de décorticage des fruits de *Jatropha* sont : les graines et les coques. Selon la méthode de récolte des fruits (ramassage ou cueillette), il s'y ajoute une quantité plus ou

moins importante de poussière. Cette quantité sera ajoutée à la quantité de coques puisqu'elle n'a pas été évaluée. Les proportions des différents produits seront déterminées par rapport à la masse de fruits initiale.

$$\text{Proportion de graines} = \frac{\text{Masse de graines}}{\text{Masse de fruits}} \times 100$$

$$\text{Proportion de coques et de poussières} = \frac{\text{Masse de coques et de poussières}}{\text{Masse de fruits}} \times 100$$

Pour le concassage des fruits murs, il a été adopté 2 manières différentes afin de proposer des solutions qui pourraient améliorer la productivité de ce processus de décorticage.

✓ **Mesure des caractéristiques de pressage**

Il a été considéré que le pourcentage d'huile contenu dans la graine de *Jatropha* est de 35% selon les travaux de Klaus Becker (Becker, 2009).

Les paramètres qui permettent de caractériser la presse sont les suivantes :

- La capacité qui est la quantité d'oléagineux traitée par heure.
- Le taux de recouvrement qui est le rapport de la masse d'huile extraite sur la masse d'huile présente dans la graine. C'est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Tr} = \frac{\text{Masse d'huile extraite}}{\text{Masse d'huile dans la graine}}$$

- Le rendement brut qui est la masse d'huile extraite sur la masse de l'oléagineux.

$$\text{Rb} = \frac{\text{Masse d'huile extraite}}{\text{Masse de l'oléagineux}} \times 100$$

- Le rendement net qui est le rapport de la masse d'huile purifiée sur la masse de l'oléagineux.

$$\text{Rn} = \frac{\text{Masse d'huile purifiée}}{\text{Masse de l'oléagineux}} \times 100$$

✓ **Détermination du temps de décantation**

Les mélanges huile de *Jatropha* (à des proportions de 10, 20, 30%) et gasoil ont été réalisés en vue de déterminer le temps de décantation. Ces deux liquides ayant des densités différentes laisse envisager qu'au fil du temps, il y aura décantation. Des photos ont été prises chaque jour afin de situer cette période de décantation de l'huile. L'objectif de ce test est de déterminer un temps de décantation pour chaque mélange afin de proposer un guide pratique d'utilisation des mélanges au centre songhaï.

✓ **Mesure de température des gaz d'échappement**

Il a été mesuré à l'aide de la sonde thermocouple, les températures des gaz d'échappement lorsque le moteur est à vide ou en charge. Ces mesures vont s'effectuer à l'intérieur de la conduite d'échappement.

✓ **Mesure de température de l'air ambiant**

La température ambiante est mesurée grâce à la sonde thermocouple. La température de l'air d'admission a une influence sur la température interne et sur la consommation du moteur.

✓ **Mesure des tensions et intensités**

Il a été mesuré les intensités et tensions des trois phases qui alimentent le moteur électrique de la scie. Ces tensions et intensités sont mesurées à la sortie du générateur. Les mesures ont été effectuées lorsque la scie tournait à vide et lorsque celle-ci coupait une bûche de bois.

✓ **Mesure de l'énergie électrique**

Le compteur électrique installé permet de mesurer les énergies électriques active et réactive consommées par la scie électrique. Le compteur est installé avec 03 transformateurs de courant de rapport 50/5. Par conséquent, le compteur n'incrémente d'une unité les énergies consommées que par tranche de 10[KWh ou KVARh] produite par le générateur.

✓ **Mesure de la consommation du moteur (Ci)**

Le carburant consommé pour produire 10 [KWh] a été quantifiée à l'aide de la balance. Le carburant (soit le gasoil, soit le mélange huile de *Jatropha* et gasoil soit l'huile de *Jatropha*) contenu dans un bidon est placé sur la balance qui permet de mesurer la consommation du moteur à chaque 10 [KWh] électrique produit. De là il est déduit la consommation spécifique du moteur :

✓ **Détermination de la consommation spécifique du moteur (Cs)**

C'est une caractéristique importante pour un moteur, elle représente la consommation de carburant par unité de puissance et de temps. Elle est obtenue à partir de la consommation du moteur pour produire 10 [KWh] électrique.

$$\text{Consommation spécifique } C_s \text{ (g/kWh)} = \frac{C_i}{10}$$

✓ **Détermination du rendement global**

Le rendement global est déterminé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{3600}{Cs(en \frac{g}{kwh}) * PCI (\frac{MJ}{kg})}$$

Ce rendement représente la quantité d'énergie électrique fournie (soit aux charges lors des tests de performance soit à la scie électrique lors des essais de fonctionnement en longue durée) sur la quantité d'énergie produite par la combustion du carburant.

✓ Essais d'endurance

Les essais d'endurance sont des essais de fonctionnement du moteur pour déterminer les paramètres d'alerte que sont : la fumée abondante, les ratés de combustion, une perte de puissance du moteur, l'encrassement des injecteurs, des cylindres et des segments. Selon EDF R&D, les paramètres d'alerte de l'encrassement apparaissent entre 50 et 100 heures de fonctionnement du moteur. Lorsque ces paramètres d'alerte ne pourront pas être détectés, il s'agira d'un test de fonctionnement comme dans ce cas d'étude.

2.2. Résultats et discussions du volet technique

• Proportion des produits de décortiquage

La figure 2.17 présente la proportion des produits de décortiquage des fruits provenant de Parakou.

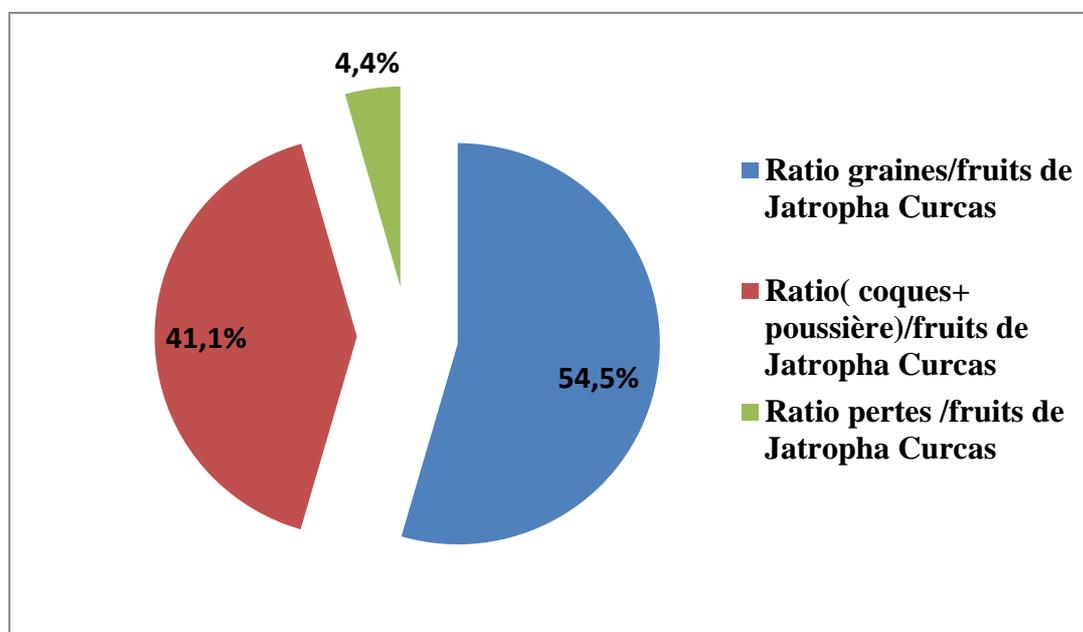


Figure 2-17 : Proportion des produits de décortiquage des fruits provenant de Parakou ; source Auteur (Benin 2013)

La figure 2.18 présente la proportion des produits de décortiquage des fruits provenant de Savalou.

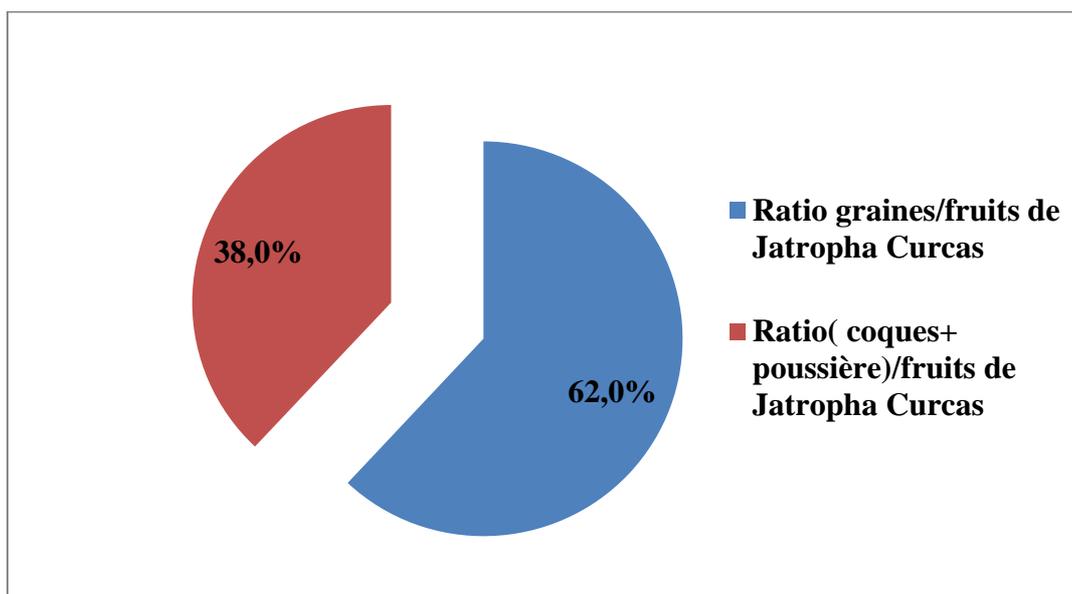


Figure 2-18 : Proportions des produits de décortiquage des fruits provenant de Savalou; source Auteur (Benin 2013)

La quantité de fruits de *Jatropha* reçue de Parakou présente un pourcentage de récupération en graines plus faible que celle de Savalou. Ceci est dû au fait que la quantité de fruits provenant de Parakou a été ramassée à même le sol tandis que celle provenant de Savalou a été cueillie sur l'arbre. C'est également pourquoi, le pourcentage de pertes dû au vannage (les particules fines à savoir la poussière sont transportées par le vent) constaté sur le stock de Parakou est élevé. Il est donc préférable de cueillir les fruits mûrs sur l'arbre, ce qui permet de réduire les dépenses liées au prétraitement des graines. Les ratios de récupération des graines restent assez proches de celle de la littérature ; ces ratios qui prennent en compte des réalités de terrain (type de cueillette, la méthode de dépulpage) aident à ne pas surdimensionner (pourcentage de récupération en graines est inférieur à 65%) les projets comme il a été constaté dans la sous-région.

- **Caractéristiques de pressage**

Le tableau 2.4 indique les caractéristiques de la presse :

Tableau 2-4 : Caractéristiques de la presse ; source Auteur (Benin 2013)

Intitulé	Valeurs
Teneur en eau(%)	10,5-14,28
Masse de graines pressées (Kg)	104,1
Température de l'huile pendant la phase de chauffage des barreaux (°C)	63,2
Température de l'huile pendant la phase de régime établi (°C)	47,2
Taux de tourteau (%)	80,8%
Rendement brut (%)	35,0%
Rendement net (%)	9,3%
Taux de recouvrement (%)	98,5%
Capacité horaire (Kg/h)	21,3
Consommation électrique (KWh)	19,6

- Il a été effectué 03 séances de pressage au total ([voire annexe 6](#)) et le tableau ci-dessus représente le récapitulatif de ces séances. Le taux de tourteau (80,8%) est trop élevé comparé à celui obtenu (65,9% (Adikpeto, 2011)) sur la même presse 2ans auparavant. Il est également plus élevé que celui obtenu par GERES Mali (2008), sur le même type de presse (58,5%). Ce qui laisse présager que soit la presse n'est pas maîtrisée (la presse n'est pas utilisée régulièrement ; le réglage de celle-ci n'est pas connu par le technicien ou que la presse a un dysfonctionnement qui mérite une maintenance) soit la teneur en eau reste élevé car celle recommandée pour un meilleur pressage est de l'ordre de 7 à 9%.
- La capacité horaire obtenue lors des pressages est également très bas comparée à celle prévue par les fabricants pour la presse (166 à 292Kg/h). Ce résultat est dû au fait que les quantités de graines pressées n'excède pas 50Kg à chaque séance. La capacité horaire de pressage obtenue ne serait fiable que si les quantités de graines pressées lors d'une séance soient en rapport avec la capacité de la presse prévue par les fabricants.
- La température d'extraction de l'huile (63,2°C en phase de chauffage des barreaux et 47,2°C en régime établi) reste dans la limite de température d'extraction pour minorer la teneur en phospholipides.

NB : La phase de chauffage des barreaux est le temps nécessaire aux tourteaux pour passer d'un bout à l'autre de la presse lors du début de pressage) et ce temps est estimé en moyenne à 33minutes.

- **Test de décantation**

Les photos ci-dessus prises à différentes dates indiquent les différents mélanges effectués. De la gauche vers la droite, il est disposé les mélanges de 10%, 20% et 30%. Chaque type de mélange est contenu dans 2 pots et exposés l'un à côté de l'autre.

1^{er} jour d'essai



3^{ème} jour d'essai



4^{ème} jour d'essai



6^{ème} jour d'essai



7^{ème} jour d'essai



15^{ème} jour d'essai





Figure 2-19 : Test de décantation ; source Auteur (Benin 2013)

On peut remarquer sur la photographie du 1^{er} jour, que l'huile de *Jatropha* et le gasoil sont parfaitement miscibles quelque soit le pourcentage en huile. Le mélange d'huile et de gasoil ne produit aucune phase distincte quelque soit le pourcentage du mélange. On remarque également que plus le pourcentage en huile est élevé plus la couleur s'éclaircit.

D'après les constatations effectuées sur ces photographies, la couleur de tous les mélanges s'assombrit au fil du temps. La couleur finale relevée de cet essai est celle du gasoil. Il n'y a donc pas la possibilité de distinguer une séparation de phase entre l'huile de *Jatropha* et le gasoil même s'il y a décantation de l'huile. Les particules fines contenues dans l'huile de *Jatropha* (l'huile purifiée n'a pas été conservée assez longtemps pour observer un dépôt de particules) et dans le gasoil ([annexe 7](#)) décantent en même temps que l'huile, ce qui provoque l'assombrissement de l'huile décantée au fond des différents pots. Le temps de décantation des différents mélanges se situe autour du 25^{ième} et 29^{ième} jour après la réalisation des mélanges. Par conséquent, il est préconisé que tout mélange effectué ne devrait pas excéder 21 jours soit 3 semaines avant son utilisation dans un moteur diesel ou tout moteur fonctionnant au mélange ne devrait pas rester plus de 3 semaines au repos.

- **Tests de performance**

La figure 2.20 indique l'évolution de la consommation horaire en fonction du taux de charge

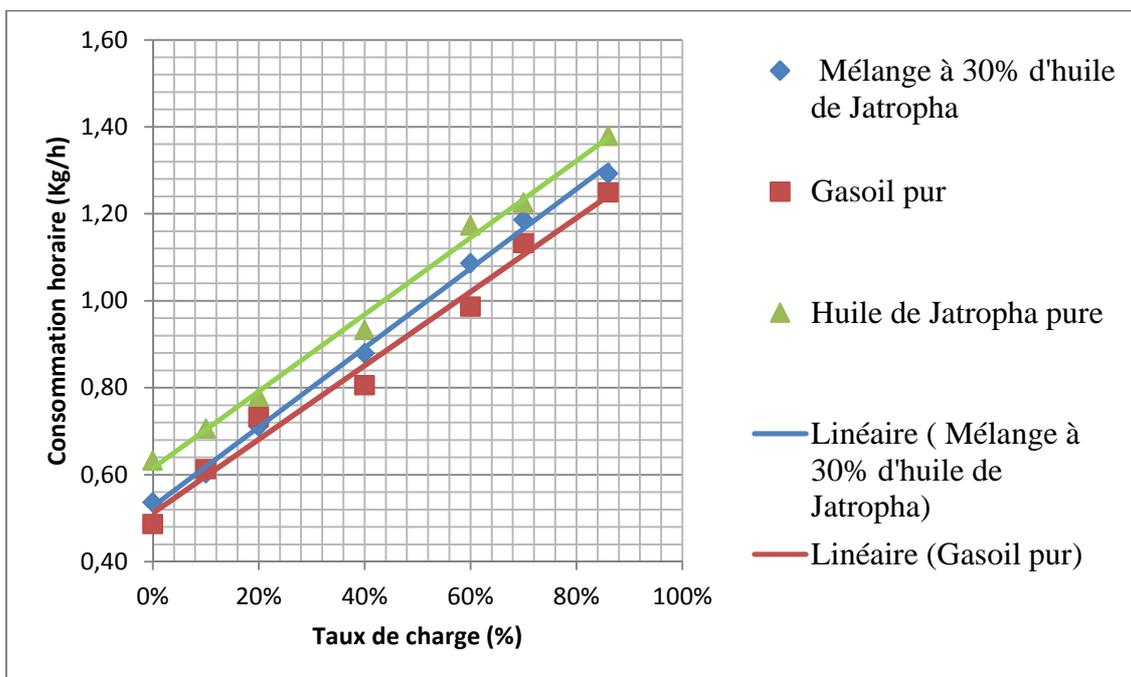


Figure 2-20 : Evolution de la consommation horaire en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)

- Il existe une relation linéaire entre l'évolution de la consommation horaire et le taux de charge. Les différentes droites qui matérialisent l'évolution de la consommation des différents carburants sont superposées en fonction de l'importance du PCI du carburant utilisé. Quelque soit la charge, le gasoil (avec un PCI de 43,8 MJ/Kg) présente la consommation la plus faible du moteur suivi du mélange (avec un PCI de 42,2 MJ/Kg) puis de l'huile végétale (avec un PCI de 38,9 MJ/Kg). Quel que soit la charge, la surconsommation en mélange est en moyenne de 4% et de 15% pour l'huile de *Jatropha* comparée à la consommation du gasoil.

