



 **OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'HUILE DE BALANITES**
DE BARSALOGHO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGIENERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE ENERGETIQUE ET ELECTRIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 23 octobre 2014

Par : **ADAM MAHAMAT BOUKAR**

Travaux dirigés par : **Dr sayon SIDIBE**

LABORATOIRE BIOMASSE ENERGIE ET BIOCARBURANT

Jury d'évaluation du stage:

Président : Dr François PINTA

Membres et correcteurs :

Dr sayon Sidibé

M. Eric serge KENDA

Promotion [2013/2014]

DEDICACE :

Je dédie ces quelques pages à :

Ma mère **Zara MOUSSA**

Et à mes frères et sœurs.

En témoignage de ma grande affection

AVANT-PROPOS

Le présent document est un mémoire de fin d'études master, il n'est pas un dogme ni une parole coranique, c'est le fruit du travail de recherche en fait une œuvre humaine; et conscient qu'aucune œuvre humaine ne saurait exempte d'erreur, vos critiques et suggestions seront les biens venus pour l'amélioration du dit document pour qu'il soit plus profitable aux lecteurs. Car l'union fait la force.

Auteur :

BOUKAR Adam

REMERCIEMENTS

Le présent travail est le fruit de plusieurs collaborations. Il a été réalisé dans l'unité de production de l'Association Impulsion et au Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant (LBEB). Au terme de ce présent mémoire, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et gratitude à :

Dr sayon SIDIBE, enseignant chercheur à l'Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE).

Vous avez dirigé avec abnégation de bout en bout jusqu'à la fin. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance, votre rigueur dans le suivi m'a permis d'arriver à bon port, je vous dois une fière chandelle.

Aux responsables et personnels de l'association IMPULSION : M. Boris JAVEAU, M. SIGUE Salam ; M. SEMBE Barthelemy, M. Abdel moumouni WEDRAOGO, M. BOUGOUM Haroun.

Vous m'avez accueilli et réservé une hospitalité agréable dans votre structure. Vous m'avez offert un cadre idéal de recherche avec les moyens indispensables pour la réalisation de ce projet. Veuillez retrouver ici l'expression de ma gratitude.

A tous les doctorants, ingénieurs, techniciens et stagiaires du Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant (LBEB) et en particulier M. Odilon CHANGOTDE et M. Abdel Aziz.

Vous m'avez reçu avec beaucoup d'enthousiasme à un moment très serré (moment de vacances) vous avez su faire plus en un temps très petit, j'admire votre attention et votre efficacité dans le travail, retrouvé ici ma haute considération. Que Dieu vous bénisse !

A tous les administrateurs et corps professoral de l'Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement (2iE) en général et de Génie électrique et énergétique en particulier.

Vous n'avez ménagé aucun effort pour former des pépinières pour le reboisement de l'Afrique, vous n'avez pas failli à votre mission. Merci à vous !

Mes sincères remerciements s'étendent à tous mes promotionnels, camarades et frères je ne prendrai le risque de vous citer nommément de peur d'oublier certains d'entre vous qui me sont pourtant chers. Pour les agréables moments passés ensemble durant les deux années d'études, de partage de savoir, que chacun pose de jalon au bien de ce vieux continent (AFRIQUE).

TABLE DES MATIERES

Dedicace :	i
Avant-propos	ii
Remerciements	iii
Resumé	1
Abstract	2
I.INTRODUCTION GENERALE	3
I.1. Contexte d'étude	3
I.2. Methodologie	3
I.2.1. Objectif global de l'étude:	3
I.2.2. Objectifs spécifiques de l'étude:	3
II.ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
II.1.Généralité le sur le biocarburant.....	5
II.2. Les huiles vegetales	7
II.2.1. Généralité Sur le Balanites	7
a. Description morphologique.	7
b. Teneur en huile de balanites.	8
c. Caractéristiques physicochimiques de balanites	8
d. Les propriétés physico-chimiques des huiles végétales carburant.	9
II.3. Extraction et purification d'huile.	12
a. Le dégommege	12
b. La neutralisation.	13
c. Pressage:	13
d. Purification	13
III.UTILISATION DES HVP DANS LES MOTEURS DIESEL.	15
III.1.Généralités sur les moteurs diesels.....	15
III.1.1.Les moteurs à injection indirecte.	15
III.1.2. Les moteurs à injection directe.....	16
II.2.Problemes rencontrés lors de l'utilisation de l'HVP.....	17
a. viscosité	17
b. Influence de la composition chimique des huiles.....	18
III.2.1. Solutions d'utilisations des HVP dans les moteurs Diesels.....	19

IV.MATERIELS ET METHODES.....	21
IV.1 Matériels :	21
a. La dépulpeuse.	21
b. La concasseuse.....	21
c. La presse « Tinytech ».....	21
d. La presse électrique	21
e. Les filtres à plaques	22
f. La Balance.	22
IV.1.2. Chaine de production	22
V1.2.1.Methodes utilisees :	23
a . Presse électrique	23
b. Presses mécaniques	23
c. Interprétation	25
V.2. Bilan de masse et énergie de la presse.	26
V.2.1. PRESSE MONFORTS	26
V.2.2. Presse mécanique TINYTECH	29
V.Extraction au solvant (Hexane).....	31
V.3.Conclusion :	33
VI. ETUDE ECONOMIQUE	34
VII. ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTALE T SOCIAL.	36
VIII.CONCLUSION GENERALE :	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimique de l'huile de balanites [13].....	8
Tableau 2 : Caractéristique physicochimiques des huiles végétales [10]	10
Tableau 3 : Indice d'iode des différentes huiles végétales [18].....	11
Tableau 4 : Paramètre a analysé pour une qualité suffisante pour HVC. [16].....	12
Tableau 5 : Caractéristiques électriques des machines.	22
Tableau 9 : Résultat d'analyse chimique.....	25
Tableau 6 : Bilan de masse et énergie.	27
Tableau 7: Récapitulatif de bilan de masse et énergie presse Montforts.	28
Tableau 8 : Bilan de matières de TYNITEECH.....	31
Tableau 10 :Bilan économique.....	35

LISTE DES FIGURES.

Figure 1 : Structure chimique d'acide gras mono insaturé (oléique).	9
Figure 2 : Structure chimique d'acide gras polyinsaturé (linoléique).	9
Figure 3 : Structure chimique des triglycérides des huiles végétales [13].	11
Figure 4 : Les temps du moteur à 4 temps [22].	15
Figure 5 : Moteur à chambre de turbulence [35].	16
Figure 6 : Moteur à injection directe [35]	17
Figure 7 : Chaine de production d'huile	22
Figure 8 : Influence de la vitesse sur le rendement d'huile et la consommation d'énergie.	27
Figure 9 : Influence de la vitesse de rotation sur la consommation d'énergie et le production d'huile.	29
Figure 10 : Influence de la coque sur le rendement d'huile	31
Figure 11 : Influence de la dimension de la graine sur rendement d'huile.	32

LISTE DES PHOTOS.

Photo1 : Fruit et plante de balanites	7
Photo 2 : Presse à cage d'écureuil] [17].....	14
Photo 3 : Presse à cylindre perforé [17]	14
Photo 4 : Encrassement du piston [16].....	18
Photo 5 : Piston injection direct [16].....	18
Photo 6: Aperçu de la presse MONFORTS (Boukar).....	23
Photo 7: Vu d'ensemble de la presse mécanique	24
Photo 8 : Vis sans fin A (Boukar)	28
Photo 9: vis sans fin B(boukar)	28

SIGLES ET ABREVIATIONS:

°C : Degré Celsius

2IE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

A : Ampère

B : Banalites

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CO :Oxyde de Carbone

CO₂ : Dioxyde de Carbone

FAO : Food and Agriculture Organization

HC : Hydrocarbure

HVC : Huile Végétal Carburant

HVP : Huile Végétale Pure

Kg : kilogramme

KW : kilowatt

LBEB : Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant

NO_x : Oxyde d'Azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieur

PMB : Point Mort Bas

PMH : Point Mort Haut

V : Volt

RESUME

La réduction de la pauvreté passe nécessairement par l'accès à l'énergie. Les énergies dites fossiles étant tarissables et aussi néfaste pour l'environnement, il est temps de chercher des substituts pour préparer le futur, alors il faut se tourner vers les énergies renouvelables. Les biocarburants présentent une réelle opportunité pour atteindre cette indépendance. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur les possibilités de l'utilisation des huiles végétales pures (HVP) en particulier les huiles de balanites comme carburant dans les moteurs diesel en vue de produire l'électricité afin de desservir la population de BARSALOGO province du SANMATENGA (BURKINA FASO).

Notre objectif ambitieux est d'arrivé à optimiser la production d'huile en améliorant les paramètres tels que la vitesse de rotation de presse, la température de presse, la taux d'humidité.. . Cela nous amène à déterminer le meilleur rendement d'huile à partir des fruits en utilisant deux types de presse : une de marque indienne (TINITECH) ; une marque Allemande (MONTFORTS) en misant sur leurs rendements, en évaluant le bilan de matières et bilan d'énergies afin d'apprécier l'équipement qui donne un meilleur rendement. Ensuite nous amorçons les étapes de caractérisations de ces huiles obtenues par des analyses physicochimiques pour juger leur qualité selon les normes en vigueur qu'elles soient considérées ou non comme biocarburant.