La figure 2.21 indique l'évolution de la consommation spécifique en fonction du taux de charge :

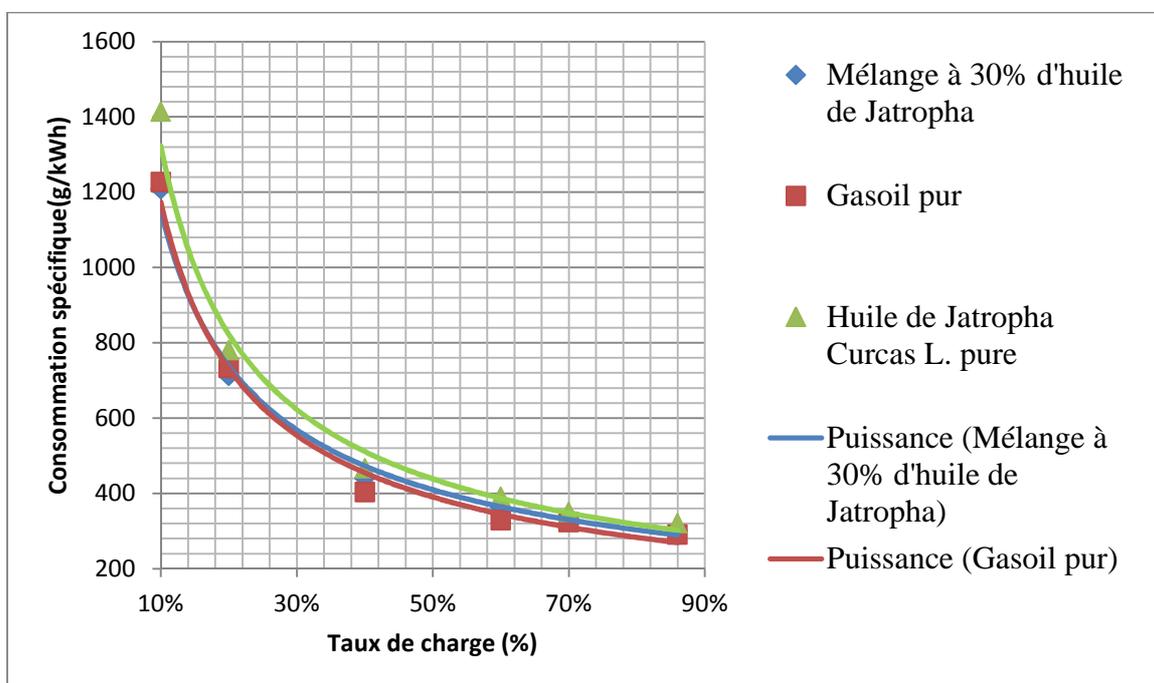


Figure 2-21 : Evolution de la consommation spécifique en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)

- La consommation spécifique des différents carburants décroît lorsque le taux de charge augmente. De 10 à 70% de charge, la décroissance de la consommation spécifique des différents carburants est abrupte. Au delà des 70% de charge, cette décroissance devient presque constante. Il faudra donc chercher à rester au-delà de 70% de charge en exploitation.
- La consommation spécifique du gasoil pur et celle du mélange sont presque égales quelque soit le taux de charge. Ceci est dû au fait que leurs pouvoirs calorifiques sont très proches. Par contre, il y a une légère surconsommation observée avec l'huile de

Jatropha comparée au mélange ou au gasoil pur. Cette surconsommation d'huile de *Jatropha* est en moyenne de 12% comparée au gasoil et de 8 % s'elle était comparée au mélange. Ces résultats sont vérifiés par l'étude de Blin, Daho, & Yao, 2009

La figure 2.22 indique l'évolution de la température des gaz d'échappement en fonction du taux de charge :

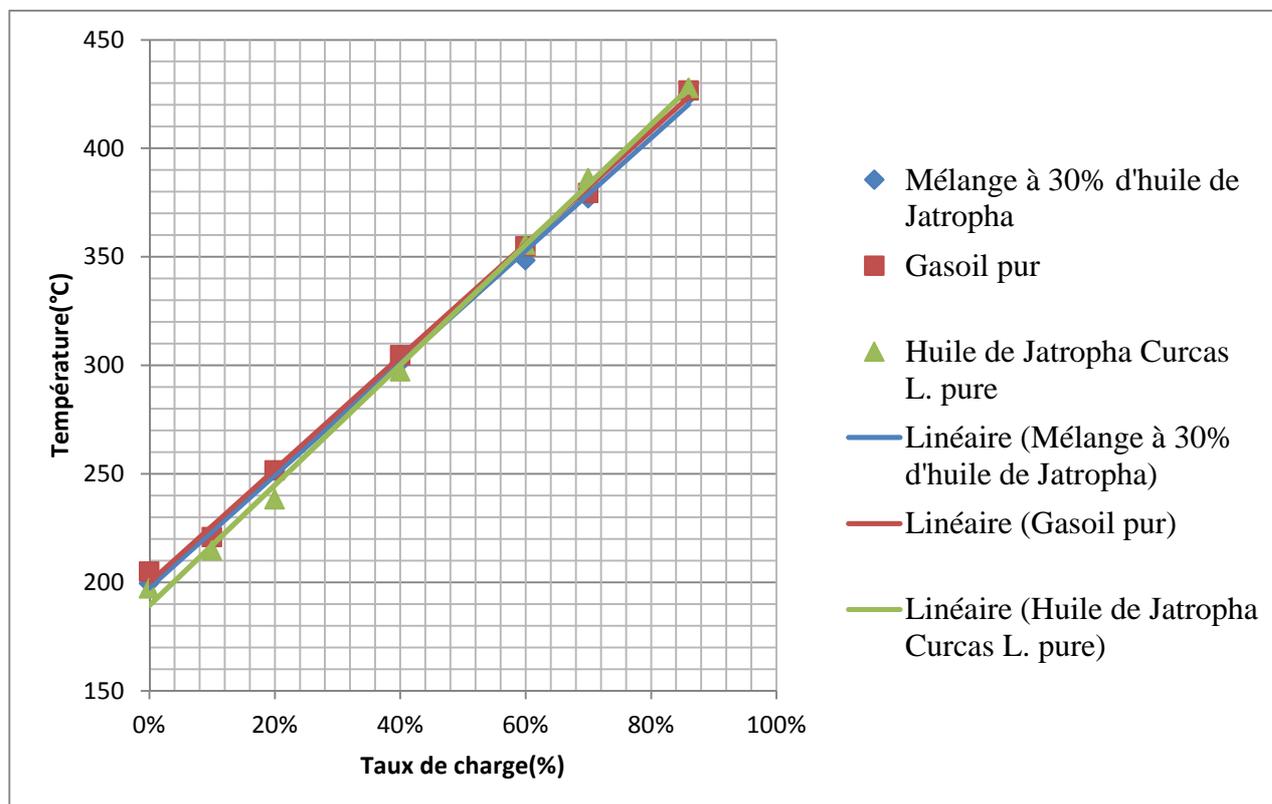


Figure 2-22 : Evolution de la température des gaz d'échappement en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)

- Quelque soit le carburant utilisé, il existe une relation linéaire entre l'évolution de la température des gaz d'échappement et le taux de charge. Aussi il est à noter qu'à chaque charge, les températures des gaz d'échappement sont très proches. Selon cette figure, il ne peut pas être conclu si la température des gaz d'échappement est liée à la nature du carburant utilisé.

La figure 2.23 indique l'évolution du rendement global en fonction du taux de charge

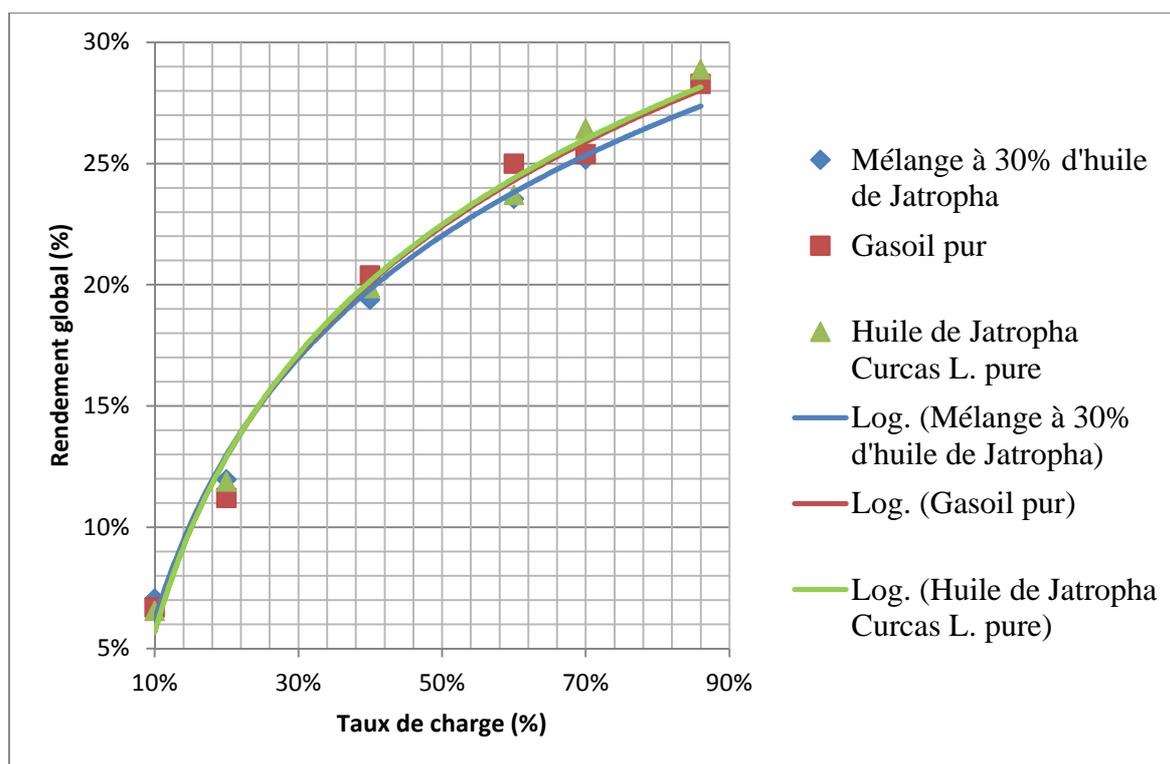


Figure 2-23 : Evolution du rendement global en fonction du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)

- Quelque soit le carburant utilisé, le rendement global croît avec la charge. Egalement à chaque taux de charge, les rendements globaux sont approximativement égaux.
- Vu l'allure des courbes de tendance, on peut affirmer qu'à charge maximale le rendement global n'excède pas 31% car comme le notent Azoumah, Blin, & Daho, 2009, ce rendement décroît légèrement à partir de 90% de charge.
- En combinant les résultats obtenus de la consommation spécifique et ceux de l'évolution du rendement global, le moteur présente de meilleures performances (consommation en carburant et rendement global) de fonctionnement au-delà de 70% de charge, et ce quelque soit le type de carburant utilisé.

La figure 2.24 indique l'évolution du rendement du moteur en fonction de la température des gaz d'échappement

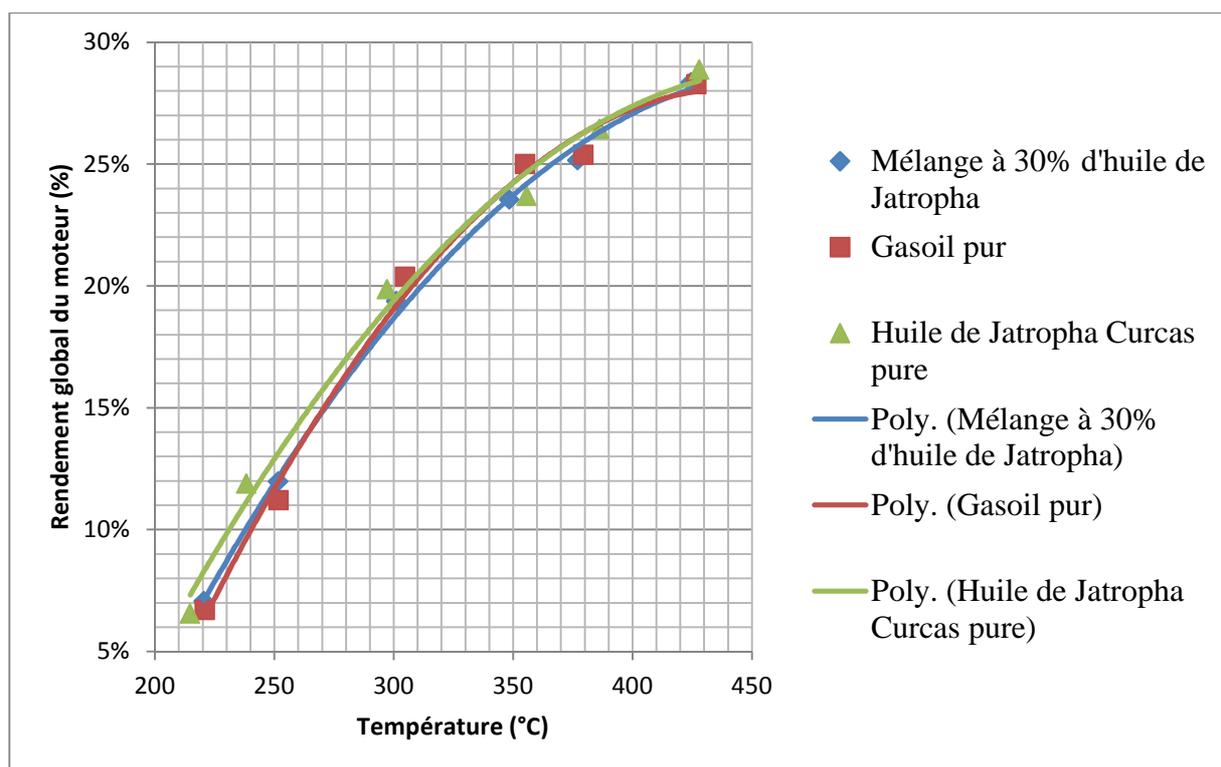


Figure 2-24 : Evolution du rendement du moteur en fonction de la température des gaz d'échappement; source Auteur (Benin 2013)

- Comme on peut le remarquer sur cette figure, le rendement global varie fortement avec la température de la chambre de combustion. Ce résultat est le même observé pour tous les carburants.
- Il y a une meilleure conversion énergétique lorsque la température de la chambre de combustion est élevée. Or la température des gaz d'échappement est intrinsèquement liée au taux de charge. Ce résultat confirme la conclusion tirée ci-dessus à savoir que le moteur présente de meilleures performances (consommation en carburant, rendement global, meilleure conversion énergétique) lorsque le taux de charge se situe au-delà de 70% de charge.

En considérant le seul aspect qu'est la performance, le moteur présente de meilleurs indices de performance au-delà de 70% de sa charge maximale quelque soit le carburant utilisé. S'il était pris en compte l'aspect environnemental, il conviendrait alors de déterminer la plage des taux de charge qui permettraient non seulement de minimiser la production de polluants (cas du mélange et du gasoil pur) mais également de conserver de bons indices de performance. L'analyse des polluants émis lors de l'utilisation du mélange et du gasoil n'a cependant été effectuée au cours de notre étude.