Mots Clés: Huile Végétale Pure ;Les balanites ;Optimisation ;Caractérisations d'huile ;Moteur Diesel.

ABSTRACT

The poverty reduction pass necessarily by energy access. The primary energy fossil being rarefied and hostile for the environment, it is time to look for substitutes to prepare the future, and then we need to turn to renewable energy sources for the energy independence. Biofuels have a real opportunity to aim this independence. In this study, we focused on the possibilities of the use of pure vegetable oil (PVO) in particular balanites oils as fuel in diesel engines. Our ambitious goal is to find ways and means converging on optimal production of valuable quality oils as fuel. To do this, it comes to determine the best oil yield from Balanites fruits (seeds balanitis) with two types of machines: an Indian brand (TINITECH) and the other German brand (Montforts) in comparing their returns by assessing the material and energy balance in order to appreciate the brand that gives better performance. After we will begin the steps of characterizations of those oil obtained by chemical analysis to judge their quality according to standards in strengths whether or not as a biofuel. This memo is intended to provide a technological solution on the specific production and optimization of oil in the common balanites Barsalogo Province Sanmatenga (BURKINA FASO) in order to function generators to serve the population into electrical energy.

Keywords: Pure Vegetable Oil; Banalites; Optimization; Oil Characterizations; Diesel engines.

I. INTRODUCTION GENERALE

I.1. Contexte d'étude

Le développement de toutes nations passe par les activités industrielles, la prolifération de ces dernières implique un besoin accru en énergie alors que celle-ci dépend largement de la production du pétrole. Le pétrole est une excellente source d'énergie présente aujourd'hui quelques problèmes parmi lesquels la hausse de son prix, sa raréfaction et la préoccupation de son tarissement avec un Pic de production prévu entre 2005 et 2020 [1]. A cela s'ajoute ces néfastes émissions à effet de serre et le phénomène de réchauffement climatique comme corollaire la sécheresse, la disparition des certaines espèces. La prospection des biocarburants à partir des oléagineux s'avère très prometteuse pour booster le développement des pays Africains et surtout le milieu rural.

L'association Impulsion est localisé à BARSALOGHO une localité situé à 140 km au nord de la ville de Ouagadougou elle anime trois secteurs d'activités qui sont l'électrification rurale, l'hydraulique villageoise et l'environnement. Dans son plan d'action de favoriser l'accès à l'énergie à des populations rurales prospecte les moyens d'utilisation des huiles végétale pour produire de l'électricité (Balanites /Jatropha) compte tenu de la contrainte d'approvisionnement en carburant. Dans le cadre de ce travail, nous allons élaborer une contribution à un maillon fort de la chaîne à savoir la production du biocarburant à partir des huiles végétales dans un premier temps, il sera axé sur la présentation des huiles végétales comme l'huile de balanites. C'est dans ce contexte que l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) en collaboration avec l'association Impulsion ont proposé ce thème afin de pouvoir trouver des réponses aux objectifs assignés.

I.2 Méthodologie.

I.2.1. Objectif global de l'étude:

Optimisation de la production d'huile de balanites en suivant le processus de trituration du Balanites en vue d'obtenir une bonne huile carburant qui sera utilisée dans les moteurs pour produire de l'électricité.

I.2.2. Objectifs spécifiques de l'étude:

- Déterminer le meilleur rendement d'huile du Balanites à partir des fruits avec deux types de presse : une TINYTECH (marque indienne) et une MONTFORTS (marque Allemande).
- Déterminer le bilan d'énergie et de masse de la production d'huile de balanites ;
- Déterminer la meilleure forme de valorisation des résidus obtenus dans le processus de trituration : les tourteaux, les coques et la pulpe.

Les travaux du présent mémoire de fin d'études se déroulent comme suit :

- La recherche bibliographique:

Cette partie décrit les possibilités d'utilisation des huiles végétales pures comme carburant dans les moteurs diesel. Tous les problèmes et solutions liés à l'utilisation de ces huiles seront évoqués.

- Manipulations:

Il s'agit de faire des essais sur les deux types presses en vue d'étudier et d'évaluer leurs performances;

- Analyse chimique :

Il s'agit de déterminer les paramètres qui permettent de qualifier les huiles comme carburant conformément aux normes.

- Etude économique:

Cette partie permet de voir l'intérêt qui est derrière l'exploitation de diverses machines utilisées et les matières premières et l'énergie consommées afin de dégager un bilan financier comparatif.

II. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Généralité le sur le biocarburant.

Sans toutefois la définir, l'expression « biocarburant » est une concaténation de deux mots qui sont « Bio » qui signifie vie ou exempt de tout corps chimique et « carburant » comme combustible qui fournit de l'énergie thermique à un moteur, bref c'est le carburant obtenu à partir des biomasses végétales. L'histoire de biocarburant a commencé il y a plus d'un siècle lorsque RUDOLPH DIESEL (1858-1913) inventeur du moteur diesel qui porte son nom, utilisait l'huile d'arachide comme carburant. Il écrivait vers 1912 : « *l'utilisation d'huile végétale dans les moteurs Diesel peut sembler insignifiant actuellement. Mais ces huiles peuvent devenir avec le temps aussi importantes que le sont aujourd'hui les produits pétroliers ou issu du charbon* » la disponibilité et les prix bon marché des carburants fossiles ont fait disparaître les biocarburants. Suite au choc pétrolier de 1973, les biocarburants ont retrouvé leur place en tant que substitut aux produits pétroliers [2]. Cependant dans les années 2000 avec la hausse fulgurante des prix du pétrole, la situation instable de certains grands exportateurs de pétrole et la volonté de lutter contre l'effet de serre incitent les dirigeants pour la solution des biocarburants. IL existe trois grandes classes de biocarburant à savoir la première, la deuxième et la troisième génération. La catégorie de la première génération englobe tous les biocarburants obtenus à partir de la biomasse alimentaire. La deuxième génération désigne les biocarburants obtenus à partir de biomasse sans concurrence avec l'utilisation alimentaire (paille, tiges bois...). La troisième génération est celle créée à partir d'hydrogène produit par des micro-organismes ou à partir d'huile produite par des micro-algues. Les biocarburants sont de trois grandes catégories [3] : L'alcool ; Les esters ; Les huiles végétales.

L'alcool dit « bioéthanol », est produit par la fermentation du sucre contenu dans les plantes riches en sucre (betteraves, topinambours, canne à sucre...) ou en amidon (pomme de terre, maïs, manioc) ou encore dans les plantes ligneuses (bois, pailles...).

Les esters sont issus du mélange d'alcool et d'huile des graines oléagineuses. Le Diester est en fait issu de la transformation des huiles végétales, selon une réaction physico-chimique appelée transestérification. Cette transformation chimique est l'étape indispensable pour obtenir un produit stable, homogène. Dans les usines, les graines sont donc triturées (pressées) pour en extraire l'huile. Cette huile est ensuite partiellement raffinée avant d'entrer en réaction avec de l'alcool méthylique (ou méthanol). Cette réaction génère un Ester appelé « diester » ou « biodiesel » et de la glycérine, ce produit répond à la forte

demande en produits d'origine végétale de secteur cosmétique et de pharmacie. Par ailleurs, les tourteaux, la partie sèche des graines qui ont fourni l'huile, sont valorisés en alimentation animale pour sa richesse en protéines végétales.

Les huiles végétales (Balanites, Jatropha, Colza, Tournesol, Coprah, Palme, Arachide, etc.) qui sont utilisées comme telles après avoir été pressées à froid. Elles peuvent être utilisées (jusque 100 %) comme biocarburant pour tous les moteurs diesel (inventé à l'origine pour ce type de carburant), sous réserve de modifications mineures visant à réchauffer le carburant en question, ou, sans modification, en mélange avec du gazole ordinaire (30 % d'huiles et 70% de gasoil et ce sur tous les véhicules. dans certains cas, il est possible jusqu'à 50 % d'huiles végétales et 50% de gazole) [4]. Durant la seconde guerre mondiale, avec les difficultés d'approvisionnement en hydrocarbure, on prônait l'utilisation des moteurs à HVC par rapport au biodiesel pour la simple raison que le biodiesel nécessite un apport énergétique pour accélérer le processus d'estérification et se doit d'être traité dans des raffineries spécialisées avant d'être livré aux consommateurs, l'huile végétale peut être utilisée comme tel par la population. En cela, elle est considérée comme étant considérablement un des « carburants verts ». L'enjeu principal de la substitution des carburants fossiles par les biocarburants demeure sur le prix de vente du carburant qui est très élevé et avec les émissions de CO₂ comme corollaire néfaste pour l'environnement a cité l'exemple tangible de la situation atmosphérique actuelle de la France caractérisée par une forte pollution aux particules fines perturbant ainsi les trafics [5]. Les huiles utilisées pour la production de biocarburant sont issues des oléagineux, l'objectif est la substitution des énergies fossile par les énergies dites vertes surtout que leurs propriétés physico-chimique sont relativement proches mais qui sont différents en termes d'émission de CO₂. Selon Sergi [6], l'huile végétale pressée à froid et non traitée chimiquement est comparable dans sa composition au diesel, il est constitué par des liaisons carbones et hydrogène (hydrocarbures). L'une des différences se situe au niveau de la viscosité, nettement supérieure des huiles végétales. (L'index cinématique du diesel est de 2,3mm²/s ; et celui de balanites est de 34 mm²/s). Les huiles végétales représentent un carburant dont la production, l'utilisation et l'élimination sont possibles à l'intérieur d'un cycle de combustion [6]. Les nations industrialisées se sont engagées lors de la Conférence Mondiale sur le climat à réduire les émissions de CO₂ et les politiciens sont appelés à agir afin de trouver, des méthodes sûres, efficaces, rapides et peu coûteuses. D'après Sergis [6], il s'agit de faire des économies au niveau des carburants fossiles, en préconisant l'utilisation plus large d'énergies renouvelables

II.2. LES HUILES VEGETALES

II.2.1. Généralité Sur le Balanites

a. Description morphologique.