- **Tests de fonctionnement**

La figure suivante indique l'évolution de la température en fonction du taux de charge :

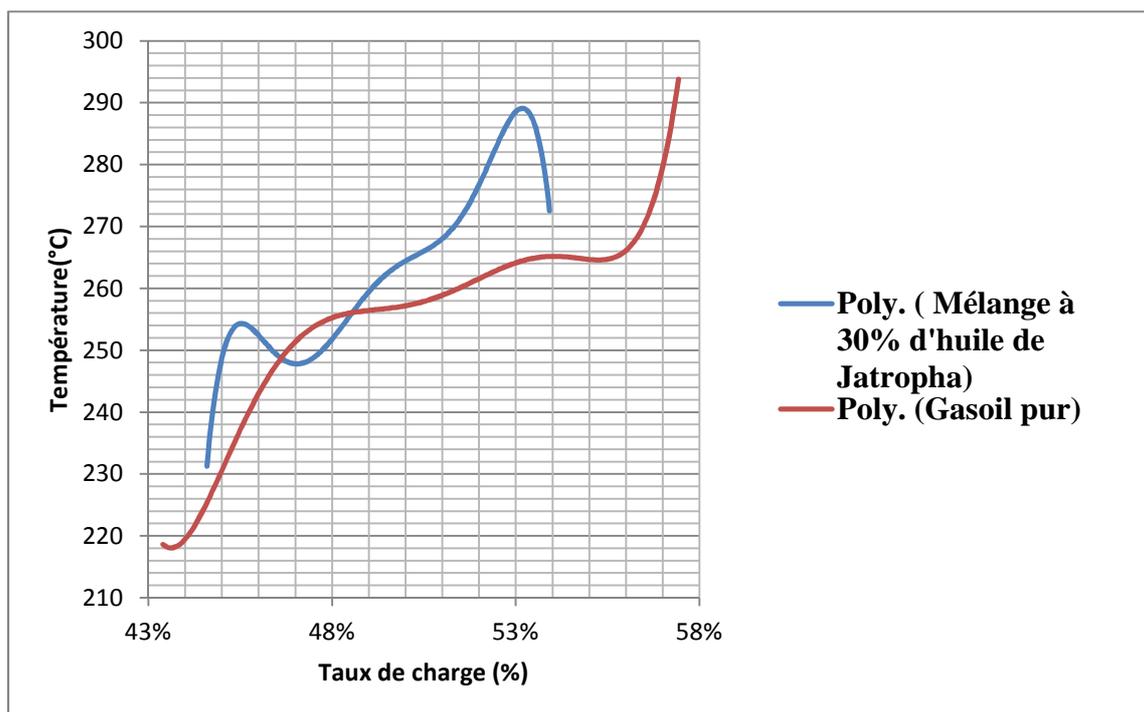


Figure 2-25 : Evolution de la température de la chambre de combustion en fonction de la variation du taux de charge; source Auteur (Benin 2013)

- Durant tout le long des tests d'endurance, le taux de charge du moteur a fluctué entre 43 et 58% de la charge du moteur quelque soit le carburant utilisé. Cette fluctuation est due au fait que l'appel en puissance du moteur asynchrone varie fortement suivant que la scie couplée au moteur tourne à vide, coupe une bûche de bois ou en encore que la scie soit bloquée pendant qu'elle est entrain de couper une bûche de bois. Mais ce qui a pu être constaté c'est que le taux de charge est compris entre 43 et 46% quand la scie tourne à vide et lorsqu'elle coupe une bûche de bois ou qu'elle est bloquée, le taux de charge est compris entre 46 et 58%. Ici les nuages de points sont surtout dues au manque de stabilité de la charge et donc des conditions de fonctionnement moteur. En regardant ce graphe, il peut être conclu que la mesure de température en fonctionnement réel sera très chahutée.
- Egalement il y a une plus grande accumulation de points entre 43 et 55% de la charge, la puissance de fonctionnement normal du moteur asynchrone devrait être comprise entre 2,15 et 2,75KW. Cette puissance est largement en dessous de la puissance nominale indiquée sur sa plaque signalétique.

- Tout comme pour les tests de performance, durant des tests d'endurance la température de la chambre de combustion croît également avec le taux de charge. L'ordre de grandeur constatée pour la température des gaz d'échappement est le même pour le gasoil et pour le mélange.

Le rendement global pour chaque carburant varie fortement pour chaque 10KWh électrique produit. Lorsque la consommation spécifique est basse (inversement élevée), le rendement est meilleur (inversement médiocre). Ce résultat est présenté dans la figure suivante :

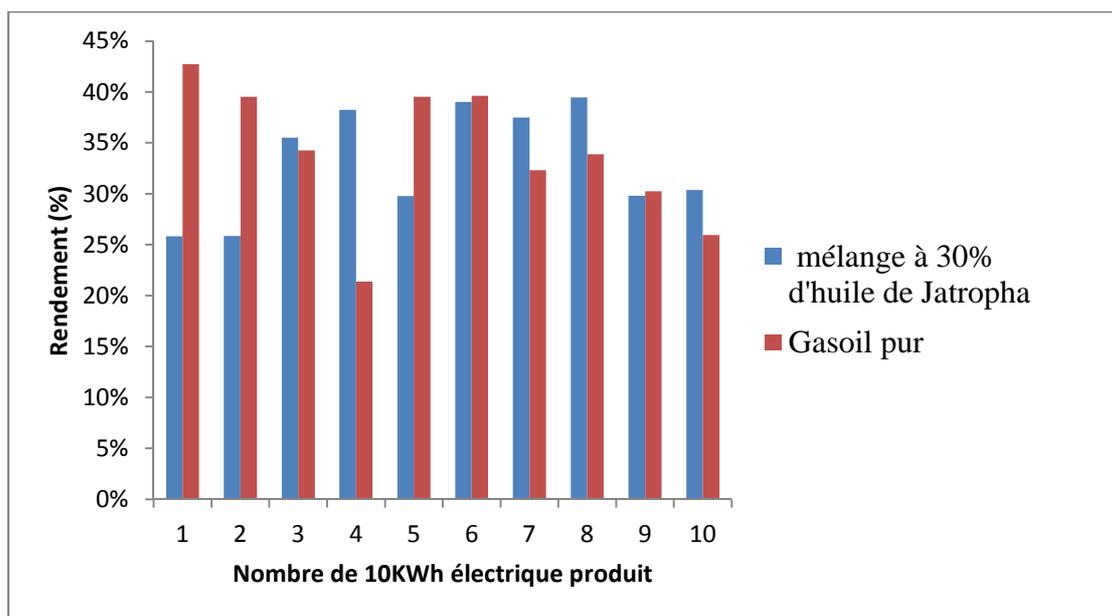


Figure 2-26 : Variation du rendement global pour chaque 10KWh; source Auteur (Benin 2013)

- On enregistre un rendement global moyen de 33,1% pour le mélange à 30% d'huile de *Jatropha* et un rendement de 33,9% pour le gasoil pur.

De façon générale, au cours des tests de fonctionnement, la moyenne de la consommation spécifique du mélange (263,86g/kWh) est supérieure à celle du gasoil pur (252,55g/kWh). Ce qui est dû à la différence de pouvoir calorifique.

Rappel : La période d'essai (40heures ont été fixées par la quantité d'huile disponible) est assez courte pour effectuer des tests d'endurance sachant que la période minimale observée pour un test d'endurance est de 50heures pour observer les paramètres d'alerte de fonctionnement du moteur.

3. Hypothèses pour l'évaluation économique de la filière

Jatropha

La plupart des hypothèses considérées pour cette évaluation économique proviennent des habitudes de travail du centre Songhaï (centre spécialisé dans l'agriculture) sauf indications contraires.

3.1. Rentabilité économique

Dans l'optique d'une estimation de la rentabilité de la filière de production de *Jatropha*, il sera évalué tout d'abord les investissements de départ pour la plantation ; ensuite les facteurs de production annuelle pour le suivi de cette plantation et enfin le prix de revient du kilogramme de graines et du litre d'huile pure de *Jatropha*.

Aussi il sera question dans un second temps d'évaluer le prix du kilowattheure électrique produit à partir du gasoil et du mélange.

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour le calcul de rentabilité économique :

- Pour un champ de *Jatropha* d'1 Ha, il est compté un espacement entre les pieds de 3m×4m soit 830 pieds. (Domergue & Pirot, 2008)
- Les Hj (Homme-jour) sont des journées de 8heures d'un seul homme. (Source : Communication orale Songhaï)
- Le salaire minimum de base au Benin est de 32 000FCFA par mois, soit 1146 FCFA/jour. (Source : Communication orale Songhaï)
- Les besoins énergétiques couverts par l'huile de *Jatropha* sont de 30% des sites Songhaï de Parakou et de Savalou ([voire annexe 8 les postes de grandes consommations des deux centres](#)) car le but recherché est d'atteindre un système modulaire et multidimensionnel de gestion de la production d'énergie à l'intérieur du centre. Par conséquent sur le site de Parakou, il sera produit annuellement 10800 litres d'huile de *Jatropha* et 9000 litres sur le site de Savalou. (Source : Comptabilité du Centre Songhaï.)
- Il n'est pas pris en compte de marge bénéficiaire dans le calcul de rentabilité ni de taux d'actualisation du matériel.

3.2. Investissement de départ

- **La plantation**

✓ *Première technique recommandée : pépinière et repiquage*

L'une des techniques recommandée par le Centre Songhaï (Savalou) est de faire une pépinière et de repiquer au début de la saison des pluies. Cela permet de mieux réussir la germination selon les propos recueillis sur le site.

Le temps de travail se décomposera alors comme suit :

Il faut créer une planche 8,3 m² pour 830 pieds à raison d'un espacement de 10 cm entre chaque pied. Ce qui représente une journée de travail d'une durée de 8 heures. (Source : Songhaï). Ensuite un entretien de 3 heures par jour (Source : Communication orale Songhaï) est consacré à la planche et ce pendant 2 mois, cela consiste à désherber et à arroser les plants. Le temps consacré à l'entretien de la planche est de : $(3 \times 30 \times 2)/8 = 22,5$ Hj. En conclusion le temps total consacré à la pépinière est de : $22,5 + 1 = 23,5$ Hj $\cong 24$ Hj.

Le repiquage s'effectue en plusieurs étapes : trouaison, fumure, plantation et un arrosage ponctuel. Il est estimé à 24Hj le temps de travail consacré au repiquage des 830 plants. (Allard, 2010)

Le temps total consacré à la plantation et à la pépinière est de 48Hj soit un temps de 28 minutes consacré à chaque pied de Jatropha.

Il est conseillé de faire un labour qui est effectué avec un tracteur. Le personnel pour le labour est estimé à 0,25Hj. Le labour avec le tracteur (y compris le gasoil) est évalué à 30000FCFA/Ha.

✓ *Deuxième technique recommandée : Semis direct*

La seconde technique recommandée par le centre Songhaï (Parakou) est le semis direct qui est effectué au début des saisons pluvieuses. Il consiste en un labour et un semis en ligne. Le temps rapporté sur le terrain est estimé à 2Hj/Ha si le travail est effectué manuellement. Par contre si le labour est effectué par le tracteur il nécessite une personne et le labour de 5Ha s'effectue en 8heures de travail. Le semis en ligne est également effectué par le tracteur et nécessite le même temps de travail. Le semis avec le tracteur (y compris le gasoil) est évalué à 30000FCFA/Ha et est recommandé lorsque la surface cultivable est supérieure à 1ha. Le nombre de plants par Ha est également estimé à 830 plants.

❖ *Infrastructures*

Un hangar couvert par une bâche en plastique est à prévoir pour l'ombrage de la planche dans le cas de la plantation après repiquage. Le manque d'infrastructures pour le séchage et le stockage représenterait un problème si la production venait à s'accroître. Il est cependant recommandé de bien sécher les graines et de les stocker dans un endroit sec et aéré pour éviter

d'altérer l'état des graines. Il est préférable de planifier une aire de séchage à l'ombre et à l'abri de la pluie. Pour 40 à 60 kg de graines, une aire de séchage de 1,5 à 2 m² serait mieux adaptée. Selon Allard (2010), 2 m² d'abri serait suffisant pour le séchage de 50 à 60Kg de graines.

Remarques : Dans ce cas d'étude sur les sites Songhaï, les propos recueillis sur le terrain sont la base des hypothèses considérées pour l'évaluation de la rentabilité économique qui sont :

- Deux types d'implantation sont adoptés : plantation via pépinière et le semis direct.
- Les fruits ou les graines sont séchés à l'air libre (si possible) sur une toile cirée en plastique dont le coût du mètre est de 250FCFA. Cette toile cirée pour 1 mètre vendu couvre 1,5m². Elle peut servir pour 4 récoltes avant renouvellement.

Pour l'étude de la rentabilité économique, il ne sera considéré que les données essentielles nécessaires au démarrage effectif de la plantation. Le tableau suivant résume donc les frais d'investissement :

Tableau 3-1 : Récapitulatif des dépenses liées à la plantation ; source : Auteur (Benin2013)

Activité/ matériel	Coût des activités/matériels en FCFA
Plantation via pépinière + entretien (FCFA/Ha)	55008
Semis direct (FCFA/Ha)	2292
Labour avec tracteur (y compris le gasoil) (FCFA/Ha)	30000
Toile cirée pour le séchage (FCFA/m ²)	167
Magasin de stockage des graines (FCFA/m ²)	30 000

❖ *Coût de revient du suivi de la culture*

Vu l'âge des plantations (3ans pour chaque site) des centres Songhaï, aucun itinéraire technique ([voire annexe 9 pour le suivi de plantation proposé](#)) n'a été mis en place pour le suivi des plantations. Mais il sera proposé un suivi de plantation compte tenu des priorités du Centre :

Pas de fertilisation, des soins phytosanitaires si nécessaires, 3 sarclages la première année et 2 les années suivantes, une taille par an et ne débutant que la 2^{ième} année, et enfin 2 récoltes par an avec 04 séances de récolte durant cette année.

❖ *Sarclage*

Le temps de sarclage s'élève en moyenne à 9Hj/ha à chaque passage, soit 27Hj/ha pour la première année et de 18Hj/ha les années suivantes.

❖ **Taille**

La taille devrait commencer dès la 2^{ème} année et nécessiterait 2,1Hj/ha (2^{ème} et 3^{ème} année). La taille sera effectuée à la période où les pieds ont perdu les feuilles.

❖ **Soins phytosanitaires**

Aucun soin phytosanitaire n'a été apporté aux différentes plantations. Il a été réalisé un recepage afin d'endiguer la progression des cochenilles farineuses sur le site de Parakou. Le temps consacré à cette taille est de 2,1Hj/ha.

❖ **Récolte**

La récolte sur les sites s'étale de fin novembre à Janvier et de juillet à Août. Il est estimé une récolte en 4 temps par an qui se fera dans la mesure du possible par cueillette. La récolte s'effectue lorsque les fruits ont une couleur brune. Le temps de récolte est estimé à 9,5Hj pour un ha produisant 0,104T de fruits qui est le rendement observé sur 2 récoltes successives durant la troisième année sur le site de Savalou sachant qu'il peut y avoir 4 ou plus séances de récoltes/an. (Source : Communication orale centre Songhaï sites de Savalou et Parakou). Par proportionnalité, il est obtenu 56Hj/ha pour un rendement de 1T/Ha. Les projets ALTERRE et SETUP prévoient 55Hj/Ha pour un rendement de 2T/Ha. Selon Allard (2010) au Mali dans la région de Teriya Bugu, il estime un temps de récolte de 28Hj/Ha pour un rendement 0,5T à l'Ha et 55Hj/Ha pour un rendement de 1T/Ha.

Le tableau suivant résume les dépenses liées au suivi de la plantation :

Tableau 3-2 : Récapitulatif des dépenses liées au suivi de la plantation ; source : Auteur (Benin2013)

Activité/Matériel	Coût des activités/matériels en FCFA
Sarclage (FCFA/Ha)	25785
Taille (FCFA/Ha)	2410
Recepage (FCFA/Ha)	2410
Récolte (FCFA/Ha)	10890

✓ **Coût de revient de postproduction**

❖ **Le séchage des fruits**

Il est nécessaire de sécher les fruits avant le dépulpage. Ce qui facilite le dépulpage quelque soit la méthode utilisée. Le temps de référence considéré est de 1Hj/Tonne. (Allard, 2010).

Les chaleurs de fumées d'un moteur dans un tunnel de séchage pourraient être utilisées pour le séchage des fruits tout comme cela peut se faire pour le cas du séchage de graines.

❖ *Le dépulpage*

Le dépulpage peut s'effectuer de différentes manières : manuellement, par pilon et vannage (séparation des graines et de la pulpe à l'aide du vent) et à la décortiqueuse. Le temps de décorticage manuel est estimé à 1,4Kg/personne/heure et à 4,4 Kg/personne/heure le décorticage par la décortiqueuse d'après les données des tests. Après décorticage des 0,17T de graines, il est obtenu 0,052T de graines, soit 30% de la masse initiale de fruits secs. Mais la rentabilité économique sera évalué pour une production allant jusqu'à 2T/ha/an qui est le rendement maximal présagé par les projets ALTERRE et SETUP (Bruggeman, Fakambi, Fauveaud, & Liagre, 2010) dans les zones du Mali et du Benin. Ce qui justifie cette approche, ce sont les manques de données concernant les projets *Jatropha* au Benin plus précisément dans les zones de Savalou et de Parakou.

❖ *Le séchage des graines*

Le séchage des graines consiste à étendre les graines dans l'espace dédié au séchage et de les y laisser 3 à 7jours. Tout comme le séchage des fruits, le temps de référence considéré est de 1Hj/Tonne. (Allard, 2010)

❖ *Le stockage*

Les coûts de stockage se limitent à celui des sacs soit 150FCFA pour un sac de 50Kg dans lequel on met 28Kg de graines de *Jatropha*, donc un total de 5,5FCFA/Kg soit 286FCFA/Ha. (Rendement de 0,104T/Ha de graines lors de la troisième année pendant 2 récoltes successives sachant que par an il peut y avoir 4 récoltes sur les mêmes portions de terre). Les sacs ayant servi pour la première récolte serviront également pour la 2nd récolte.