Faisant partie intégrante de société africaine depuis toujours, Le balanite *Balanites aegyptiaca* appelé couramment le dattier du désert, « tchakhala » en Moré ou « Hidjilidj » en Arabe ; est un arbre de 6 à 8 m de hauteur, formant une couronne arrondie très touffue caractéristique de la zone sahélienne dont le fruit contient une amande. Il résiste aux vents très violents, il a tendance à coloniser les zones de brûlis, les milieux défrichés. Bien implanté avec un fort enracinement il résiste bien à tous les dommages et fait preuve d'une excellente Persistance. Il a un fort pouvoir de régénération. Les photos 1 et 2 donnent un aperçu général de l'arbre et ses fruits.



Photo 1 : Plante de balanites (Boukar)



Photo 2 : Fruits de balanites (boukar)

Photo1 : fruit et plante de balanites

Le *Balanites aegyptiaca* est présent dans presque tous les pays d'Afrique au nord de l'équateur et dans plusieurs pays de l'hémisphère sud. Le *B. aegyptiaca* offre de la nourriture, des médicaments, des cosmétiques, du fourrage. Le fruit de *B.aegyptiaca* est une drupe comestible et un boisé endocarpe dur renfermant une amande de la graine comestible riche en huile [7].L'huile est rapportée riches en acides gras saturés et est utilisée comme huile de cuisson [7]. Il contient également des stéroïdes (saponines, sapogénines, diosgénine) utilisés comme matière première pour la production industrielle de la pilule contraceptive, les corticoïdes, anabolisants et autres hormones sexuelles [7] Indiquent que l'huile de noyau est composée de quatre principaux acides gras; Linoléique, Oléique, Stéarique et palmitique acide, mais dans des proportions variables. Certaines études [8] ont démontré l'utilisation de l'huile de *Balanites* est recommandé pour la production de biodiesel.

Deshmukh, et al. [8] ont montré après une étude sur l'utilisation des esters de *Balanites aegyptiaca* comme carburant pour moteur diesel. L'ester développé à partir de l'huile de balanites

par le procédé de transestérification est étudiée pour ses propriétés et les performances du moteur. Le balanites donne le rendement en ester de 95% au maximum. La viscosité de l'huile de balanites se trouve être diminuée de 89% après estérification, et le pouvoir calorifique de l'huile balanites esters méthyliques est près de 94% du carburant diesel. Le rendement du moteur avec le balanites ester méthylique d'huile en tant que combustible ressemble à celle de carburant diesel, tandis que les émissions de gaz d'échappement sont réduites par l'utilisation de l'huile balanites esters méthyliques.

b. Teneur en huile de balanites.

Le rendement de l'huile de *B.aegyptiaca* varie selon la graine et son environnement. Avaria et al. (2005) [9] ont constaté que la graine du *B. aegyptiaca* est constitué de 22,6 à 24 % des noix. Le rendement en huile de l'amande varie entre 38,53-50,56 % avec une moyenne de 44,5%. Des études faite en Ouganda se comparent bien à celle rapportée dans d'autres pays où *B. aegyptiaca* se trouve. Selon des études effectuées dans deux localités en Ouganda, la teneur en huile de Balanites pour la population Moroto (Ouganda) était relativement inférieure à celui des populations de Katakwi et Adjumani .Ces différences dans le rendement en huile pourraient s'expliquer par des différences dans les conditions environnementales entre les sous-régions ainsi que la variation génétique [9].

c. Caractéristiques physicochimiques de balanites

Le tableau1 récapitule les éléments caractéristiques de balanites.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimique de l'huile de balanites [13].

Caractéristique		Teneur	Détail
Composition	Acide saturé	27%	Palmitique (C16 :0)= 15%
			Stéarique (C18 :0)=12%
	Acide insaturé	73%	Oléique (C18 :1)=38%
			Linoléique (C18 :2)=38%
Viscosité cinématique		34-44mpa.s a 25	
Masse spécifique		NIC	
Pouvoir calorifique		NIC	
Indice de saponification		121-160mg KOH/g	
Indice d'iode		104.2-123,2mgI ₂ /g	

Ce tableau explique la répartition des acides gras contenu dans l'huile de balanites, c'est aussi pour mettre en évidence leur classification en termes d'acides saturé et insaturés.

Exemple : Acide gras saturé : comme l'acide palmique C16 :0 cela veut dire que l'acide gras possède 16 atomes de carbone et aucune double liaison ou insaturation.



Figure 1 : Structure chimique d'acide gras saturé.

Acide gras insaturé : comme l'acide oléique C18 :1 cela implique que l'acide possède 18 atomes de carbone et une double liaison ou insaturation.

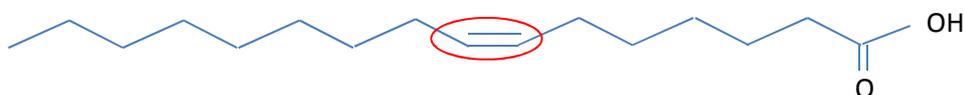


Figure 1 : Structure chimique d'acide gras mono insaturé (oléique).

Polyinsaturé : Comme l'acide linoléique C18 :2. 18 atomes de carbones et plusieurs insaturations.



Figure 2 : Structure chimique d'acide gras polyinsaturé (linoléique).

d. Les propriétés physico-chimiques des huiles végétales carburant.

Les caractéristiques physiques de quelques huiles végétales utilisées comme carburant dans les moteurs diesel sont présentées dans le tableau 2. Il s'agit de la viscosité cinématique, du pouvoir calorifique inférieur (PCI), de l'indice de cétane, de la densité, du point d'éclair, du point de fusion.

Tableau 2 : Caractéristique physicochimiques des huiles végétales [10]

Huiles végétales	Viscosité Cinématique à 38°C (mm ² /s)	Indice de Cétane	PCI (MJ/kg)	Point Trouble (°C)	Point de Fusion (°C)	Point éclair (°C)	Densité (kg/l)
Tournesol	33.9	37.1	39.60	7.2	-15	274	0.9161
Palme	39.6	42.0	-	31.0	-	267	0.9180
Coton	33.5	41.8	39.50	1.7	-15	234	0.9148
Sésame	35.5	40.2	39.30	-3,9	-9,4	260	0.9133
Arachide	39.6	41.8	39.80	12.8	-6,7	271	0.9026
Colza	37.0	37.6	39.70	-3,9	-31,7	246	0.9115
Soja	32.6	37.9	39.60	-3,9	-12,2	254	0.9138
Jatropha ¹	36± 1.3	-	39	9±1	4±1	229 ±4	0.917 ±1
Diesel	3.06	50	43.8	-	-16	76	0.8550

Murugesan et al [10] indiquent que la viscosité cinématique des huiles végétales pures varie dans la fourchette de 37-42 mm²/s à 38°C. La viscosité élevée de ces huiles est due à leur masse moléculaire importante [11]. Donnons quelques définitions de paramètres caractéristiques de HVP :

Le point éclair est la température à laquelle- un fluide émet suffisamment de vapeurs pour qu'elles puissent s'enflammer au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Le point éclair de l'huile végétale est très élevé (supérieur à 200°C) comparé à celui du diesel autour de 80 °C, ceci constitue un atout pour son stockage. Le pouvoir calorifique inférieur (**PCI**) représente la quantité de chaleur par unité de masse cédée par le carburant. Les valeurs de PCI de ces HVP ont de l'ordre de 39-40 MJ /kg et celui du gasoil est d'environ 44 MJ / kg. C'est la présence de l'oxygène dans la structure chimique de ces huiles qui fait baisser leur PCI d'environ 10% [11] comparé à celui du gasoil ;

L'indice de cétane mesure la facilité d'inflammation du combustible lorsqu'il est comprimé, il est dans la gamme de 37-42 pour ces huiles. Plus il est élevé, plus le carburant est facilement inflammable (démarrage à froid aisé). Selon F. Jiménez Espadafor et al [12], l'indice de cétane devrait être haut pour augmenter l'efficacité thermodynamique du moteur et pour réduire au minimum les émissions, notamment ceux de HC (hydrocarbures non-brûlés). La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires [13].

Les triglycérides sont constitués d'une molécule de glycérol estérifiée avec 3 molécules d'acides gras semblables ou différents [14]. Le schéma ci-dessous représente l'squelette de la structure.