❖ *Le transport*

Il a été développé un scénario de prise en compte du transport des graines vers le centre de Porto-Novo en considérant que la production en graines des 2 centres (Savalou et Parakou) doit être pressée et filtrée au centre de Porto-Novo car la presse *Jatropha* est sur le site de Porto-Novo. Suivant le principe de fonctionnement du centre Songhaï, un camion de capacité 30Tonnes quitte le centre de Porto Novo avec de la matière première pour approvisionner les centres de Savalou ou de Parakou. Une rotation prendra en compte le transport aller des graines vers le centre de Porto-Novo et le transport-retour de l'huile vers les centres de

Parakou et de Savalou. Cette rotation ne coûtera que le prix d'un aller simple. La distance séparant Porto-Novo de Savalou est de 300Km et celle séparant Porto-Novo de Parakou est de 485Km. Le prix de transport de ce camion de capacité de 30Tonnes à l'interne est de 350FCFA/Km (y compris le gasoil).

Le tableau suivant résume les dépenses liées à la postproduction des graines de *Jatropha*:

Tableau 3-3 : Récapitulatif des dépenses liées à la post production ; source : Auteur (Benin2013)

Activité/Matériel	Coût des activités/matériels en FCFA
Séchage des fruits (FCFA/T)	1146
Dépulpage (FCFA/T)	260455
Séchage des graines (FCFA/T)	1146
Stockage des graines (FCFA/T)	5500
Transport (FCFA/Km)	350

Ces différentes données ont permis de calculer le prix du kg de graines de *Jatropha*. En plus de cela, il a été envisagé 2 scénarii qui sont les suivantes :

- Les graines sont vendues et/ou exploitées directement sur les sites de production. Les sites de Savalou et de Parakou sont les lieux de production.
- Les graines sont transportées pour être vendues sur le site de Porto Novo suivant le principe de fonctionnement du centre Songhaï décrit ci-dessus
- **Coût de revient de la production de l'huile**

Une fois les graines conditionnées, la phase de production peut donc débuter. La production regroupe le pressage, la décantation, la filtration et le stockage de l'huile purifiée.

- Le pressage a été effectué par une presse mécanique motorisée qui représente le gros investissement de départ concernant le pressage. La puissance du moteur de la presse est de 11KW et la capacité de pressage considérée est celle obtenue lors des essais de pressage qui est en moyenne de 21,3Kg/heure dans le cas où la quantité de graines est inférieure à la capacité horaire de la presse (166 à 212 Kg/h). L'énergie électrique nécessaire pour le pressage de 21,3Kg est de 11KWh. Le prix du KWh est de 115FCFA pour des consommations électriques supérieures à 250Kwh. Par conséquent la facture électrique pour traiter 21,3Kg est de 1265FCFA. Il est considéré un prix d'électricité de 5939 FCFA/100Kg de graines pressées. Le temps total de travail consacré au pressage est d'environ 12Hj/tonne de graines. Lorsque la quantité de graines à presser est supérieure à la capacité horaire de la presse, la capacité de pressage considérée est de 203Kg/heure (en comparaison avec une presse similaire

utilisée pour l'extraction de l'huile de Soja au sein du centre Songhai) et le prix de l'électricité est 6232 FCFA/Tonne. Le temps de travail ne varie pas. Pour les essais de pressage effectué, il a fallu 8,9Kg, pour produire 1litre d'huile purifiée de Jatropha. Ce mauvais rendement est sans doute dû au fait que la quantité de graines pressées est inférieure à la capacité de la presse. Il sera donc considéré un rendement de 5,5Kg/litre d'huile purifiée. (Adikpeto, 2011)

- L'huile brute obtenue après le pressage est laissée pour décantation qui dure 3 semaines. L'huile brute est stockée dans des seaux de contenance 30 litres et qui coûtent 1400 FCFA l'unité en interne. La surface au sol d'un de ces seaux est de 0,16m². Les seaux ne sont plus efficaces pour des grandes productions, il faudrait passer à des barriques dont la capacité unitaire est de 300L et coûte 10000 FCFA. Le lieu de stockage de cette huile pour la décantation est le même que celui de l'huile purifiée. La surface au sol d'une de ces barriques est de 0,5m². Il est à préciser qu'il n'est prévu aucun lieu de stockage de l'huile purifiée.
- La filtration se fait par un pagne filtrant appelé "*guihuivo*" qui coûte 600FCFA par mètre. La filtration se fait à 3 niveaux et la longueur de pagne nécessaire pour une filtration complète est de 1,5 m. Ce pagne pourrait être utilisé 8 à 10 fois d'affilé avant nettoyage et la quantité totale d'huile brute traitée est d'environ 300Kg. Le temps de travail observé pour filtrée 12Kg d'huile brute est 0,04Hj. Au total, on aboutit à 1,2Hj/tonne de graines comme temps de travail.
- Il y a 2 récoltes par an, et il est considéré qu'à chaque récolte la moitié de la production est cueillie. Vu les activités du centre, il est possible de s'approvisionner directement en seaux opaques de 30 litres pour le stockage car le centre fabrique des seaux. Lorsqu'un seau ou une barrique d'huile brute est filtré, la quantité d'huile purifiée résultant de la filtration remplace le seau ou la barrique d'huile brute dans l'espace de stockage. Aussi deux seaux seront superposés l'un sur l'autre afin d'économiser l'espace disponible. Par conséquent 60litres occuperont un espace de 0,16 m² lorsqu'il s'agit des seaux et 0,5m² pour les barriques de 300litres. La surface du lieu de stockage d'après les hypothèses ci-dessus emmène à considérer 0,5m² pour le stockage d'une récolte de 1tonne/Ha/an dans le cas du stockage avec les barriques et 0,8m² pour le stockage avec les seaux. Tout comme dans le cas de la décantation, les seaux ne sont plus efficaces pour des grandes productions. Il sera étudié la rentabilité économique des deux types de stockage. Le tableau suivant indique le récapitulatif des dépenses liées à la production de l'huile :

Tableau 3-4 : Récapitulatif des dépenses liées à la production de l'huile ; source : Auteur (Benin2013)

Activité/Matériel	Coût des activités/matériels en FCFA
Presse à vis et à barreaux de capacité 166 à 212 Kg/h (FCFA)	4 000 000
Coût de l'installation de la presse (Prise en compte de l'annuité due à l'installation de la presse) (FCFA)	1 500 000
Maintenance annuelle de la presse (FCFA)	400 000
Pressage (FCFA/T)	6232
Personnel pour le pressage (FCFA/T)	13752
Seaux ou barriques pour décantation et stockage (FCFA/1000l)	33334
Filtration (FCFA/T)	1375
Pagne filtrant (FCFA/m)	600
Magasin de décantation et de stockage (FCFA/m ²)	30000

Le temps d'amortissement de la décortiqueuse est de 3 ans, celui de la presse est de 8 ans, et enfin celui de la construction (salle de la presse (Adikpeto, 2011) pour la presse est de 20ans. Une autre hypothèse est la suivante : lorsque la rémunération annuelle estimée en Hj pour le personnel (dans le cas du pressage et de la filtration) excèdera 770 000 FCFA, on embauchera 2 personnes à temps plein (02 manœuvres) dont la rémunération totale annuelle est de 770 000FCFA.

3.3. Les gains pour le projet *Jatropha*

Les crédits carbones

Des projets de développement de la filière de *Jatropha* à travers le monde ont reçu des subventions sous forme de crédit carbone en proportion du carbone séquestré par les arbustes. A titre d'exemple la société Carbon2Green a signé une entente avec un partenaire local au Mali en 2008 sur un projet de plantation de *Jatropha* sur une superficie de 14000Ha. Mais il serait tout de même hasardeux de prendre en compte ce gain dans le calcul de rentabilité car l'obtention de crédits carbone est difficile à obtenir. (Allard, 2010)

3.4. Evaluation du Kilowattheure électrique

En évaluant le prix du générateur à 900 000FCFA, le prix des différentes maintenances annuelles à $1/25^{\text{ième}}$ du coût d'achat (communication orale Songhaï, 2013), la consommation spécifique considérée est celle obtenue lors des essais d'endurance. Il sera considéré un temps de fonctionnement de 6heures en moyenne par jour comme lors des essais d'endurance, et ce

sur 335 jours ouvrés par an. Egalement il sera pris 5 ans pour l'amortissement du générateur, 620FCFA pour le prix du litre de gasoil à Savalou et à Parakou et 502 FCFA pour le litre de gasoil à Porto-Novu. Sur la base de ces considérations, il sera évalué le prix du mélange et le prix du kilowattheure électrique produit avec le mélange et le gasoil.

Le tableau suivant récapitule les dépenses liées à la production d'électricité :

Tableau 3-5 : Récapitulatif des dépenses liées à la production d'électricité ; source : Auteur (Benin2013)

Activité/ matériel	Coût des activités/matériels en FCFA
Générateur (FCFA)	900 000
Maintenances annuelles (4% du coût d'achat) (FCFA)	36000
Prix du litre de gasoil (FCFA/l)	620

3.5. Résultats et discussions du volet économique

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

Les différentes modifications effectuées sur le moteur concernent la réalisation du kit de bicarburation à basculement manuel confectionné avec des moyens locaux. Le bilan des dépenses faites lors de cette réalisation est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3-6 : Récapitulatif des achats liés au kit de bicarburation ; source : Auteur (Benin2013)

Pour le générateur diesel de 5 kW

	Composantes	Nombre	Prix unitaire	Total/ Composantes
Réalisation d'un Kit de bicarburation	Mètre de durite 8mm	2	350	700
	Mètre de tuyau en cuivre 15/12	2	3000	6000
	Pré-filtre gasoil	2	500	1000
	Petits colliers	15	50	750
	Vanne d'arrêt 15/15	2	2000	4000
	Mamelon 15/15	4	1000	4000
	Embout 15/12	4	700	2800
	Té 15/15	1	400	400
	Téflon	2	250	500
	Support + vis	1	500	500
	Soudure du système d'échange de chaleur	1	8000	8000
			TOTAL (FCFA)	28 650

Le coût de réalisation du kit de bicarburation s'élève à 28650FCFA. Selon (Adoum Mahamat, 2010), cette technologie (Kit de bicarburation à basculement manuel réalisé dans son étude s'élevait à 72 800FCFA et avait été monté sur un moteur Rhino dont la puissance de l'alternateur associé était de 10KVA.) est moins onéreuse que celle commercialisée en Europe et est dans le pouvoir d'achat des paysans en zones rurales. Le prix de ce kit de bicarburation devrait varier avec la technologie et la puissance du moteur.

Un kit de bicarburation a été installé sur le moteur afin d'effectuer les tests de performances et d'endurance sur celui-ci en fonctionnement à l'huile de *Jatropha* Mais vu que la quantité d'huile était vraiment limitée, seuls les tests de performances ont pu être effectués à l'huile de *Jatropha*.

- **Coût de revient du kilogramme de *Jatropha***

Tous les prix de revient du kg de graines de *Jatropha*, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh selon les hypothèses de production sur site de production et sur le site de Porto-Novo constituent un premier scénario.

Le tableau 3.7 donne le prix de revient du kilogramme de graines en fonction des hypothèses de rendements sur le site de Savalou et à Parakou.

Tableau 3-7 : Prix de revient du kilogramme de graines en fonction des hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Prix de revient du kg sur site de production (FCFA) à Parakou	698	335	220	182	163	134
Prix de revient du kg sur site de production (FCFA) à Savalou	710	340	223	184	164	135

On remarque que, plus le rendement à l'hectare croît, plus le prix de revient du Kg de graines baisse. Le prix de revient du Kg obtenu à un rendement de 2T/Ha/an reste tout de même élevé comparé à celui obtenu sur la base de simulation des projets ALTERRE(Mali) et SETUP(Benin) qui était de 50FCFA en 2007 (Bruggeman, Fakambi, Fauveaud, & Liagre, 2010). Ce prix n'était malheureusement pas attrayant pour les paysans. Par conséquent les prix réellement pratiqués sur le marché étaient de 75 à 80FCFA en 2007 au Benin. Et maintenant en 2013, le prix du Kg de graines sur le marché est compris entre 200 et 400FCFA selon la communication orale GERES Benin (Houenou Christian). Mais le GERES Benin tente actuellement un accord avec les paysans afin que ce prix n'excède pas 125FCFA. Les prix obtenus à la suite de cette étude pour des rendements de plantation compris entre 0.25 et 2T/Ha/an restent dans la fourchette de prix pratiqués sur le terrain.

À l’instar de la présente étude où le seul acteur est le centre Songhaï, ces projets visent à promouvoir les agrocarburants de proximité à travers un nombre limité d’acteurs s’inscrivant dans un même tissu économique et social à l’échelle d’un territoire restreint et intervenant dans les trois fonctions principales de la filière à savoir la production des graines de *Jatropha*, l’extraction d’huile et enfin la prestation de services énergétiques ou la fourniture d’une électricité bon marché. Il faudrait amoindrir le temps de travail lié à la plantation pour un rendement de 2T/Ha/an afin de pratiquer des prix au Kg plus bas que celui du marché. L’investissement initial du matériel reste acceptable mais selon les hypothèses envisagées ci-dessus pour le même rendement.

- **Evaluation de la surface de plantation et du prix de revient des graines, d’huile de *Jatropha*, du Kilowattheure électrique selon différents scenarii**

Les tableaux 3.8 et 3.9 indiquent les surfaces nécessaires, les prix de revient du litre d’huile de *Jatropha* et des prix de revient du mélange en fonction des rendements observés sur les plantations de Parakou et de Savalou

Tableau 3-8 : Evaluation de la surface nécessaire pour répondre à 30% des besoins énergétiques du site de Parakou, évaluation du prix de revient du litre d’huile et du litre de mélange selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Surface nécessaire à la plantation (Ha)	571	238	119	79	59	30
Prix de revient du litre d’huile(FCFA)	4319	2323	1691	1481	1375	1217
Prix de revient du litre de mélange (FCFA)	1730	1131	941	878	846	799

Tableau 3-9 : Evaluation de la surface nécessaire pour répondre à 30% des besoins énergétiques du site de Savalou et évaluation du prix de revient du litre d’huile selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Surface nécessaire à la plantation (Ha)	476	198	990	66	50	25
Prix de revient du litre d’huile(FCFA)	4464	2429	1784	1569	1460	1299
Prix de revient du litre de mélange (FCFA)	1773	1163	969	905	872	824

Les figures 3.1 et 3.2 indiquent la répartition des dépenses liées à la production d’un litre d’huile pour un rendement de 0,5T/ha /an sur Parakou et Savalou :

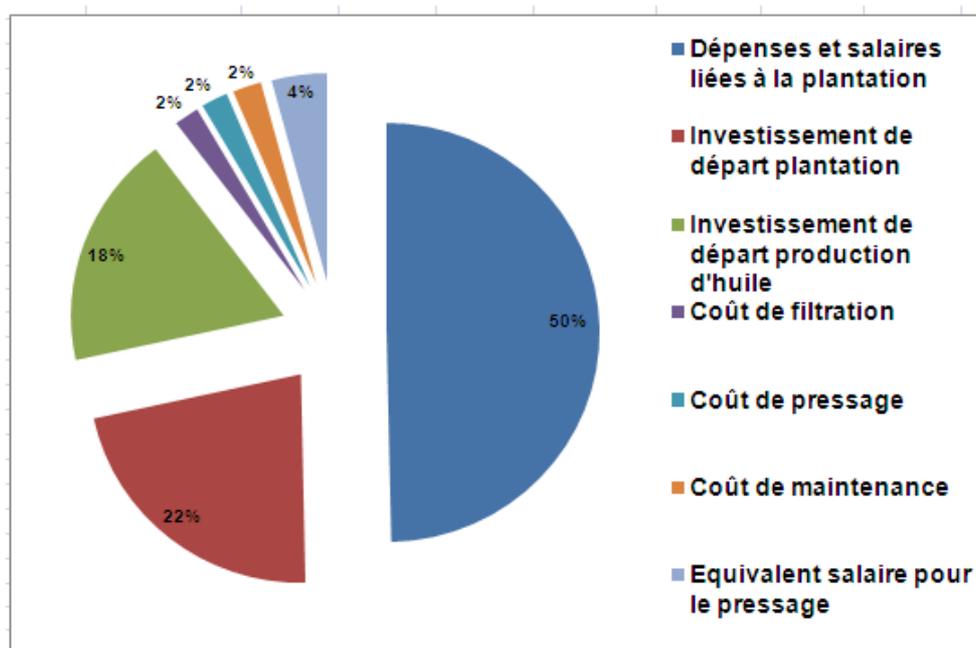


Figure 3-1 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de *Jatropha* pour un rendement de 0,5T/Ha/an sur le site de Parakou

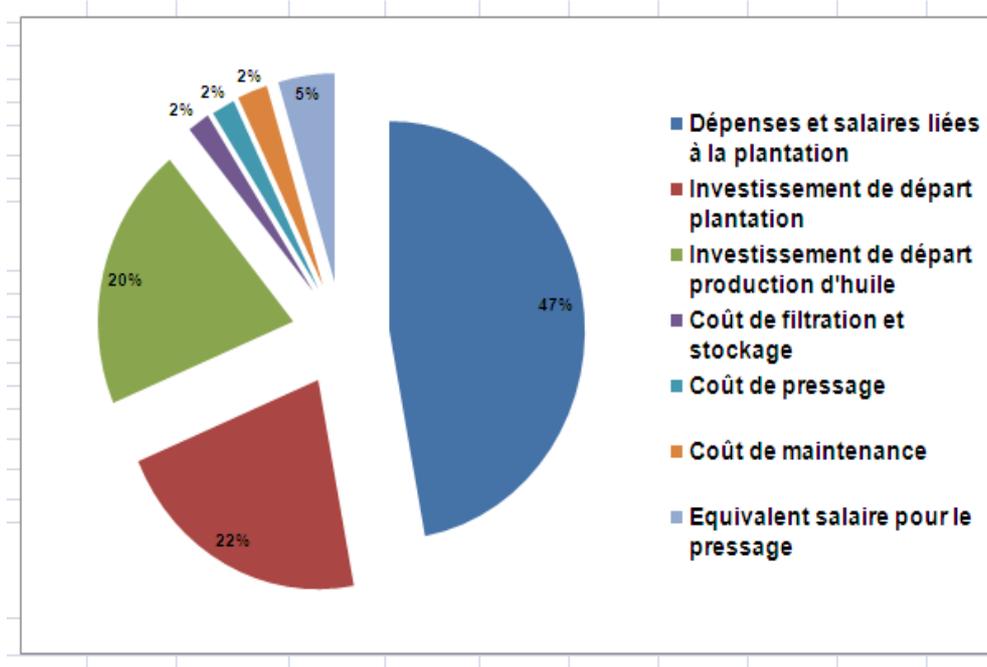


Figure 3-2 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de *Jatropha* pour un rendement de 0,5T/Ha/an sur le site de Savalou.