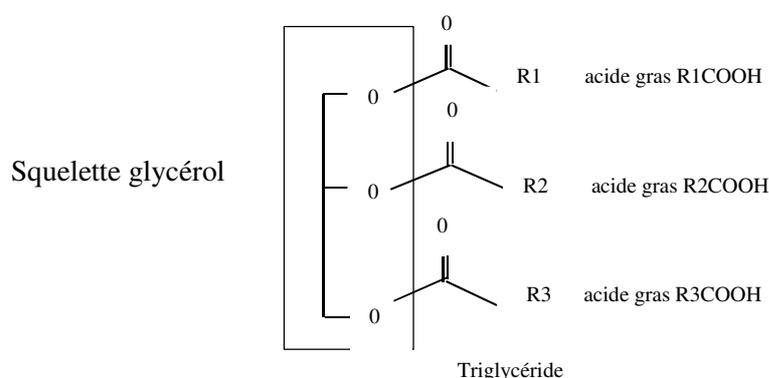


Figure 3 : structure chimique des triglycérides des huiles végétales [13].

Pour connaître le pourcentage d'acides libres contenu dans l'huile, on doit évaluer son acidité. L'acidité est mesurée par le nombre de mg de KOH nécessaire pour neutraliser les acides libres dans 1g d'huile. Par contre l'indice d'iode correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras, il permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile. Il varie de 0 à 200g/100g [15]

Les huiles peuvent se diviser en 4 grands groupes selon leur indice d'iode [14] explicités dans le tableau 3.

Tableau 3 : Indice d'iode des différentes huiles végétales [18]

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

La connaissance de l'indice d'iode (quantité d'iode susceptible de réagir sur les doubles liaisons des acides gras) permet de porter un premier jugement sur l'aptitude à la combustion de l'huile.

Plus l'indice est élevé, plus la combustion risque d'être problématique. Dans un objectif de développement de la filière huile végétale pure, il devient indispensable de mettre au point une norme de qualité de production des huiles carburant, un certain nombre des paramètres (teneur en eau, en particule, en phosphore, Acidité...) doivent être analysés avant son utilisation comme carburant dans les moteurs. Le tableau 4 donne les valeurs de paramètres a analysé pour garantir la qualité suffisante pour les HVC.

Tableau 4 : Paramètre a analysé pour une qualité suffisante pour HVC. [16]

propriété /teneur	Unité	maxi	norme
teneur en particules/sédiments	mg/kg (ppm)	24	DIN en 12662
Acidité	mg/kg (ppm)	2	DIN en 14104
teneur en phosphore	mg/kg (ppm)	12	DIN en 14107
teneur Ca Mg	mg/kg (ppm)	20	DIN en 14538
teneur en eau	% masse	0,07(750ppm)	DIN EN iso12937
teneur en cires			Chromatographie en phase gazeuse
totales	Ppm	100 (100ppm)	
crystallisable	ppm	75(75ppm)	

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

II.2.2. Extraction et purification d'huile.

II.2.2.1. Extraction

La farine obtenue après dépulpage et concassage est réchauffée à une température moyenne de 80°C (pression à chaud) ou sans chauffage (pression à froid), puis soumise à une forte pression. L'huile s'écoule et est recueillie et filtrée. Le résidu après pression s'appelle « tourteaux » qui sont des produits riches en protéines et utilisés pour aliment du bétail et comme engrais.

a. Le dégommeage.

Le dégommeage ou la démulcination a pour but d'éliminer de l'huile végétale brute les composés susceptibles de devenir insolubles par hydratation ou d'être éliminés avec la phase aqueuse (glucides). Il existe différents types de dégommeage de l'huile végétale mais nous allons citer les plus utilisés. Le dégommeage à l'eau qui consiste à utiliser de l'eau chaude qui insolubilise

les phospholipides ainsi que divers matières colloïdales. Le dégomme à l'acide qui consiste à éliminer les phospholipides non hydratables.

b. La neutralisation.

Elle élimine les acides gras des huiles brutes pour éviter tout rancissement ultérieur. C'est l'opération la plus délicate et la plus importante du raffinage. La neutralisation par des bases élimine les acides gras libres sous forme de savon appelé communément « pate de neutralisation » qui contient des mucilages et divers impuretés. Cette réaction permet donc d'enlever la quantité d'acide qui ne participe pas dans la liaison glycérique pour en faire le savon. Rappelons que la fabrication des HVP se fait en deux phases qui sont:

c. Pressage:

IL Consiste à obtenir l'huile par simple pressage à froid des graines ou amandes d'oléagineuses. L'huile obtenue est par la suite purifiée. Pour obtenir la proportion d'huile contenant dans un fruit oléagineux la connaissance de la formule suivante est nécessaire.

$$\text{Pourcentage d'huile} = \frac{\text{masse totale d'huile}}{\text{masse totale de la graine}^2} \times 100. [16].$$

d. Purification

Elle consiste à filtrer l'huile pressée, décantée et obtenir un produit normalisé répondant aux normes de qualité. C'est une étape qui permet de débarrasser l'huile des impuretés grossières (Particules lourdes, phospholipides) afin d'avoir une meilleur qualité de carburant. La purification des huiles quoi que souvent négligée est une étape nécessaire et fondamentale pour l'utilisation des huiles végétales dans les moteur [13].

Pour avoir des HVC de bonne qualité, deux techniques de purification sont recommandées [16]. La décantation de l'huile consiste à maintenir l'huile au repos pendant plusieurs jours voire quelques semaines (3 à 4 semaines) [16]. Une partie de particules solides (les plus lourdes) se trouvent par gravité au fond de la cuve. Il est recommandé de répéter la décantation dans les cuves successives pour maximiser l'efficacité. La décantation est la méthode la plus économique pour purifier l'huile. Toutes fois le processus requiert beaucoup plus de temps et d'espace. La décantation utilisée seule, permet difficilement d'obtenir le niveau souhaité pour une utilisation en termes de carburant. Il est donc conseillé de faire une ultime filtration de sécurité après l'étape de décantation [16].

Filtration direct : Elle consiste à filtrer l'huile en sortie de presse à plateaux un filtre vertical. La filtration directe à basse température n'est pas aisée à cause de la viscosité importante des HVC. Toutes fois, filtrer l'huile à trop haute température permet le passage à travers le filtre des

particules indésirables au point de fusion la plus élevée ; il est dès lors recommandé de filtrer à une température entre 20 et 60°C [16] .Au-dessus de 60°C il y a un risque élevé d'oxydation de l'huile qui diminue la durée de conservation de celle-ci. Il existe plusieurs types de filtres mais le système à plaques est particulièrement efficace pour garantir une filtration suffisante. Lorsqu'on utilise un filtre à plaques il est recommandé de filtrer directement sans passer par la décantation. En outre, lorsque l'on filtre directement l'huile après pressage, la filtration est plus aisée du fait de la température adéquate de l'huile. En effet, dû aux frottements existants dans la presse, l'huile est chauffée à la bonne température pour la filtration, soit aux alentours de 60°C. Idéalement la filtration doit être de 10 µm pour éviter toutes contaminations et toutes impuretés dans huile [16] .

e. Les types de presse :

Il existe plusieurs types de presse qui sont : la presse hydraulique, la presse à barreaux, la presse à cylindre perforé, la presse Bilienberg... Dans le cas de notre étude, nous nous intéressons aux presses à cylindre perforé et la presse à barreaux ou à cage d'écureuil.

- **La presse à barreaux :**

Le rendement de la production dépend du type de presse et de la nature de la biomasse oléagineuse. Avec la presse à vis les rendements sont satisfaisants mais leur huile sont trop chargée en sédiments. Avec un bon réglage, le taux de recouvrement peut atteindre 91%. [16]



Photo 2 : presse à cage d'écureuil] [17]

- **La presse à cylindre perforé :**

La presse à cylindre perforé est un type de presse dont la vis est recouverte par un cylindre perforé permettant l'écoulement de l'huile au cours du pressage. Cette technologie à une faible capacité productive qui varie entre 2 et 110kg/h. Elle peut atteindre un taux de recouvrement 85%. [16]



Photo 3 : presse à cylindre perforé [17]

III. UTILISATION DES HVP DANS LES MOTEURS DIESEL.

III.1.Généralités sur les moteurs diesels.

Le principe du fonctionnement diesel classique est le suivant : le mélange comprimé d'air et de carburant s'enflamme à l'intérieur d'un cylindre dans lequel se déplace un piston relié à un vilebrequin par une bielle. Le mouvement du piston s'effectue entre deux positions appelées point mort haut (PMH) et point mort bas (PMB) correspondant respectivement au volume minimal et maximal réactionnel. L'énergie dégagée par la combustion engendre un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle [18]. Les moteurs diesels sont des moteurs à combustion interne constitués d'un ou de plusieurs cylindres dans lesquels a lieu la combustion grâce au mouvement des pistons. Ils ont pour rôle de transformer de l'énergie chimique du combustible en énergie mécanique grâce à la combustion. La combustion se déclenche par auto inflammation, le combustible finement nébulisé dans la chambre de combustion par un injecteur est introduit dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne la valeur à laquelle le mélange s'enflamme [13]. L'énergie dégagée par la combustion engendre alors un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle. La figure 4 montre les différents états de course du piston dans un moteur diesel.