Selon ces figures, les dépenses liées à la production sont les plus énormes vu qu'elles représentent 47% et 50% du prix total fixé pour le litre d'huile selon le site. Et plus la productivité du champ croît, plus ces dépenses liées à la production sont importantes.

Si l'objectif visé par l'utilisation de d'huile de *Jatropha* comme biocarburant est de substituer les produits pétroliers, le prix du litre d'huile doit être soit concurrentiel soit plus bas que le

prix du litre du gasoil du point de vue du client. Pour des usages villageois, il convient que ce prix soit plus bas que le prix du gasoil afin d'être accessible et peu onéreux.

Dans l'évaluation économique ci-dessus effectuée, il est observé la même tendance de prix du litre d'huile qu'avec le prix du kilogramme de graines. Egalement de faibles rendements observés à l'hectare engendrent de vastes surfaces de plantations qui ne sont pas disponibles sur les sites de Parakou ou de Savalou (225Ha en moyenne disponible sur chaque site). Augmenter le rendement des plantations par l'irrigation reste une pratique incertaine et risquée pour le centre car son objectif premier reste la production de produits alimentaires. (Centre Songhaï, 2013). Les prix du litre d'huile restent élevés par rapport au prix maximal du litre du gasoil (620FCFA) observé sur les 2 sites même à un rendement de 2T/Ha/an. Aussi, l'implantation par pépinière engendre des prix de revient légèrement élevés des produits *Jatropha* comparé au semis direct.

Cette étude comparée aux projets ALTERRE et SETUP (Bruggeman, Fakambi, Fauveaud, & Liagre, 2010) qui ont évalué le prix du litre d'huile de *Jatropha* entre 450 et 500FCFA (2007) pour un rendement observé de 2T/Ha/an, le prix de revient obtenu à ce même rendement dans notre étude reste élevé de près du double. Il en va de même pour le prix de revient du litre d'huile de *Jatropha* qui reste méconnu pour l'instant sur le marché. Aussi, plus la quantité d'huile produite par an est élevée plus le prix de revient de l'huile est basse.

Selon Adikpeto (2011), le prix du Kg de graines avait été pris égal à 100FCFA sur le marché, et le prix du litre d'huile obtenu était compris entre 315 et 368 FCFA. Ce prix du litre d'huile n'a cependant pas tenu compte du prix d'achat des graines (cas d'une possible subvention pour l'achat des graines). Seules les dépenses de pressage ont été prises en compte dans son étude. Et si le prix d'achat des graines avait été pris en compte, le prix du litre d'huile de *Jatropha* serait compris entre 865 et 918 FCFA.

En outre, il ressort de cette étude que le prix du litre de mélange est relativement plus proche de celui du gasoil qu'à celui de l'huile pure de *Jatropha* et ce quelque soit le rendement observé. Ce qui pourrait présenter un double avantage :

Economique : L'utilisation du mélange en lieu et place de l'huile pure (bicarburation) reviendrait moins chère pour le centre Songhaï.

Environnemental : Réduire de 30% la consommation initiale en gasoil par l'utilisation du mélange est un grand pas vers un développement rural durable.

Mais il ne faudrait pas perdre de vue le fait que le prix du mélange va également fluctuer avec le prix du gasoil sur le marché.

En conclusion, il faudrait améliorer le rendement de la plantation, le pressage afin d'extraire le maximum d'huile, et aussi il faudrait arriver à amoindrir le coût de pressage, les coûts de filtration et de stockage.

Les tableaux suivants indiquent les prix de revient du kg de graines, du litre d'huile et du mélange sur le site de Porto-Novo. :

Tableau 3-10 : Prix de revient du Kg de graines et du litre d'huile de Jatropha avec prise en compte du transport Parakou Porto Novo selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Distance Parakou-Porto Novo : 485 Km						
Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Prix de revient du Kg sur le site de Porto Novo (FCFA)	704	335	223	186	167	139
Prix de revient d'un litre d'huile (FCFA)	4382	2385	1754	1543	1437	1280
Prix de revient du litre de mélange (FCFA)	1749	1150	960	897	865	818

Tableau 3-11 : Prix de revient du Kg de graines et du litre d'huile de Jatropha avec prise en compte du transport Savalou Porto Novo selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Distance Savalou-Porto Novo : 300 Km						
Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Prix de revient du Kg sur le site de Porto Novo (FCFA)	714	344	226	187	168	138
Prix de revient d'un litre d'huile (FCFA)	4511	2476	1830	1615	1507	1338
Prix de revient du litre de mélange (FCFA)	1787	1117	983	919	886	835

Le coût de transport influe grandement sur les prix du Kg de graines, du litre d'huile et sur le prix du mélange. La notion de proximité (territoire restreint) lié aux biocarburants dans les projets ALTERRE et SETUP prend tout son sens à la suite de ces calculs. Il convient par conséquent de limiter au maximum les déplacements des produits *Jatropha* afin d'éviter les hausses de prix sur le litre d'huile et sur le Kilowattheure électrique. Par conséquent, il ne sera évalué le KWh électrique que sur les sites de Parakou et de Savalou qui sont les sites de production. Selon, les hypothèses de calcul de rentabilité économique, les prix du transport ont déjà été mutualisés afin d'amoindrir le plus possible les coûts de transport. Le centre Songhaï fabrique également des presses qui restent moins chères que celle utilisée (AGICO). Les presses Songhaï pourraient donc être utilisées sur les sites.

Les tableaux 3.12 et 3.13 indiquent les prix du KWh électrique produit à partir du mélange et du gasoil

Tableau 3-12 : Prix du KWh électrique produit à partir du mélange sur le site de Parakou selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Prix de revient du litre de mélange(FCFA)	1787	1117	983	919	886	835
Prix du KWh à partir du mélange (FCFA)	536	354	296	277	268	253
Prix du KWh à partir du gasoil (FCFA)	191					

Tableau 3-13 : Prix du KWh électrique produit à partir du mélange sur le site de Savalou selon les hypothèses de rendements ; source : Auteur (Benin2013).

Rendement (T/Ha/an)	0,104	0,25	0,5	0,75	1	2
Prix de revient du litre de mélange (FCFA)	1684	1 073	880	815	783	734
Prix de revient du KWh à partir du mélange (FCFA)	548	362	303	284	274	258
Prix de revient du KWh à partir du gasoil (FCFA)	191					

Le prix du KWh électrique produit à partir du mélange reste élevé (même pour des rendements de 2T/Ha/an) comparé à celui de la Société Béninoise d'Énergie Électrique (SBEE) qui est dans une fourchette de 109 à 115FCFA en tarif basse tension. Le prix du KWh électrique produit à partir du mélange (pour des rendements de 2T/Ha/an) est légèrement plus élevé que celui produit à partir du gasoil pur. Ce prix serait encore plus élevé s'il avait été question d'une utilisation pure d'huile de *Jatropha* dans le moteur. Par conséquent, le mélange constitue une alternative des plus intéressantes si le rendement à l'Ha venait à excéder 2T/Ha/an. Mais atteindre des rendements supérieures à 2T/Ha/an nécessiteraient de lourds investissements pour la plantation qui par ricochet, entraîneraient une hausse du prix du mélange.

Au vu des prix élevés du litre d'huile de *Jatropha*, d'autres scénarii seront développés dans la suite du travail.

Tous les prix obtenus à la suite des scénarii ci-dessous effectués ne sont valables que pour des besoins annuels couvrant les 30% des besoins annuels des 2 sites. **Et ces différents prix sont des prix de revient.**

Selon donc un second scénario, où les investissements de départ (plantation et production d'huile) sont subventionnés, les prix obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau 3-14 : Prix de revient du Kg de graines de *Jatropha*, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.

	PARAKOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	387	204	153	136	127	115
Prix du litre d'huile sur site de production	2303	1294	1014	921	874	804
Prix du litre de mélange sur site de production	1125	822	738	710	696	675
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	347	254	229	220	216	210
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	393	209	158	141	133	120
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2366	1357	1077	984	937	867
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1144	841	757	729	715	694
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	352	260	235	226	222	215

Tableau 3-15 : Prix de revient du Kg de graines de *Jatropha*, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.

	SAVALOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	387	204	153	136	127	115
Prix du litre d'huile sur site de production	2323	1314	1034	941	894	825
Prix du litre de mélange sur site de production	1131	828	744	716	702	681
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	348	256	231	222	218	212
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	391	208	157	140	131	118
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2370	1361	1081	988	941	863
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1145	842	758	730	716	693
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	353	261	235	226	222	215

Pour que les prix du litre d'huile soient revus à la baisse, il faudrait que le rendement de la presse soit revu à la hausse et atteigne 3 à 3,5Kg de graines pour produire 1litre d'huile purifiée. Et le préchauffage comme l'indique (Sidibe, Blin, & Yao, 2010) améliorerait le taux d'extraction. Aussi il pourrait être utilisé une presse à barreaux avec des résistances chauffantes qui assurent un chauffage uniforme et adéquat pour une extraction maximale. Cette presse est déjà disponible au sein du centre et est utilisée pour l'extraction d'huile de Soja.

Selon un troisième scénario où les étudiants en formation au sein du centre Songhaï s'occupent de la plantation de *Jatropha* par intermittence (activités classées en second lieu).

Ce qui sous-entendrait une non-facturation des heures de travail. Dans cette hypothèse, il n'est pris en compte aucune subvention. Les prix obtenus sont résumés dans les tableaux 3.16 et 3.17:

Tableau 3-16 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.

	PARAKOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	314	134	70	49	38	22
Prix du litre d'huile sur site de production	2206	1218	866	749	690	602
Prix du litre de mélange sur site de production	1 096	799	694	659	641	615
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	338	247	215	205	199	191
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	319	140	76	55	44	28
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2269	1281	929	812	753	665
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1115	818	713	678	660	633
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	343	253	221	210	205	197

Tableau 3-17 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.

	SAVALOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	326	139	73	51	39	23
Prix du litre d'huile sur site de production	2351	1324	959	837	776	684
Prix du litre de mélange sur site de production	1 139	831	722	685	667	639
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	351	257	224	213	207	199
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	330	143	77	55	44	26
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2398	1371	1006	884	822	723
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1153	845	736	699	681	651
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	355	261	228	217	211	202

Selon un quatrième scénario qui regroupe les scénarii 2 et 3, les prix sont résumés dans les tableaux 3.18 et 3.19:

Tableau 3-18 : Prix de revient du Kg de graines de *Jatropha*, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.

	PARAKOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	3	3	3	3	3	3
Prix du litre d'huile sur site de production	190	190	190	190	190	190
Prix du litre de mélange sur site de production	491	491	491	491	491	491
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	154	154	154	154	154	154
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	8	8	8	8	8	8
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	253	253	253	253	253	253
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	510	510	510	510	510	510
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	159	159	159	159	159	159

Tableau 3-19 : Prix de revient du Kg de graines de *Jatropha*, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.

	SAVALOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	3	3	3	3	3	3
Prix du litre d'huile sur site de production	210	210	210	210	210	210
Prix du litre de mélange sur site de production	497	497	497	497	497	497
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	155	155	155	155	155	155
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	7	7	7	7	7	6
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	256	256	256	256	256	249
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	511	511	511	511	511	509
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	160	160	160	160	160	159

Selon un cinquième scénario selon lequel le rendement de la presse est optimal. Ce qui permettrait d'obtenir un litre d'huile purifiée à partir de 3,2Kg de graines de *Jatropha* (Allard, 2010) , et en considérant toujours les mêmes hypothèses de départ sur la plantation et sur la production d'huile, les prix du litre d'huile sont résumés dans les tableaux 3.20 et 3.21 :

Tableau 3-20 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.

	PARAKOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	698	335	220	182	163	134
Prix du litre d'huile sur site de production	2532	1371	1003	881	819	727
Prix du litre de mélange sur site de production	1 194	845	735	698	680	652
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	367	261	228	217	211	203
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	708	345	230	192	172	144
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2595	1434	1066	944	882	790
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1213	864	754	717	699	671
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	373	267	234	222	217	208

Tableau 3-21 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.

	SAVALOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	710	340	223	184	164	135
Prix du litre d'huile sur site de production	2613	1429	1053	928	865	771
Prix du litre de mélange sur site de production	1 218	863	750	712	694	665
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	375	267	232	221	215	207
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	714	344	226	187	167	138
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	2636	1452	1077	952	889	791
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	1225	870	757	719	701	671
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	377	269	235	223	217	209

Selon un sixième scénario qui regroupe des subventions sur les investissements de départ et le cinquième scénario, les prix obtenus sont résumés dans les tableaux 3.22 et 3.23 :

Tableau 3-22 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Parakou et sur le site de Porto-Novo.

	PARAKOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	387	204	153	136	127	115
Prix du litre d'huile sur site de production	1363	776	613	559	531	491
Prix du litre de mélange sur site de production	843	667	618	602	593	581
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	261	207	192	187	185	181
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	397	213	163	146	137	124
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	1425	839	676	621	594	554
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	862	686	637	620	612	600
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	266	213	198	193	191	187

Tableau 3-23 : Prix de revient du Kg de graines de Jatropha, du litre d'huile, du litre de mélange et du KWh électrique selon les hypothèses de production d'huile sur le site de Savalou et sur le site de Porto-Novo.

	SAVALOU					
	0,104T/Ha/an	0,25T/Ha/an	0,5T/Ha/an	0,75T/Ha/an	1T/Ha/an	2T/Ha/an
Prix du kg de graines sur site de production	387	204	153	136	127	115
Prix du litre d'huile sur site de production	1370	783	621	566	539	498
Prix du litre de mélange sur site de production	845	669	620	604	596	584
Prix du KWh à partir du mélange sur site de production	261	208	193	188	186	182
Prix du kg de graines avec prise en compte du transport	391	207	156	139	131	118
Prix du litre d'huile avec prise en compte du transport	1394	807	644	590	562	518
Prix du litre de mélange avec prise en compte du transport	852	676	627	611	603	589
Prix du KWh à partir du mélange avec prise en compte du transport	264	210	195	190	188	184

La figure suivante résume la variation du prix du litre d'huile de Jatropha sur les 2 sites Songhaï pour un rendement de la plantation de 0,5T/Ha/an suivant les différents scénarii effectués :

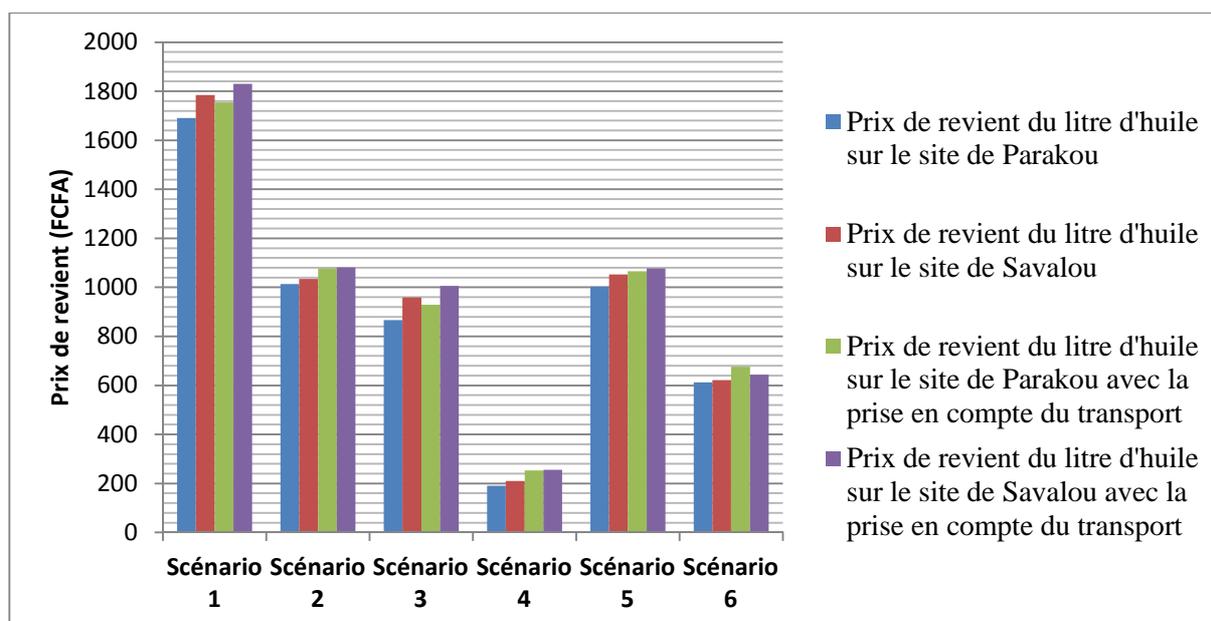


Figure 3-3 : Variation du prix du litre d'huile de *Jatropha* sur les sites de Parakou et de Savalou selon les différents scénarii pour un rendement de plantation de 0,5T/Ha/an.