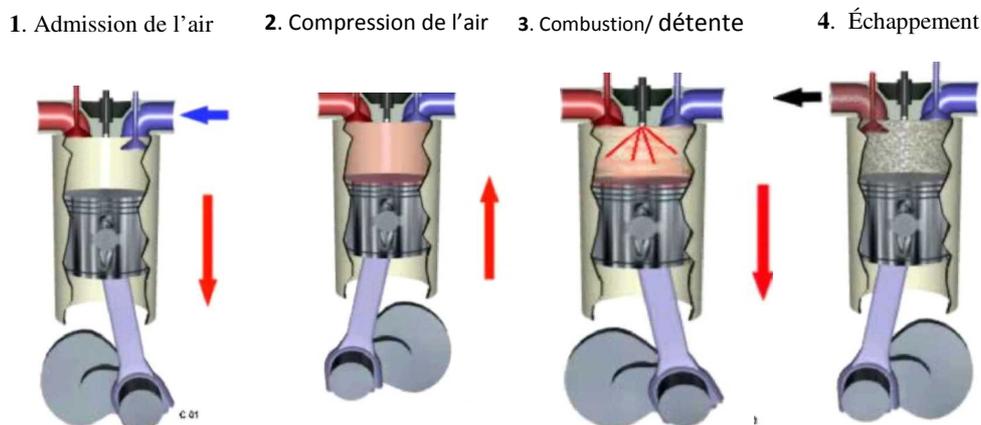


Figure 4 : Les temps du moteur à 4 temps [22]

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

III.1.1. Les moteurs à injection indirecte.

Ces moteurs équipent la plupart des véhicules automobiles et les très gros moteurs industriels. Pour qu'ils fonctionnent correctement, le carburant et l'air doivent être correctement mélangés.

L'injection indirecte constitue le moyen le plus simple de créer une turbulence qui assure un mélange intime de la dose de carburant avec l'air déjà fortement comprimé dans la chambre de combustion. D'une manière générale, les moteurs à injection indirecte acceptent bien l'HVP (100%) sans autres modifications que le tarage des injecteurs et le réglage de la pompe d'injection. Ils sont parfois équipés de bougie de préchauffage et fonctionnent à température élevée 500°C à 600°C dès 10% de la puissance délivrée [19], la pression d'injection varie entre 120 et 180 bars.

Avantages : [20] :

Rendement élevé, donc consommation assez faible.

Bon départ à froid

Simplicité de réalisation.

Inconvénients :

Moteur bruyant : cognement caractéristique au ralenti et à faible régime.

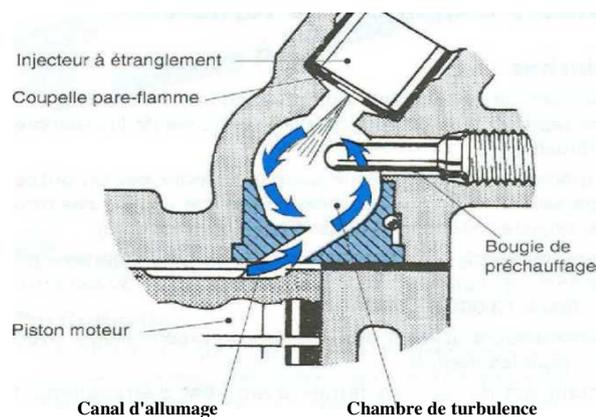


Figure 5 : Moteur à chambre de turbulence [35].

III.1.2. Les moteurs à injection directe

Ces moteurs équipent la plupart des tracteurs agricoles depuis 25 ans, les camions et les moteurs statiques industriels. L'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre de combustion. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les huiles végétales pures. Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées, ces types de moteurs connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement [21].

On distingue deux types des moteurs à injection directe:

- **Injection directe ancienne génération :**

Ces types de moteurs, lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, la température moyenne de la chambre de combustion est inférieure à 200°C. La pression d'injection est comprise entre 180 et 250 bars [22] Le moteur doit tourner à au moins 70% de sa puissance maximale pour pouvoir accepter l'huile sans problème [23].

- **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 [22], 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 [23].

Avantage [20]:

Pression d'injection moins élevée.

Moteur moins bruyant;

Combustion plus souple et plus rapide.

Régimes moteurs plus élevés.

Inconvénients : Départ à froid impossible sans dispositif d'aide au démarrage. La figure ci-dessous donne une vue du moteur à injection direct :

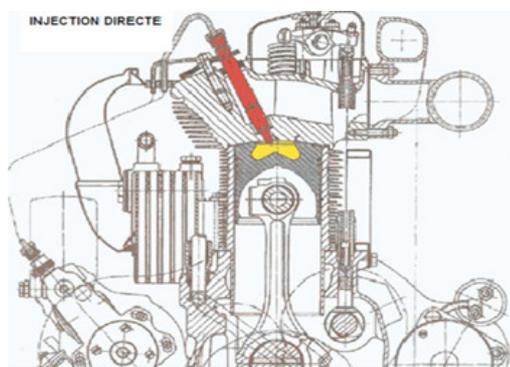


Figure 6 : Moteur à injection directe [35]

III.2.Problemes rencontrés lors de l'utilisation de HVP.

Les conditions d'utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesel sont étroitement liées aux propriétés physico-chimiques intrinsèques des HVC posant le plus de problèmes sont principalement la viscosité, indice de cétane, le PCI, et la stabilité des HVC [18] .

a. viscosité

La viscosité des huiles est nettement plus élevée que la viscosité du gasoil à température ambiante ce qui pose des problèmes de pompage de carburant et d'écoulement à travers les tuyaux et les filtres. Mais également une détérioration des caractéristiques du jet injecté et d'atomisation du carburant dans la chambre de combustion du moteur [18] On observe enfin des problèmes de combustion qui conduisent à des encrassements dans la chambre de combustion. Dans le cas le plus défavorable, l'encrassement est limité à la zone environnant les trous d'injecteurs sinon au pire des cas, on observera la formation de dépôts goudronneux sur la culasse, les injecteurs, les pistons, les soupapes [16]. Les photos ci-dessous montrent l'effet d'usage d'huile végétale sur le piston.



Photo 5 piston injection direct [16].



Photo 4 encrassement du piston [16].

b. influence de la composition chimique des huiles

Le délai d'inflammation est plus long pour une majorité des huiles quand la température de la chambre de combustion est inférieure à **500°C**. Cela est dû en partie à un faible indice de cétane des HVP. Néanmoins, des récentes études menées par le S. SIDIBE et J. BLIN [24] ont démontré que quel que soit le régime du moteur (faible ou élevé), le préchauffage de l'huile de Jatropha ou de coton (pour une utilisation à 100% d'HVP dans le moteur diesel, la température de préchauffage est de 100°C) diminuait les délais d'inflammation. Aussi, une charge élevée sur le réseau contribuerait également à réduire les délais d'inflammation et cela peu importe que l'huile végétale soit réchauffée ou non [24] Par ailleurs, la combustion de l'huile, même réchauffée, purifiée et raffinée, ne s'effectue pas complètement ce qui entraîne des pertes de puissance et de rendement et des rejets en CO, NOx et HC plus importants que pour le gasoil [18] . Il se produit également une dégradation et un encrassement des nez d'injecteurs, des segments et des cylindres conduisant à des détériorations mécaniques. Enfin, l'énergie calorifique des HVC étant inférieur à

10% par rapport au gasoil, on constate une surconsommation de l'HVC par rapport au gasoil pour délivrer la même puissance. [16].

III.2.1. Solutions d'utilisations des HVP dans les moteurs Diesels.

Bien que les HVP posent des problèmes en tant que carburant, des solutions ont été développées à savoir :

- Utilisation directe de HVP (Bicarburant) ;
- Les mélanges huile/gazole ;
- Modification complète de la chambre de combustion.
- La Transestérification de l'HVP ;

Pour notre cas spécifique nous prônons les deux premières solutions car elles sont moins coûteuses et ne nécessitent pas beaucoup d'entretiens ;

III.2.2. Adaptation type bicarburant sur les moteurs à injection indirecte.

il est recommandé d'adopter le moteur pour fonctionner en « bicarburant ». la bicarburant 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 (500°C). Ce procédé a été mis en place et appliqué par le CIRAD dans les années 1990 sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes. Il consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gazole. Sur ce circuit, on trouve en série [18]:

- Un filtre à carburant adapté à l'huile végétale ;
- Un réchauffeur, pour réduire la viscosité de l'huile et se rapprocher de celle du gazole ;
- Une pompe de circulation et de gavage de la pompe à injection ;
- Une électrovanne qui permet de basculer d'un carburant à un autre c'est-à-dire

Permettant de fonctionner soit au gazole soit à l'HVP. Le cas échéant un réchauffeur pour réduire la viscosité de l'huile et se rapprocher à celle du gasoil. L'utilisation du réchauffeur dépend de la nature de l'huile végétale (plus tôt pour les huiles très visqueuses) des conditions climatiques (température ambiante inférieure 20°C) et du type de moteur utilisé (moteur à régime variable de fonctionnement comme dans le véhicule).

III.2.3. Fonctionnement à partir de mélange huile végétale/gasoil

L'idée de l'utilisation des mélanges d'huile avec du gasoil est de réduire la viscosité des huiles végétales dans la chambre des combustions. Les études sur l'utilisation des mélanges comme

carburant à moins de 30% de teneurs en huile ont montré que les performances du moteur sont comparables avec celle du gasoil [18]. L'utilisation en mélange avec le fuel permet de s'affranchir des problèmes de viscosité de l'huile mais il faut cela dit ne pas laisser le moteur au repos pendant longtemps afin d'éviter les séparations des huiles et du gasoil dans le réservoir.

IV.MATERIELS ET METHODES.

IV.1. Matériels :

Les matériels utilisés dans l'unité de production se résument comme suit :

- Une dépulpeuse ;
- Une concasseuse ;
- Une presse mécanique TINYTECH marque indienne ;
- Une presse électrique MONFORT marque Allemand ;
- Deux filtres à plaques ;
- Un filtre à cartouche ;
- Une pince ampérométriques ;
- Balance électrique de précision « AXPERT ».

IV.1.1. Description des machines susmentionnées.

a. La dépulpeuse.

C'est une machine électrique permettant de retirer la pulpe des graines de balanites. Elle est munie d'un moteur asynchrone qui entraîne un rotor central équipé des pales en rotation dans une enceinte tubulaire horizontale dans lequel se trouve un grillage filtrant. Les graines sont mises dans l'enceinte rotative avec de l'eau ; par frottement des pales-grillage, les graines sont nettoyées de leurs pulpes et la solution juteuse (pulpe plus eau) est drainée par une canalisation vers des bacs prévu à ce effet.

b. La concasseuse

C'est une machine électrique qui a la capacité de concasser les graines en les réduisant en poudre. Elle est équipée de deux moteurs asynchrones, l'une entraîne le concasseur et l'autre entraîne un système de ventilation, le mélange amande-coques est ensuite séparé à l'aide de nettoyeur rotatif (ventilateur).

c. La presse « Tinytech ».

C'est un extracteur d'huiles, elle est composée d'une chambre de presse contenant une vis sans fin, une cage à barreaux horizontale couvrant la vis. La vis est réglée par le levier (photo 6) afin de laisser sortir les tourteaux. Une petite pompe mécanique est couplée à l'arbre de la vis qui aspire et refoule les huiles pressées vers le filtre à plaques.

d. La presse électrique

C'est un extracteur d'huile, doté d'un moteur électrique et deux têtes (chambres de presse). Elle a la permet de triturer les graines pour donner l'huile et les résidus (tourteaux, gâteaux).

e. Les filtres à plaques

Deux filtres à plaque Montforts et Tinytech sont disponibles, constitués des plaques dans lesquelles se trouvent des toiles filtrantes servant la filtration des huiles.

f. La Balance.

La balance de précision sert à déterminer la masse de graines à peser. Le tableau 5 donne les caractéristiques de machines.

Tableau 5 : Caractéristiques électriques des machines.

Machines		puissance (kW)	cos Φ	courant (A)	tension (V)	fréquence (Hz)	N (tr/min)
Décortiqueuse	moteur 1	2,2	0,8	4,8	380-420	50	Nd*
	moteur 2	7,5	0,8	14,9	380/660	50	Nd*
Monforts		3	0,78	6,5	400	50	1445
Tinytech		-	-	-	-	-	50

Nd* : signifie les caractéristiques non définies sur la plaque signalétique.

IV.1.2. Chaîne de production

La chaîne de production se schématise comme suit :

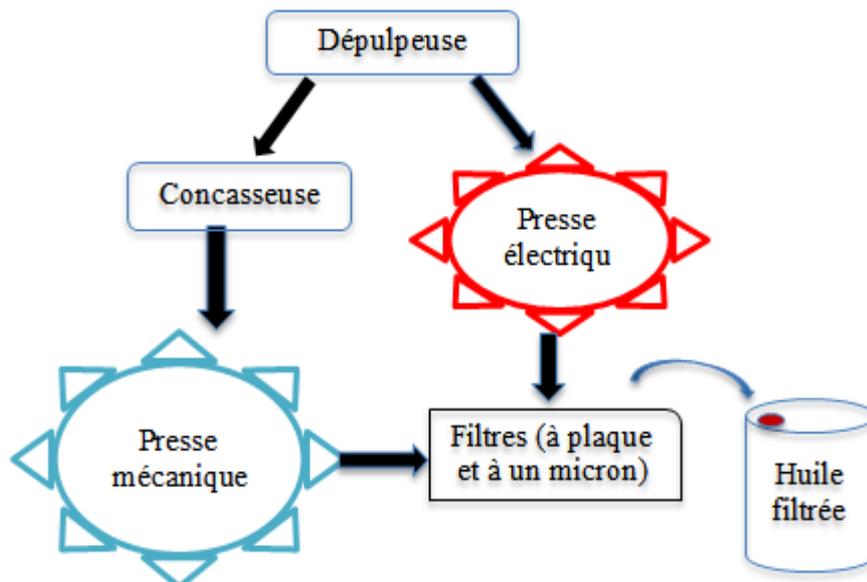


Figure 7 : Chaîne de production d'huile.

V1.2.1 Méthodes utilisées :

a. Presse électrique

La photo 4 donne ne vue panoramique de la presse électrique MONFORTS.

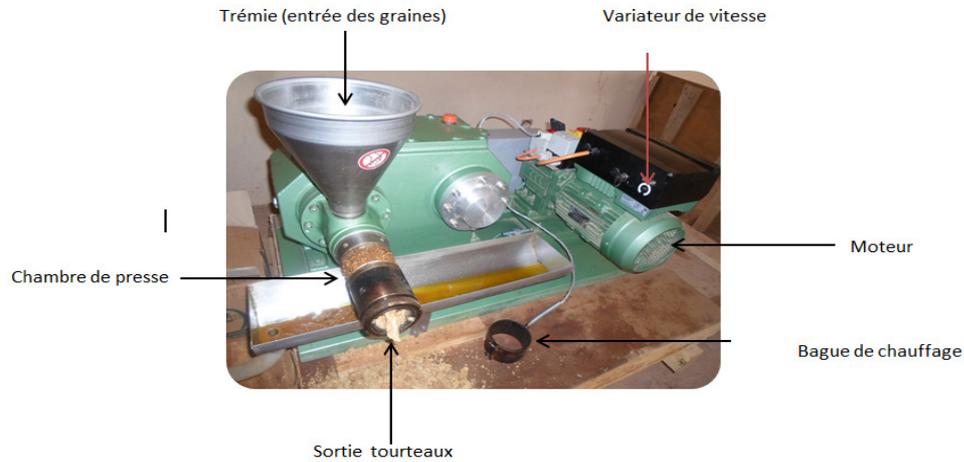


Photo 6: Aperçu de la presse MONFORTS (Boukar).

Une fois les graines arrivées, elles passent à la dépulpeuse condition sine qua non pour le reste de la chaîne de production. Les gaines seront étalées au soleil (séchage naturel) puis elles passent dans la décortiqueuse pour le concassage et par la suite les amandes sont pressées par la presse TINYTECH.

La **presse électrique** de marque allemande 'MONFORT' est destinée pour tous les oléagineux mais le cas de balanites est spécifique. pour une bonne marche de l'opération, il convient avant la mise sous tension de commencer d'abord le chauffage de la tête de vis par une bague de résistance chauffante prévue à cet effet. Mettre sous tension avec une vitesse au niveau 0% via le variateur de vitesse réglable de 0 à 100%. Faire varier progressivement en même temps en mettant les graines par poignée jusqu'à ce qu'à l'apparition des gouttes d'huile à travers le cylindre perforé, en suite remplir à ras bord. La trémie (entonnoir pour orienter les graines) étant petite la surveillance doit être assurée afin d'éviter la consommation inutile d'énergie.

b. Presse mécanique

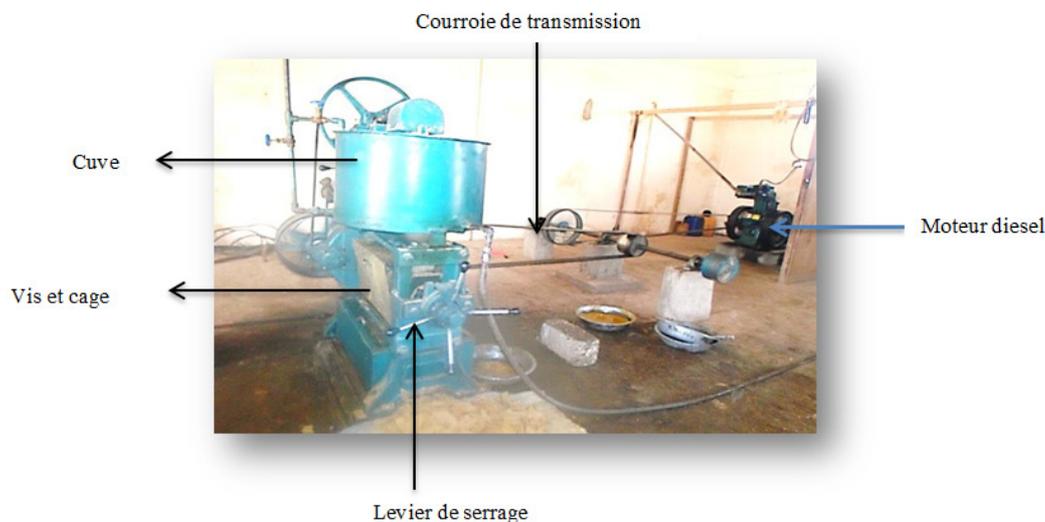


Photo 7: vu d'ensemble de la presse mécanique (impulsion)

Après la mise en marche de la machine, on charge la cuve de farine de balanites, à la sortie de la cuve les farines tombent dans la trémie qui alimente la presse. Quelques minutes après, les huiles s'échappent à travers les barreaux de la cage. Pour permettre la sortie des tourteaux, une action sur le levier de serrage est nécessaire. Plus le levier est serré moins les tourteaux sortent et on a des huiles plus boueuses qui giclent de la presse et tombent dans un bac de récupération. Il faut trouver un réglage optimal qui libère les tourteaux et laisse l'huile moins chargée de boue en sortie. L'huile recueillie sous la presse est extrêmement chargée en particule solides (sédiments) la grille qui couvre le bac de récupération permet d'effectuer une préfiltration grossière puis une première décantation au fond du bac par gravitation puis lors de la filtration dans les filtres à plaque. Les particules solides sont piégées sur les toiles et l'huile coule au bas des plaques et est recueilli via des robinets. Un nettoyage périodique des toiles est nécessaire pour éviter les colmatages.