Les scénarii 4 et 6 indiquent des prix du litre d'huile plus bas que celui du gasoil (620FCFA). Il est intéressant d'améliorer le rendement de la plantation et d'envisager l'un des deux scénarii que sont le 4 ou le 6. Mais il faut préciser que le scénario 4 est propre au centre Songhaï. Le scénario 6 reste par contre plus général et applicable par d'autres organismes œuvrant dans la filière *Jatropha* d'où la raison pour laquelle nous ferons ressortir pour ce scénario, les montants des subventions lorsque l'huile de *Jatropha* est produite sur site :

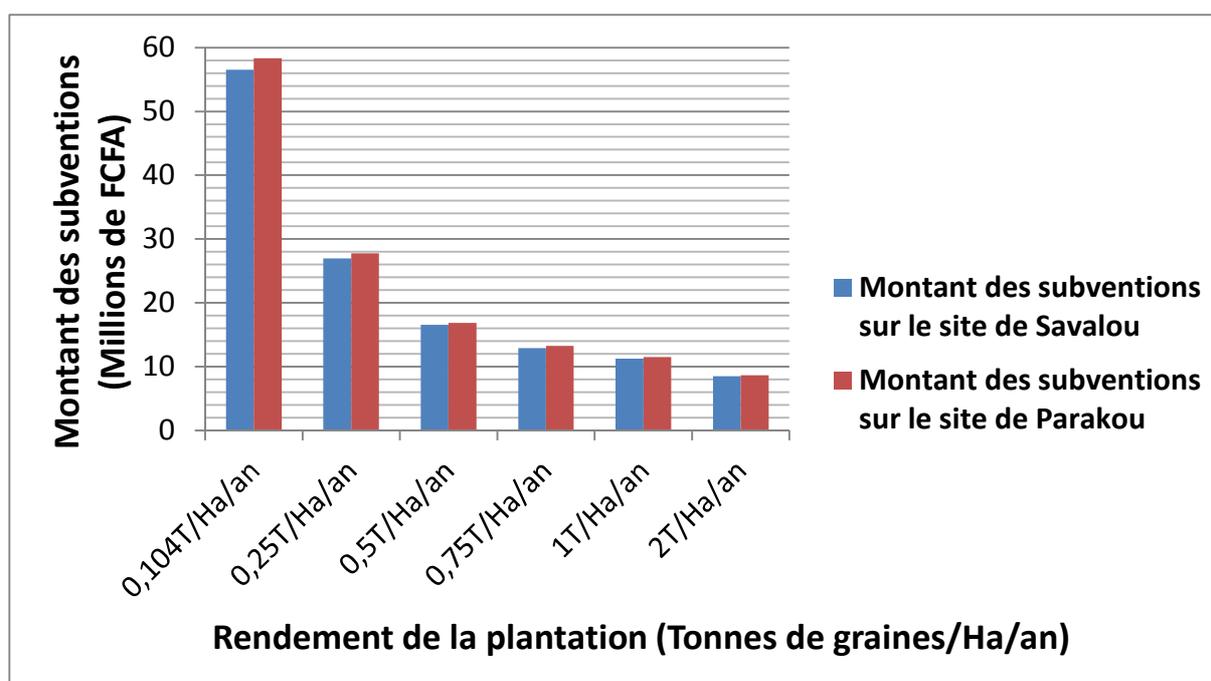


Figure 3-4 : Variation des montants des subventions en fonction du rendement à l'hectare

Les montants des subventions varient fortement avec l'amélioration du rendement de la plantation. Il est même possible de faire des économies sur l'achat du gasoil :

- 0,75 T/Ha/an: 489 000FCFA.
- 1T/ha/an: 729 000FCFA.
- 2T/Ha/an: 1 098 000 FCFA.

❖ **Evaluation économique du litre d'huile de *Jatropha* à partir d'une surface connue et dédiée à la culture du *Jatropha***

En réalisant l'étude inverse, à savoir que la surface disponible qui serait dédiée à la culture du *Jatropha* est de 5ha (Source : Communication orale Songhai) et en considérant un rendement de 0,5T/Ha/an, la quantité d'huile obtenue selon les conditions normales de production d'huile (5,5 Kg de graines pour la production d'un litre d'huile purifiée) est de 500 litres et le prix de revient du litre d'huile coûterait **9243 FCFA à Parakou et à Savalou**. Et la figure suivante indique les répartitions des prix :

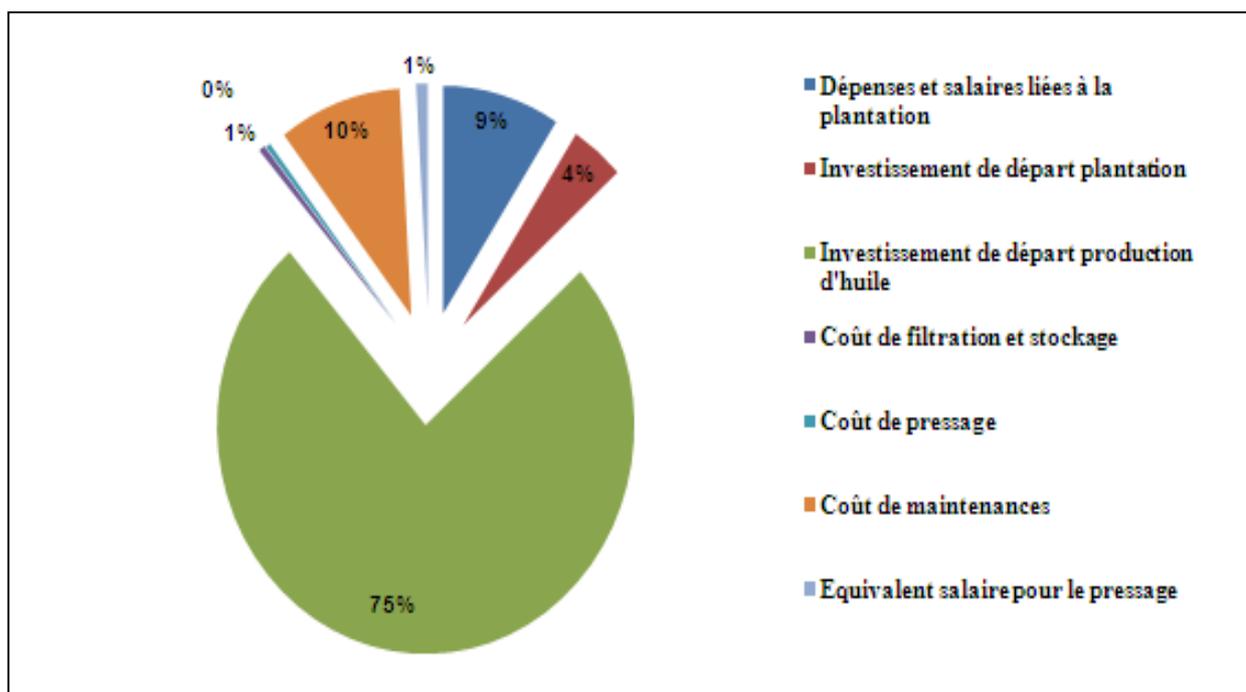


Figure 3-5 : Répartition des dépenses liées à la production d'un litre d'huile de *Jatropha*

En considérant toujours une surface de 5ha dédiée à la plantation et selon l'hypothèse d'une utilisation optimale de la presse, le prix du litre d'huile coûterait **3680FCFA à Parakou** tout comme à Savalou. **La production d'huile purifiée s'élèverait à 781,25 Litres/an.**

En conciliant la condition d'utilisation optimale de la presse (3,2 Kg d'huile pour produire 1 litre d'huile purifiée) et celle d'éventuelles subventions sur les investissements de départ, le prix du litre d'huile coûterait **1095 FCFA sur les 2 sites et la production d'huile serait de 781,25 litres/an**. Le montant des subventions s'élèverait à **6 685 650 FCFA**.

CONCLUSION - PERSPECTIVES

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 au Centre Songhaï, a concerné la production et l'utilisation de l'huile végétale pure de *Jatropha* en mélange avec le gasoil dans un moteur diesel.

Au cours de la production d'huile de *Jatropha* de qualité carburant, les étapes successives de cueillette, de dépulpage, de prétraitement, d'extraction d'huile, de décantation et de filtration ont été suivies avec minutie. Il s'est avéré que la cueillette est la méthode de collecte de graines la mieux adaptée pour réduire les dépenses liées au prétraitement des graines.

Le dépulpage a été effectué manuellement et à l'aide d'une décortiqueuse manuelle adaptée. Le temps de travail s'est considérablement réduit passant ainsi donc de 7 jours à 2 jours pour une quantité d'environ 58,5Kg de fruits dépulvés. Pour des productions plus importantes, une décortiqueuse électrique fabriquée par le centre Songhaï pourra être utilisée. Cette décortiqueuse dont le prix s'élève à 1 500 000 FCFA est munie d'un souffleur qui permettra un décorticage efficace et une séparation des coques et des graines.

L'extraction de l'huile à partir des graines sèches préalablement triées a été effectuée au moyen d'une presse à barreaux d'origine chinoise de marque *AGICO* et d'une capacité variant entre 166 à 212Kg/h. Le rendement obtenu (8,9 Kg de graines pour 1litre d'huile purifiée) est un rendement de chauffage de la presse. Par conséquent, il faudrait donc presser des quantités de graines en rapport avec la capacité de la presse.

La phase de décantation de l'huile brute obtenue à la suite du pressage a duré trois semaines. Cette phase est essentielle à la séparation de l'huile des déchets résiduels pour une utilisation carburant de l'huile.

La confection artisanale de filtre en utilisant 3 couches de pagne (guihivo en langue FON utilisée à Porto Novo) a permis de réduire davantage les particules fines contenues dans l'huile décantée. L'analyse au laboratoire de l'huile n'a cependant pas pu être réalisée. Pour de grandes quantités d'huile à filtrer, les filtres artisanaux ne sont pas assez rapides, il serait intéressant d'utiliser le filtre à plateau.

L'huile produite au centre Songhaï a été utilisée dans un moteur (groupe électrogène) diesel de marque *JINAODA* de capacité maximale 5 kW. Ce moteur a été équipé d'un kit de bicarburation manuel : La technologie utilisée à cet effet est simple et son prix de revient est très bas (28 750 FCFA) 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 de performances et de fonctionnement ont été effectués sur ce groupe électrogène. Il ressort que le moteur a de meilleures performances (consommation spécifique et rendement global) lorsque la charge est au-delà de 70% de la capacité maximale. Nos tests ont permis de confirmer que la température des gaz d'échappement croît linéairement avec la charge tant pour le gasoil pur, l'huile végétale pure, ou le mélange. Aussi il est à noter qu'à chaque taux de charge, les températures des gaz d'échappement sont très proches. Il ne peut donc pas être conclu si la température des gaz d'échappement est liée à la nature du carburant utilisé.

Des tests de fonctionnement effectués, il ressort que les performances du générateur restent approximativement identiques avec le gasoil (rendement $\eta=33,9\%$ et consommation spécifique $C_s=252,5\text{g/KWh}$) tout comme avec le mélange ($\eta=33,1\%$ et $C_s=262\text{g/KWh}$).

L'évaluation économique a permis de montrer que le prix de revient du Kg de graines de *Jatropha*, ou du litre d'huile de *Jatropha*, est étroitement lié au rendement de la plantation, à l'aide à l'investissement (subvention ou pas), et à la performance du pressage (quantité de graines pour produire un litre d'huile).

Pour un rendement de 0,5T/Ha/an, les scénarii 4 et 6 permettent d'obtenir un prix du litre d'huile inférieur à celui du gasoil. Cela constitue donc un réel avantage économique pour la filière *Jatropha* même en tenant compte de la surconsommation volumique de 12% mise en évidence.

Selon les scénarii étudiés, le coût de production d'unité d'énergie électrique produit à partir du mélange est plus bas que celui produit à partir du gasoil lorsque le prix du litre d'huile est inférieur au prix du gasoil. Ce résultat est concordant que pour les scénarii 4 et 6.

A l'issue de cette étude, il serait important de développer des cadres d'échanges entre le centre Songhaï et d'autres acteurs spécialistes de la filière biocarburant *Jatropha* afin de partager les expériences et les savoir-faire et renforcer les chances de développement de la filière biocarburant au sein du centre Songhaï.

Références Bibliographiques

Achten, W., & al. (2007). Biodiesel from Jatropha: The life cycle perspective in Expert Seminar on Jatropha curcas L. Agronomy and Genetics. Wageningen: Fact foundation.

Adikpeto, F. (2011). Mise en place des tests technico-économiques sur la plateforme biocarburant : de la plantation à l'utilisation de l'huile de Jatropha dans un moteur. Mémoire de fin d'étude de Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement: Option Génie électrique et Energies renouvelables, Fondation 2ie (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement).

Adolf, W., Opferkuch, H. J., & Hecker, E. (1984). Irritant phorbol derivatives from four Jatropha species. *Phytochemistry* (23 (1)), pp. 129-132.

Adoum Mahamat, I. (2010). Conception et caractérisation d'un kit de bicarburation. Mémoire de fin d'étude de master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement: Option Energie, Fondation 2ie (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement).

Allard, B. (2010). Evaluation de la rentabilité économique de la filière Jatropha Curcas L. dans la région de Teriya Bugu Mali (Mali). Mémoire de fin d'étude de Master "Agronomie et agroalimentaire" Spécialisation Systèmes Agraires Tropicaux, IRC Supagro, Montpellier.

Alter-Energies. (s.d.). 2013 Consulté le 12 Mai 2013, sur Alter Energies: <http://www.alterenergies.org>

Aregheore, E. M., & al. (2003). Detoxication of a toxic variety of Jatropha curcas using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. *S.Pac.J.Nat.Sci* (21), pp. 50-56.

Becker, K. (2009, Juillet-Décembre). Biofuels from Jatropha Curcas oil - Perspectives for tropical regions. *Environnement* , 16 (n°4) , pp. 236-240.

Bedrossian, C., & al. (2008). Fiches descriptives des oléagineux brésiliens dans Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales. pp. 87-92.

Biswas, S., & al. (2006, juillet 9-10). Biodiesel : technology and business opportunities, in Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence - focus of Jatropha. Hyderabad, Inde.

Blin, J., Daho, T., & Yao, A. (2009). Exergy efficiency for the performance optimization of a direct injection compression ignition (CI) engine using biofuels. *Renewable Energy* (34), pp. 1494-1500.

Bouffaron, P., & al. (2012). Straight vegetable oil from Jatropha Curcas L. for rural electrification in Mali - A technico-economic assessment. *Biomass and Bioenergy* (37), pp. 298 - 308.

Brittaine, R., & NeBambi, L. (2010). Jatropha: A smallholder Bioenergy Crop The potential for Pro-Poor Developpement. Vol.8 . Rome: FAO.

Bruggeman, P. G., Fakambi, K., Fauveaud, S., & Liagre, L. (2010). Les filières agrocarburants de proximité à base de Jatropha: Opportunités, acquis et points de vigilance pour un accès à l'énergie en faveur des populations rurales d'Afrique de l'Ouest. (F. Zie, Ed.)

Capo-Chichi, Y. J. (2006). Monographie de la commune de Savalou. Afrique Conseil.

Domergue, M., & Pirot, R. (2008). Jatropha Curcas L. Rapport de synthèse bibliographique. CIRAD, AGROgeneration.

Fallot, A., & Girard, P. (2008). Eléments d'évaluation économique des huiles-carburants dans Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales. pp. 273-285.

Fotseu, W. (2010). Possibilités d'utilisation de l'huile de Jatropha dans les moteurs diesels du cercle de KITA. Mémoire de fin d'étude de master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement: Option Energie, Fondation Zie (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement).

Girard, P., Blin, J., Nganaoh, V. S., Sidibe, S. S., Kabore, M., Brunchwig, C., et al. (2011). Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales dans les pays de la CEDEAO. (F. Zie, & Harmattan, Eds.)