V. RESULTAT ET DISCUSSION

V.1. Analyse chimique des constituants des huiles.

a. Caractérisation des huiles.

L'huile végétale devient biocarburant lors que ses paramètres sont dans les fourchettes fixées par la norme. La caractérisation est l'opération qui consiste par une analyse physicochimique de confirmer la qualité d'huile. Les paramètres étudiés dans notre cas sont : La teneur en eau, la teneur en sédiments, la teneur en phosphore, Indice d'iode, l'acidité, la teneur en huile, la densité. Les résultats de ses paramètres sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Résultat d'analyse chimique

PARAMETRES	UNITE	PRESSE MONFORTS	PRESSE TINYTECH	La NORME	METHODE
Acidité	mg KOH/g	1,13	5,88	3	ISO 660
Teneur en eau (Kar Fischer)	Ppm	1017,32	889,89	750	ISO 8534
Teneure phosphore	Ppm	61,4	16,94	50	ISO10540-1
Teneur en sédiments	Ppm	67.07	169.9	100	ISO 663
Indice d'iode	g I2/100g	95,8	95,48	100-105	ISO 3961
Densité	Kg/m3	914,49	916,45	900-960	ISO 6883

b. Interprétation

En observant les valeurs d'acidité, on constate que l'huile produite par TINYTECH à une teneur en acide élevé, cette acidité peut provenir des conditions de stockage inappropriées par hydrolyse en présence d'eau. La présence d'acide dans l'huile est préjudiciable au moteur, car elle détériore les organes en amont de la chambre et son responsable de l'instabilité d'huile durant l stockage [16].

La teneur en eau est en excès dans les échantillons comme indique le résultat d'analyse, la présence d'eau forme des acides gras libres et cause les problèmes la corrosion et diminue l'énergie libérée [16]. La présence d'eau s'explique par le fait que les graines ne subissent pas un

séchage approprié ou par fois les réservoirs de stockage contiennent d'eau résiduelle après le lavage.

La valeur de teneurs en phosphore de est Tynitech dans la norme et celle MONFORTS s'écarte légèrement. La présence de phosphore est favorisée par la haute température jusqu'à 80°C selon le procédé de trituration ou de filtration. Aussi la température de pressage en est un facteur. Les phospholipides sont des constituants indésirables pour un usage carburant car elles sont responsables de l'encrassement des soupapes, de la chambre de combustion et des cylindres [16].

La présence accru des sédiments dans l'huile Tinytech est due aux conditions de conservation des graines (emballage fragile qui se perce facilement) et le procédé de décorticage qui se fait en masse et sans un tri ni nettoyage au préalable. Pour MONTFORT les graines sont directement triturée et donc subissent un nettoyage en amont ce qui défavorise la présence de sédiments.

L'observation des valeurs d'indice d'iode de deux échantillons montrent des valeurs inférieurs aux normes. Cela le classe parmi l'huile mono insaturée comme indique le tableau3. Il mesure l'instauration des huiles et leur facilité à s'oxyder. Lorsqu'une huile insaturée sèche, elle se polymérise et se transforme en une substance visqueuse ce qui a pour cause le problème de pompage de circulation, pulvérisation dans le moteur. Des contions inappropriée pendant des longues périodes conduit à l'oxydation. Les valeurs d'indice d'iode confirment que l'huile de balanites est constituée en majorité des acides insaturés (73 %) (o.kadri nounou 2011).

La densité est le rapport de masse du corps gras à son volume. C'est un paramètre à prendre en compte pour ajuster le débit du carburant. Pour les deux échantillons elles répondent aux normes.

V.2. Bilan de masse et énergie de la presse.

Le bilan de matières est un processus qui consiste à faire une analyse de la quantité des matières entrantes (graines de balanites) et celles qui en ressortent (huiles, tourteau et boues) et de l'énergie consommée afin de dégager un bilan technique et apporté un jugement scientifique sur la performance de la machine.

V.2.1. PRESSE MONFORTS

La presse est dotée de variateur de vitesse (0 à 100%), nous avons fait varier de 50 à 80% de la rotation .une expérience faite sur un échantillon de 100 kg donne les résultats sont dans le tableau6.

Tableau 7 : Bilan de masse et énergie.

PRESSE MONFORTS			
Vitesse %	50	70	80
Boue (kg)	1,55	1,3	0,55
Tourteaux (kg)	94	94,95	95,85
Perte (kg)	1,45	1	0,9
Huile (kg)	3	2,75	2,7
Débit (kg/h)	1,96	2,5	2,54
Energie (kWh)	55	62	66
Temps d'opération(Heur)	50.93	41.33	39.41

Le résultat du tableau 6 n'est pas encourageant, car le rendement maximal d'huile est de 3%. Aussi la consommation d'énergie est très élevée alors que le moteur consomme 3 kW de puissance. La montée en flèche d'énergie (55 à 66 kWh) comme indique le tableau s'explique du fait de son faible débit et du temps prolongé d'opération (plus de 50h pour 100kg). La figure 8 illustre la corrélation de la vitesse avec le rendement et de la consommation d'énergie.

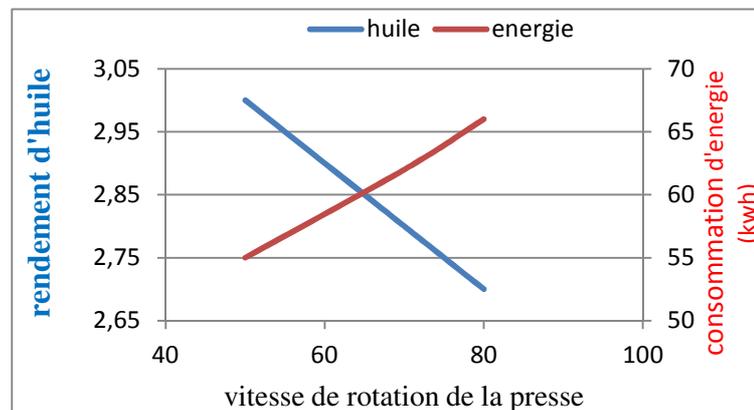


Figure 7 : Influence de la vitesse sur le rendement d'huile et la consommation d'énergie.

L'analyse du graphe montre que la courbe de consommation d'énergie augmente quand la vitesse de rotation de la presse augmente, tandis que celle du rendement d'huile décroît. Le profil de la vis a un impact sur le rendement car les pas dentaires sont beaucoup plus rapprochés (photo 7),

cela ne permet pas aux grosses graines de rentrer dans la chambre de presse et par conséquent l'opération prend du temps.

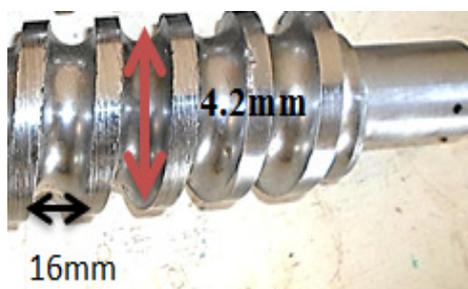


Photo 8 : Vis sans fin A (Boukar)

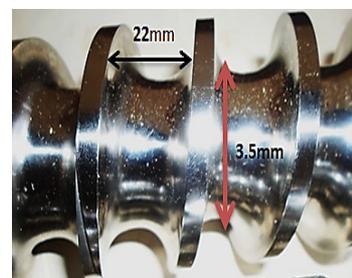


Photo 9: vis sans fin B (boukar)

Après l'opération de changement de la vis sans fin A (photo8), une expérience de trituration est faite avec la vise B en variant le potentiomètre de 50 à 100%. Le résultat est donné dans le tableau7.

Tableau 8: Récapitulatif de bilan de masse et énergie presse Montforts.

tableau2: bilan de matières et d'énergie						
Variateur %	20	60	70	80	90	100
températures °C	74,6	79,22	79,55	79,7	81,32	82,15
vitesse tr/min	20	23	27	31	34	36
Gâteaux (kg)	1	1,2	1,35	1,5	1,35	0,7
Tourteaux (kg)	92	92,3	92,7	93,1	93,4	94
Perte*(kg)	1,9	1,5	1	0,9	0,95	1,3
Huile (kg)	5,1	5	4,95	4,5	4,3	4
Débit (kg/h)	15,6	16,7	18,18	19,2	21,74	23,8
énergie (kWh)	11	12,3	12,6	14,8	15,6	16
temps d'opération (heur)	6,39	6,1	5,6	5,3	4,6	4,2

Le résultat du tableau est encourageant, la consommation d'énergie a considérablement baissé et le rendement d'huile est nettement amélioré. Le profil de la vis sans fin a influé sur le temps de pressage qui passe en moyen de 50 heures à 5h pour 100 kg de graines. Le graphe de figure 7

affiche l'évolution du rendement et de l'énergie consommée en fonction de la vitesse de rotation de la presse.