Godin, V., & Spensley, P. (1971). Oils and Oilseeds. TPJ. and Product Digest (1), pp. 107-110.

Gokhale, D. (2008). Jatropha: Experience of Agro forestry and Wasteland Development Foundation, Nashik, India in International Consultation on Pro-Poor Development. Rome: Syngeta International.

Hajos, G., & al. (1995). Biological effects and survival of trypsin inhibitors and agglutinin from soybean in the small intestine of the rat. J. Agric. Food Chem (43), pp. 165-170.

Heller, J. (1996). Physic nut. Jatropha Curcas L. Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops in Institute of Plant Genetic and Crop Plant research Gatersleben, Germany and International Plant Genetic Ressource Institute, Rome, Italy. p. 88.

Hirota, M., & al. (1988). A new tumor promoter from the seed oil of Jatropha curcas L., an intramolecular diester of 12 - deoxy - 16 hydroxyphorbol. Cancer research (48 (20)), pp. 5800-5804.

Kora, O. (2006). Monographie de la comune de Parakou. Afrique Conseil.

Makkar, H., & Becker, K. (1997, Février 23-27). Potential of Jatropha curcas seed meal as a protein supplement to livestock feed, constraints to its utilization and possible strategies to overcome constraints In Biofuels and Industrial Products from Jatropha Curcas. (G. M. Gubitza, M. Mittelbach, & M. Trabi, Eds.) Managua, Nicaragua.

Mourgue, M., & al. (1961). Study of the toxicity and localisation of the toxalbumin (curcin) of the seed of the *Jatropha Curcas*. Bull. Soc.Chim. (43), pp. 505-516.

Münch, E., & Kiefer, J. (1986). Le pourghère (*Jatropha Curcas* L., Botanique, écologie, culture(1ère partie) produits de recolte, filières de valorisations, réflexions économiques (2ème partie),. Université de Stuttgart - Hohenheim.

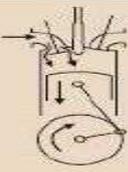
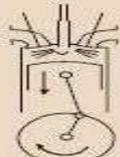
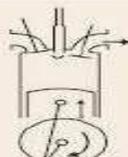
Sidibe, S. S., Blin, J., & Yao, A. (2010). Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of art: Litterature reviews. (14), pp. 2748-2759.

Susmel, P., & al. (1995). Trypsin inhibitory activity of raw soya bean after incubation with rumen fluid. J. Sci. Food Agric. (67), pp. 441-445.

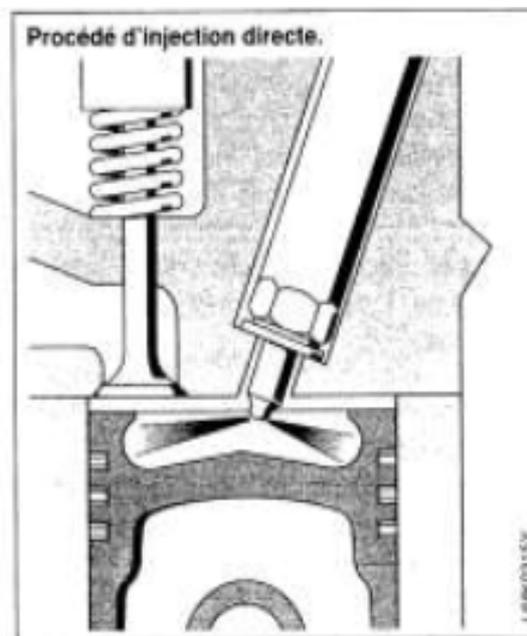
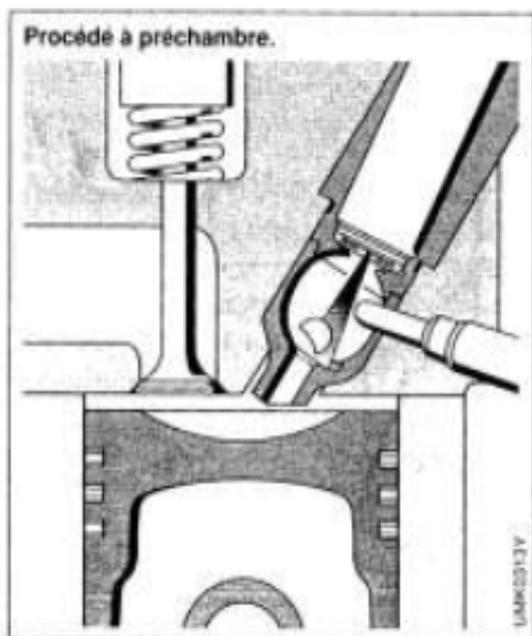
Vaitilingom, G. (1992). Huiles végétales - Biocombustible diesel. Influence de la nature et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité - carburant dans Mécanique-Energétique. Université d'Orléans.

ANNEXE

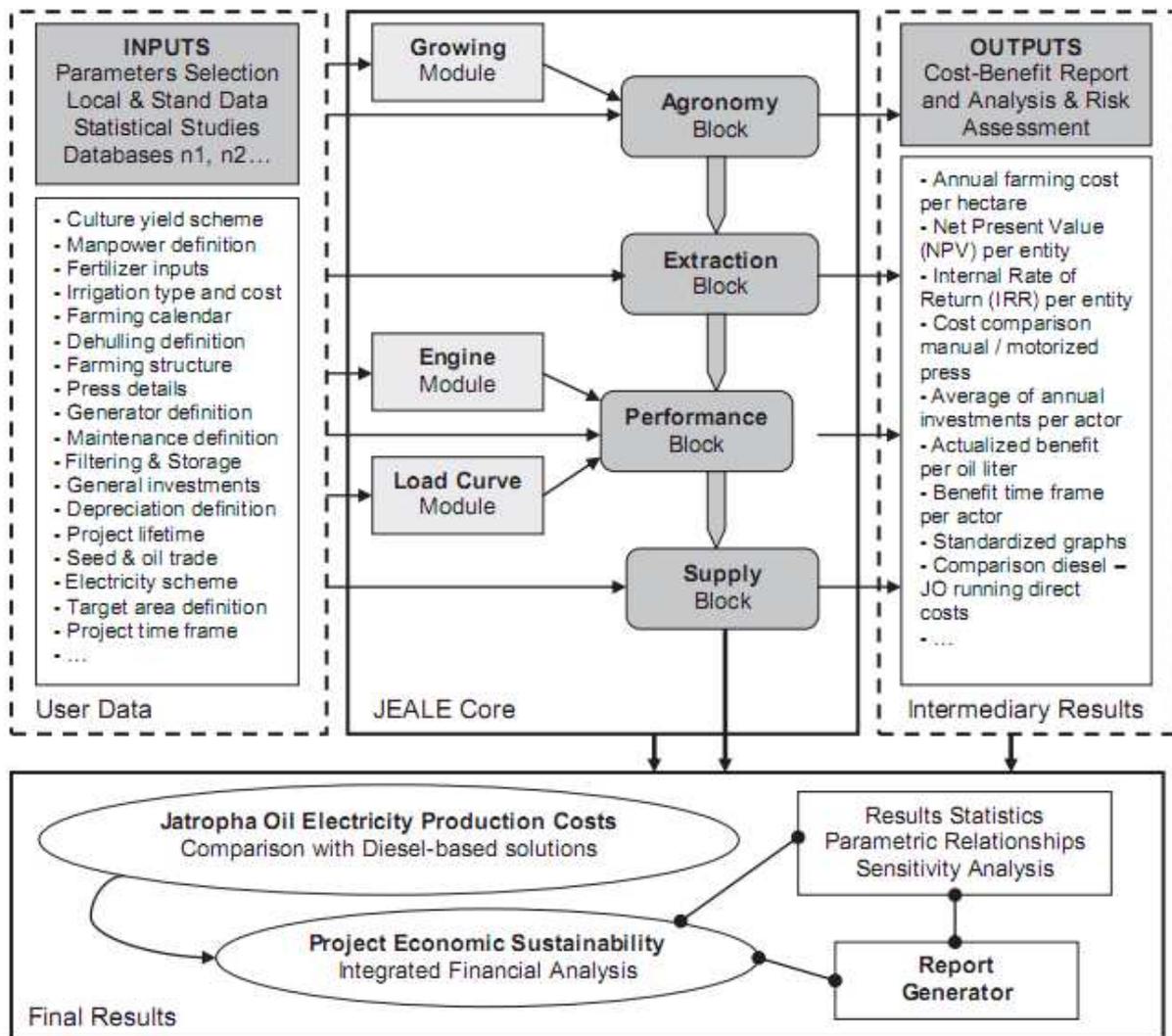
Annexe 1 : Fonctionnement du moteur selon le principe du cycle 4 temps

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

Annexe 2 : Injection indirecte à gauche et directe à droite



Annexe 3 : Modèle d'évaluation de la viabilité économique de la production d'huile de *Jatropha* et de son utilisation pour l'électrification rurale.



Chaque bloc (agronomie, extraction, performance du moteur, distribution d'électricité) regroupe un certain nombre d'opérations techniques qu'il convient de recenser pour effectuer une évaluation technico-économique adéquate.

Annexe 4 : Grands postes de dépenses à prendre en considération pour une production huile-carburant au sein de l'entreprise

Grands postes de dépenses	Coûts directs lié à chaque opération		Coûts indirects lié au fonctionnement de l'entreprise
	coûts variables	coûts fixes	
Capital		Equipements : stockage, presse, filtres, raccordement réseau, automatismes, modifications moteurs, génie civil, bâtiment...	frais financiers généraux
Travail qui peut être segmenté par niveau de qualification et donc de rémunération.	Manutention et entretien, si ce poste est réalisé par un service extérieur et comptabilisé au temps effectif réalisé	Estimation des besoins en personnel pour le fonctionnement de l'unité Contrairement au poste précédent, les salaires sont à assurer que l'installation soit ou non fonctionnelle.	gestion de l'entreprise

Annexe 5 : Méthode d'évaluation des coûts de transport

Type et capacité en m ³ du moyen de transport utilisé	
Données de base	
Valeur d'achat
Kilométrage par rotation km
Volume transporté par rotation m ³
Masse volumique apparente	... kg/m ³
Masse transportée par rotationkg ou tonnes
Durée de rotation chargement inclus heures
Nombre de rotation par jour
Kilométrage annuel (250 jours annuels) ¹ km
Durée de vie du matériel années

Annexe 6 : Résultats de Pressage

Le tableau suivant indique les résultats de pressage durant les 3 séances de pressage :

RESULTATS DE PRESSAGE			
Intitulé	1er pressage	2nd pressage	3ième pressage/période de maintenance
Masse de graines pressées (Kg)	29,1	33,5	41,5
Bilan de matière (Kg)	27	31,3	35
Perte de matière (Kg)	2,1	2,2	6,5
Taux de perte (%)	7,2%	6,6%	15,7%
Volume (l)	3,7	3,1	4,9
Température de l'huile pendant la phase de chauffage des barreaux (°C)	60,7	65,4	63,5
Température de l'huile pendant la phase de régime établi (°C)	45,5	48,1	47,9
Taux de tourteau (%)	81,9%	85,9%	74,7%
Rendement brut (%)	39,7%	34,8%	30,4%
Rendement net (%)	10,6%	7,5%	9,6%
Taux de recouvrement (%)	110%	99%	87%
Capacité horaire (g/h)	16,2	14,6	33,2
Consommation électrique (KWh)	19,8	25,3	13,75

Annexe 7 : Particules fines contenues dans le gasoil

La figure suivante indique les particules fines contenues dans le gasoil :



Annexe 8 : Postes de grandes consommations en diesel

Catalogue des moteurs diesels du centre Songhaï (Savalou)

Le centre Songhaï de Savalou n'est pas connecté au réseau électrique. Il utilise en majeure partie le gasoil pour subvenir à ces besoins d'énergie. Sa consommation mensuelle en gasoil est évalué entre 2500 et 5000 litres suivant l'importance des travaux planifiés dans le cours du mois en question. Un système de délestage est organisé pour n'alimenter que les postes capitaux en un instant T. Les grands postes de consommation sont repertoriés ci-dessous :

Désignation	Nombre	Caractéristiques/Puissance	Commentaires
Groupe électrogène principal	01	79 KW	Alimenter toute l'installation
Générateur	01	3,5 KW	Alimenter les petites charges lorsque le groupe principal est à l'arrêt
Tracteurs	03	-	-
Motopompe HH80CL	01	0,8KW	Pomper de l'eau dans les champs
Motoculteur	02	-	-
Moteur de type indien	02	-	Moudre le manioc
Motopompe	02	12 et 15 chevaux-vapeur	Pompage d'eau

Catalogue des moteurs diesels du centre Songhaï (Parakou)

Tout comme le centre Songhaï de Savalou, le centre Songhaï de Parakou n'est pas connecté au réseau électrique. Il utilise en majeure partie le gasoil pour subvenir à ces besoins d'énergie. Sa consommation mensuelle en gasoil est évalué entre 3000 et 5500 litres suivant l'importance des travaux planifiés dans le cours du mois en question. Le même système de délestage observé à Savalou est adopté à Parakou. Les grands postes de consommation sont repertoriés ci-dessous :

Désignation	Nombre	Caractéristiques/Puissance	Commentaires
Groupe électrogène principal	01	150 KVA	Alimenter toute l'installation
Groupe électrogène	01	20 KVA	Alimenter les petites charges lorsque le groupe principal est à l'arrêt
Tracteurs	04	-	-
Broyeuse de manioc	01	4,4 KW	Broyer le manioc

Groupe électrogène	01	76 KVA	Relayer le groupe électrogène principal
Groupe électrogène	01	65 KVA	Alimenter les charges du centre Songhaï ville

Annexe 8 : Guide de suivi des plantations de *Jatropha*

- **CENTRE SONGHAÏ (Site de SAVALOU)**

- ❖ *Situation géographique*

Située en plein centre du Bénin, à 240 kilomètres de Cotonou la capitale économique, la Commune de Savalou est comprise entre 7°35 et 8°13 Nord d'une part et 1°30 et 2°6 Est d'autre part. Elle partage ses frontières avec les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué à l'Est; de Djidja au Sud, de Bantè au Nord et la République du Togo à l'Ouest sur environ 65 km (limite Nord-sud). (Source : CARDER Savalou, 1999).

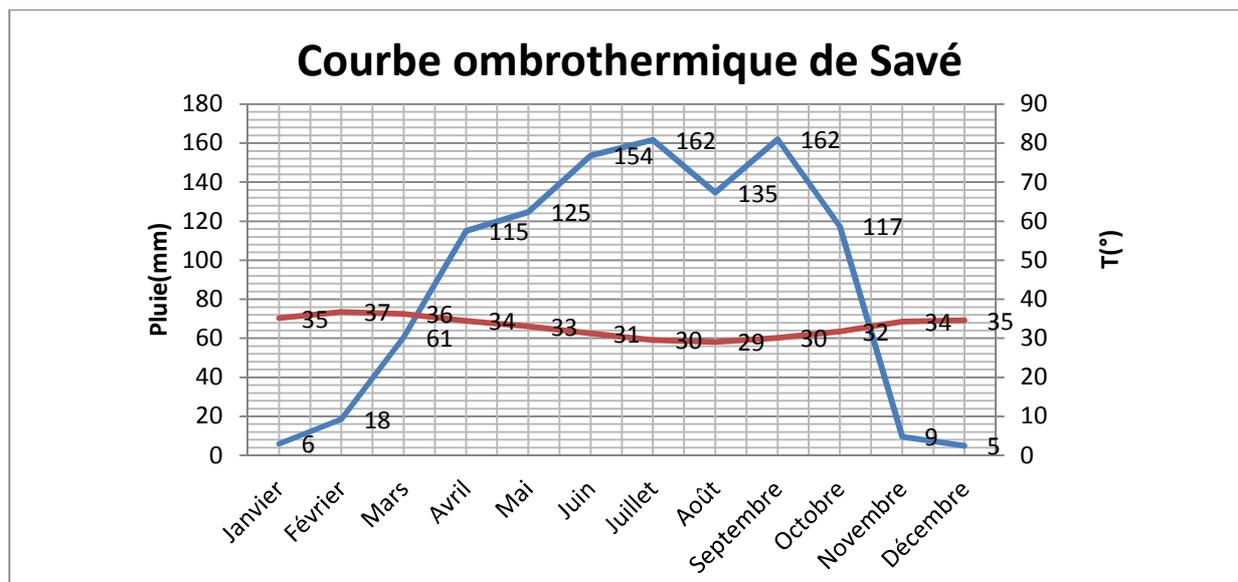
- ❖ *Situation climatique*

La commune de Savalou appartient à une région soumise à la fois aux influences équatoriales et aux influences du régime alterné de type guinéen. C'est la zone où s'estompent les influences de la mousson du Sud-ouest et de l'alizé continental appelé harmattan du Nord-est. Cette situation se manifeste dans la répartition des pluies qui est marquée par l'apparition de :

- deux saisons pluvieuses de Mars à Juillet et de Septembre à Novembre ;
- deux saisons sèches : la première de Décembre à Mars et la seconde qui correspond au fléchissement des précipitations en Août.

La hauteur moyenne annuelle des pluies est de 1150 mm. Toutefois, cette pluviométrie varie suivant les années entre 864 et 1637,3 mm. Les températures sont élevées toute l'année avec des minima qui se situent entre 23 et 24°C et des maxima qui varient de 35 à 36°C. Cette variabilité constitue une contrainte au choix des différentes activités agricoles. (Capo-Chichi, 2006)

Les données climatiques actualisées recueillies à l'ASECNA (Bénin 2011) dénotent cette tendance climatique dans la commune de Savé. Selon les propos recueillis, la commune de Savé et de Savalou ont le même type de climat.



❖ Sols

Les sols les plus répandus sont les sols ferrugineux tropicaux avec par endroit des étendues de concrétion. On distingue aussi des sols hydromorphes, des vertisols. L'analyse de ces différents sols fait ressortir qu'ils ne sont pas particulièrement fertiles en dehors des vertisols qui du reste nécessitent des moyens techniques adéquats pour leur mise en valeur. Les autres types de sols très répandus ont généralement un faible pouvoir de rétention d'eau et sont pauvres en sels minéraux comme l'azote, le phosphore. Ceci limite le choix des cultures sur les immenses terres cultivables disponibles. (Capo-Chichi, 2006)

• CENTRE SONGHAÏ (Site de PARAKOU)

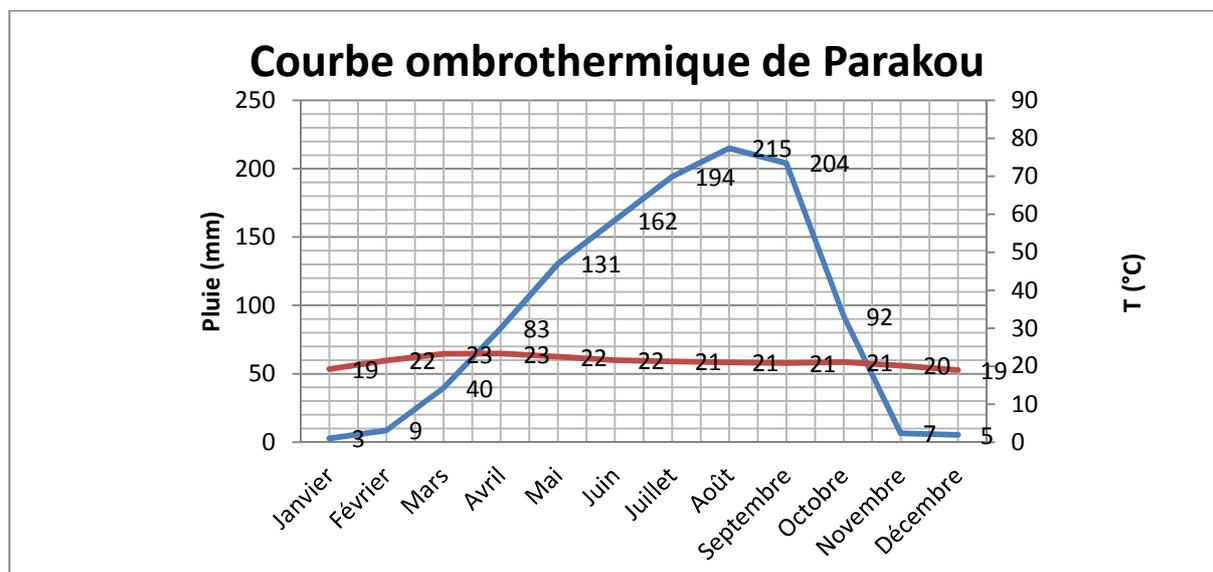
❖ Situation géographique

La commune de Parakou se trouve à 9° 21' de latitude Nord, à 2°36' de longitude Est à une altitude moyenne de 350 m et présente un relief assez modeste. Capitale régionale du Nord Bénin, la ville de Parakou (chef lieu de la commune de Parakou) est située au centre de la République du Bénin à 407 km de Cotonou. Elle constitue un important carrefour des grands axes routiers (Cotonou-communes et pays de l'hinterland). (Kora, 2006)

❖ Situation climatique

A Parakou, le climat est de type tropical humide (climat Sud soudanien). Il se caractérise par l'alternance d'une saison de pluies (Mai à Octobre) et d'une saison sèche (Novembre à Avril). C'est en Décembre-Janvier que l'on enregistre les températures les plus basses à Parakou. La précipitation moyenne annuelle est de 1200 mm. Le maximum survient entre juillet, août et septembre. (Kora, 2006)

Les données climatiques actualisées recueillies à l'ASECNA (Bénin 2011) dénotent cette tendance climatique dans la commune de Parakou.



❖ *Sols*

La région de Parakou se singularise sur le plan pédologique par la prédominance des sols à texture légère, d'épaisseur importante due à la faiblesse de l'érosion. La faiblesse de l'érosion entraîne un lessivage en profondeur important. (Kora, 2006)

- **Culture du *Jatropha***
- ❖ ***Multiplication de la plante***

Il y a plusieurs façons de multiplier le *Jatropha*:

- Semis direct.
- Bouturage.
- Repiquage.

La technique du semis direct qui se fait par poquet de 2 à 3 graines est réalisée en début de saison pluvieuse. La surface dédiée à cette culture doit être labourée afin de rendre celle-ci meuble. Plus souvent le poquet est réalisé avec le talon des pieds dans les champs, par conséquent ses dimensions restent variables. Mais la profondeur conseillée pour les poquets est de 3 à 4 cm. Le poquet est ensuite rempli de compost qui apportera les substances nutritives nécessaires à la bonne germination de la plante.

Le bouturage est la méthode de production qui consiste à prélever un fragment de la plante (le plus proche du tronc) pour en faire une nouvelle. Le fragment prélevé doit avoir

une longueur de 20 cm dont 5 à 7 cm resteront en terre. Le bouturage est également réalisé en début de saison pluvieuse. Cette méthode de multiplication ne permet pas un développement de la racine pivot de la plante pour sa propre nutrition en eau. Les plants bouturés développent un système racinaire fasciculé qui rend les plants moins résistants aux vents violents.

Le repiquage qui consiste à transplanter les jeunes plants après la pépinière est effectué lorsque les jeunes plants ont 3 mois d'âge. La plantation en pépinière a l'avantage de mettre les graines dans de meilleures conditions de germination. Pour la transplantation du jeune plant, un trou de 30 à 40 cm de diamètre et 30 à 40 cm de profondeur est creusé pour recevoir les jeunes plants. Le trou est ensuite rempli de compost qui apportera les substances nutritives nécessaires au bon développement de la plante. (Allard, 2010)

Le repiquage est la méthode de reproduction adoptée par le centre de Savalou et le semis direct celle choisie par le centre de Parakou.

❖ *Les différentes méthodes d'implantation*

Plusieurs formes d'implantation du *Jatropha* sont observables dans le milieu paysan ; les plus représentées sont le plein champ (monoculture), la culture intercalaire, et la haie.

✓ *Le plein champ ou monoculture*

La première forme d'implantation, le plein champ consiste à planter les arbustes sur une surface unie avec un écartement de 2m×2m ou 3m×3m. Elle a plusieurs intérêts : Planté sur des terres dont la productivité a baissé à force d'avoir été trop longtemps cultivées, le *Jatropha* avec ses racines va restructurer le sol en profondeur et ses feuilles en tombant vont enrichir sa couche superficielle. De plus, ces plantations participent à une reforestation de la campagne tout en permettant un gain au producteur grâce à la vente des graines. (Allard, 2010)

✓ *La plantation en culture intercalaire*

La plantation en culture intercalaire consiste à planter le *Jatropha* par ligne (écartement de à 3m entre les plants) espacées de 4 à 6m. Ainsi il est possible de cultiver entre chaque ligne des céréales sèches, une culture de rente, ou - à petite échelle - faire du maraîchage dont la Valeur Ajoutée Brute s'ajoutera à celle du *Jatropha*. L'enrichissement en fumier fait aux cultures intercalaires profitera également au *Jatropha* qui en contre partie contribue à créer de la matière organique avec ses feuilles, créant un cercle vertueux. Les plants étant taillés vers mai, ils n'auront pas encore complètement poussé au moment du

labour donc ne gêneront pas. Cette forme d'implantation offre les mêmes avantages que ceux de la culture plein champ et permet de tirer un bénéfice de la terre en produisant une culture pendant les 4 premières années de non-production du *Jatropha*. (Allard, 2010)

✓ **La plantation en haie**

La plantation en haie quant à elle présente nombre d'avantages en plus des avantages économiques :

Il y a régulièrement des conflits entre voisins à cause des délimitations de terres au moment de la saison agricole ; la plantation d'une haie peut marquer définitivement la limite des champs (après un accord à l'amiable). Ayant des propriétés répulsives pour les animaux, une haie de *Jatropha* bien dense empêchera ces derniers de divaguer sur les parcelles encloses. De plus, en se substituant aux haies mortes traditionnelles, ces haies évitent l'abattage d'arbustes et d'arbres pour les construire. Enfin cette « barrière » végétale est une très bonne protection contre l'érosion des terres par le vent ou les pluies souvent violentes pendant l'hivernage. (Allard, 2010)

Le Centre SONGHAI a opté pour la monoculture avec un écartement de 2m×2m des plantes.

• **Test de germination**

Ce test est effectué dans les cas de multiplication par semis direct et par repiquage après pépinière. Ce test permet de juger de la qualité des graines que l'opérateur en charge de la plantation de *Jatropha* a en possession. Une quantité de graines est prélevée dans le lot de graines reçu. Plus cette quantité sera grande, plus les résultats seront précis. Cette quantité est mise dans un sac de jute (exemple de support absorbant que l'on retrouve dans les milieux agricoles) et le tout est placé dans un contenant (bassine de préférence) qui laisse passer la lumière. Ce contenant doit être fermé mais pas de façon hermétique pour éviter l'évaporation de l'eau. Le sac de jute est imbibé d'eau tous les 2 jours car les graines doivent être en contact permanent avec l'eau. Au début du test, on note d'abord la date et le nombre de graines utilisé pour le test. Ensuite, il faut déterminer le stade où les semences seront considérées comme germées (par exemple lorsque la racine mesure 1 cm). Enfin on vérifie constamment la germination des graines et sur une feuille datée on indique le nombre de graines germées quotidiennement. Si le test est terminé, on calcule le pourcentage de graines qui ont germé. Le calcul du taux de germination se fait de la sorte :

$$\text{Taux de germination (\%)} = \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines utilisées pour le test}} \times 100$$

Les graines sont jugées de bonne qualité si le taux de germination est supérieur ou égal à 75% selon les propos recueillis sur le terrain. Ce n'est qu'après le test de germination que l'on procède à la multiplication soit par semis direct soit à la pépinière.

- **Fertilisation**

Sur des sols comme ceux de Savalou (sols ferrugineux, vertisols, hydromorphes), il est nécessaire de procéder à une excavation (de 50 cm à 1,5m de profondeur) sur toute la superficie dédiée à la plantation afin d'y apporter la terre de texture légère et du fertilisant (litière) nécessaire au développement de la plante et de la productivité de celle-ci. Dans les plantations de Savalou, des couronnes ont été mises en place autour de chaque plant afin d'apporter le fertilisant nécessaire à leur développement et à leur survie.

Par contre les sols comme ceux de Parakou à texture légère (sablo-argileux, limoneux argileux, argilo-sableux, argilo-limoneux), n'ont besoin que de peu d'apport (ici l'apport se résume au fertilisant).

D'après Domergue et Pirot (2008) (Domergue & Pirot, 2008), les besoins en fertilisant du *Jatropha* sont :

- 30 kg/ha d'azote et de 10 kg/ha de phosphore la première année.
- 45 kg/ha d'azote et de 20 kg/ha de phosphore les autres années.

Les engrais choisis devront également tenir compte des minéraux présents dans le sol, d'où un intérêt de procéder à l'analyse des propriétés du sol destiné à la plantation.

- **Taille**

La taille doit permettre de donner une forme à l'arbuste qui facilite la cueillette en diminuant la hauteur et en multipliant le nombre de branches, donc d'inflorescences pour intensifier la fructification et le rendement des pieds.

Henning conseille une coupe rase les 3 premières années pour créer un buisson à ramification basse qui facilite la récolte.

Certains acteurs de la filière de *Jatropha* recommande de tailler les plantes dès la deuxième année tous les ans à la période où les celles-ci ont perdu leurs feuilles soit peu de temps avant la floraison.

D'après les constatations effectuées sur le terrain, l'espacement entre ligne (2m) et l'espacement entre poquets (2m) sont trop restreints pour permettre une taille des arbres et

une récolte des fruits après la 3^{ième} année. Il est donc recommandé d'adopter un espacement entre ligne de 4m et un espacement entre poquets de 3m.

- **Sarclage**
- ✓ *Savalou*

La zone de Savalou a deux saisons sèches (Août et de Décembre à Mars) et deux saisons pluvieuses (de Mars à Juillet et de Septembre à Novembre). Il est recommandé d'effectuer 3 sarclages en période pluvieuse lors de la première année suivant le calendrier suivant :

- 1^{er} sarclage en Avril.
- 2nd sarclage en fin juillet.
- 3^{ième} sarclage en Octobre.

Pendant les années suivantes, il a été conseillé de ne retenir que 2 sarclages pendant les périodes de saison pluvieuse suivant le calendrier suivant :

- 1^{er} sarclage en Mai.
- 2nd sarclage en Octobre.

- ✓ *Parakou*

La zone de Parakou ayant une saison sèche (Novembre à Avril) et une saison pluvieuse (Mai à Octobre), il est recommandé d'effectuer 3 sarclages en période pluvieuse lors de la première année suivant le calendrier suivant :

- 1^{er} sarclage effectué en Juin.
- 2nd sarclage effectué en début septembre.
- 3^{ième} sarclage effectué en début novembre.

Il n'est prévu aucun sarclage en saison sèche car d'après les remarques faites sur le terrain, il n'y a pas de mauvaises herbes durant cette période.

Pendant les années suivantes, il est retenu 2 sarclages suivant le calendrier suivant :

- 1^{er} sarclage effectué en Juin.
- 2nd sarclage effectué en début novembre.

Pendant le sarclage, il est important de ne pas blesser les plants de *Jatropha* afin d'éviter les maladies fongicides et les punaises.

- **Irrigation de survie**

À Savalou, le manque d'eau aurait causé la mortalité d'un nombre assez élevé de plants de moins de 3 ans. Selon les propos recueillis, près de la moitié des plants ont été

perdus. Il serait utile de procéder à une irrigation de survie des plants durant les périodes de saison sèche.

Par contre à Parakou, il n'a été rapporté aucune perte en jeunes plants de moins de 3 ans due au manque d'eau pendant la saison sèche. Cependant une irrigation afin d'accroître la productivité des plants n'est pas à écarter.

D'après le CIRAD (Domergue & Pirot, 2008), la quantité d'eau nécessaire pour assurer la survie des jeunes plants est de 2litres/pied/semaine pendant la saison sèche de la première année.

- **Suivi phytosanitaire**

Les soins phytosanitaires concernent principalement la destruction des cochenilles farineuses observées sur le site de Parakou qui auraient ravagé toute la plantation. Les plants ont donc été coupés jusqu'au ras du sol. Pour procéder au traitement, il est recommandé d'endiguer leur progression dès leur apparition sur les quelques plantes de la plantation. Pour ce faire, les plantes infectées devront être nettoyées intégralement à l'aide de coton tige avec un mélange d'eau, de savon et d'alcool à 90°C suivant les proportions suivantes :

- 1 litre d'eau pour 50g de savon pur contre 100 g d'alcool à 90 °C.

Il faut assurer une surveillance permanente de la plantation afin de pouvoir limiter l'invasion des cochenilles farineuses dans la plantation par l'application de la solution ci-dessus proposée. Egalement, il faudra assurer un double suivi :

- Un 1^{er} suivi pour les plantes traitées.
- Un 2nd suivi pour les plantes avoisinantes à celles traitées.

Si l'espace infecté par les cochenilles farineuses est vaste (1 ha au moins), les plantes pourraient être nettoyées par un jet puissant du mélange concocté en grande quantité. Un pulvérisateur pourrait être effectué à cet effet.

- **Récolte**

La récolte à Savalou et à Parakou s'effectue sur les périodes de fin Novembre à Janvier et de Juillet à Août. La récolte ne s'effectue que lorsque les fruits ont une couleur brune. Selon les constatations effectuées sur le terrain, il est plus bénéfique de récolter les fruits lorsqu'ils sont encore sur l'arbre au lieu de procéder au ramassage des fruits. Cela permet de réduire la quantité de matières impropres dans le lot de récolte. Aussi la récolte des fruits sur l'arbre permet de réduire considérablement la quantité de graines perdues en ce sens qu'après la chute des feuilles de l'arbre, celles-ci constituent un lit d'humus où les graines

tombées germent rapidement et où le ramassage est fastidieux d'où l'intérêt de récolter les fruits (mûrs) lorsqu'ils sont encore sur l'arbre. Raison pour laquelle un suivi régulier est de mise.

Aussi, il est à noter que la récolte s'effectue sur plusieurs intervalles car les fruits n'atteignent pas la maturité au même moment. Quant au nombre d'intervalles, celui-ci est à déterminer au fil du temps afin de constituer une base de données fiables pour l'évaluation économique de la filière *Jatropha* pour le centre Songhaï.