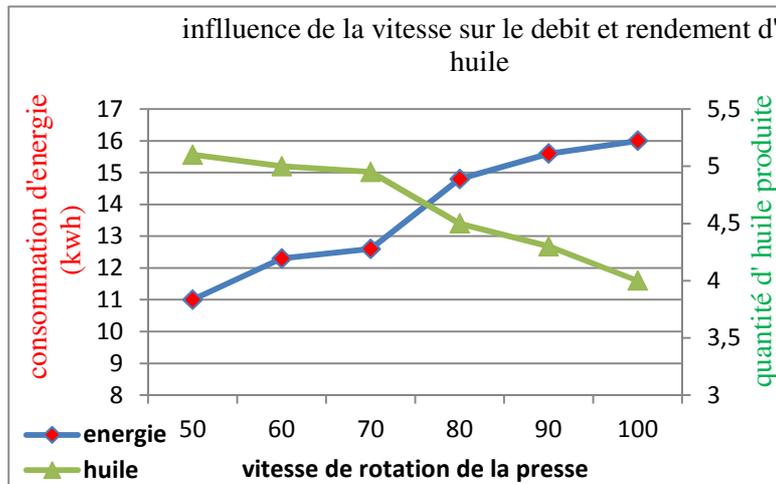


Figure 8 : influence de la vitesse de rotation sur la consommation d'énergie et le rendement d'huile.

Ce graphique appuie le tableau 7 en mettant en exergue l'impact de la vitesse de presse sur le rendement d'extraction d'huile et la consommation d'énergie. Il offre un comportement similaire à son homologue précédent (figure 6). La consommation d'énergie est fortement corrélée à l'évolution de la vitesse. Par contre le rendement d'huile diminue quand la vitesse augmente. Plus le moteur tourne à grande vitesse, plus il consomme d'énergie. La chute du rendement en huile est due au fait que le séjour des graines dans la chambre de presse est court, par conséquent les graines ne sont pas bien pressées. Les tourteaux sortent avec beaucoup d'huile résiduelle. Le point de croisement des deux courbes est le point où l'énergie et le rendement d'huile sont moyens. Comme le variateur est subdivisé par pas de 10%, nous suggérerons la vitesse de 70% comme point de bon rendement car au-delà de 70 on se heurte à une élévation de la température qui affectera la qualité d'huile.

V.2.2. Presse mécanique TINYTECH

Rappelons que la presse mécanique consomme du gasoil, aussi du courant de manière indirecte. Pour obtenir les farines d'amande, les graines subissent un concassage électrique (consommation d'énergie). Un essai de trituration de l'amande de 135 kg est effectué, le résultat est présenté dans le tableau 9.

Tableau 9 : récapitulative du résultat d'essai

Matières entrées (kg) ▼	Matières sorties (kg)		Résultats %
Masse amande 135	Masse boue	12	8.88
	Masse tourteau	89	66.66
	Perte*		
	Masse d'huile	33	24.44

Interprétation

Le résultat obtenu n'est pas très encourageant en terme de rendement d'huile, seul **24.44%** de la masse totale est transformée en d'huile tout le reste sont des tourteaux et des gâteaux respectivement **8.88%** et **66.66%** du total entrant. On remarque un manque 1kg de matières sortantes soit **0.7%**. Cela s'explique par plusieurs raisons : la première raison est qu'on n'arrive pas à récupérer toutes les huiles qui entrent dans le filtre car les toiles de filtre stockent une quantité d'huile et de tourteaux, aussi le tuyau qui assure la transite d'huiles stocks des huiles. Pour améliorer le rendement, nous allons agir sur les différents paramètres permettant d'optimiser. Ces paramètres sont :

- La température de presse ;
- Débit de farines ;
- Taux d'humidité des amandes.

Un deuxième essai est effectué sur un échantillon de 100kg de graines. le résultat est dans tableau 10.

Tableau 10 : bilan de matières de TYNITEECH

Température de pressage 38°C						
graine (kg)	Coque (kg)	amande (kg)	perte (kg)	huile (kg)	Gâteaux (Kg)	Tourteaux (Kg)
100	65	35	0,36	9,3	1,44	23,9
	65		1,0%	26,6%	4,1%	68,3%
Energie (kWh)	3					

En observant le résultat du tableau, on constate que le 100 kg de graines donne 35 kg d'amande et 9.3 kg d'huile. Le rendement en huile a augmenté comparativement au premier essai. Cette amélioration du rendement est due au séchage de la farine et du réglage du levier de serrage de la vis (débit).

V.EXTRACTION AU SOLVANT (HEXANE)

C'est un procédé d'extraction chimique qui permet d'extraire la totalité d'huile contenant la graine de balanites. Une étude réalisée a permis d'extraire jusqu'à 50 à 66% [25].

V.1. échantillonnage

Deux échantillons ont été prélevés lors de l'expérience, il s'agit d'un échantillon de graine et un échantillon d'amande pure. L'objectif ici est de connaître la quantité réel d'huile que regorge la gaine afin de déterminer le taux de recouvrement les rendements. La figure 9 donne une proportion de chacun des deux échantillons testés au LBEB.

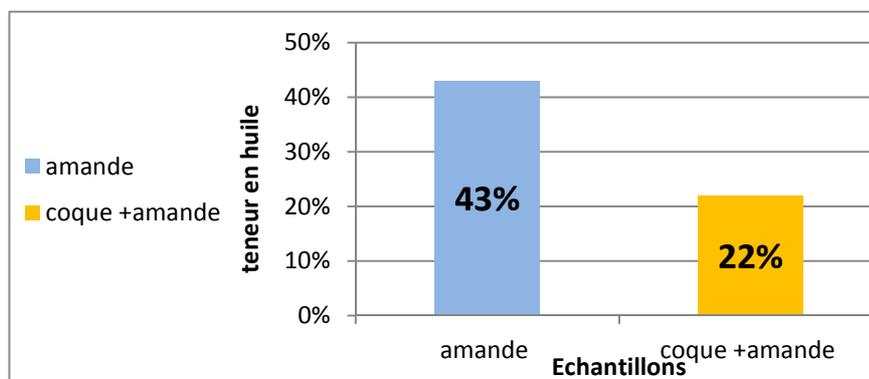


Figure 9 : Influence de la coque sur le rendement d'huile

Le résultat de l'expérience donne 43% d'huile dans l'amande et 22% d'huile dans l'échantillon graine broyée .De cette expérience nous pouvons conclure que la coque diminue le rendement d'extraction d'huile. On comprend aisément le faible rendement obtenu en utilisant la graine sur la presse électrique (4.95%).

V.2. Influence de la dimension de la graine sur rendement d'huile.

La dimension des graines ont aussi une influence sur le rendement d'extraction. Une sélection des graines (2.5cm longueur 1.7de largeur) par rapport à la première expérience a donné le résultat d'histogramme.

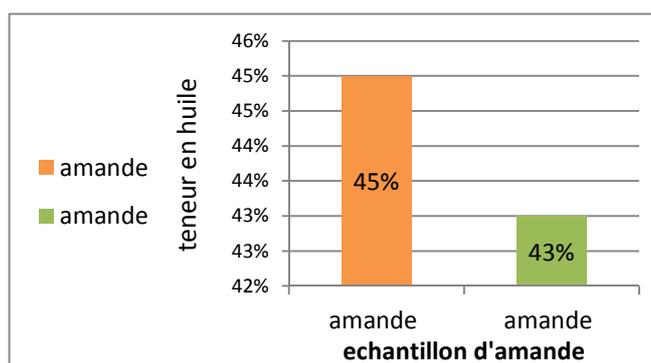


Figure 10 : Influence de la dimension de la graine sur rendement d'huile.

Le graphique met en évidence le rendement en huile est fonction de la dimension de la biomasse oléagineuse ; plus elles sont de grandes dimensions plus elles sont gorgées d'huile par rapport aux petites. C'est un paramètre fondamental à prendre en compte pour accroître la production.

- Les rendements des presses.

Le rendement est lié à la teneur en huile des oléagineux et de la performance de la presse. On distingue trois paramètres [16] :

- Le taux de recouvrement (Tr) qui est égale à la masse d'huile extraite sur la masse d'huile dans la graine.
- Le rendement brut est égal à la masse d'huile extraite sur la masse de l'oléagineux
- Le rendement net(Rn) est égal à la masse d'huile purifiée sur la masse de l'oléagineux

▪ **Monforts:**

$$\text{Tr} = \frac{4,95}{22} = 0,22 \text{ soit } 22\% ; \quad \text{Rn} = \frac{4,95}{100} = 0,05 \text{ soit } 5\%$$

CCL : le faible Tr traduit la faible performance de la machine (Monforts)

Tynitech :

$$\text{Tr} = \frac{9,3}{15} = 0,62 \quad 62\% ; \quad \text{Rn} = \frac{9,3}{35} = 0,266 \quad 26,6\%$$

Pour une exploitation industrielle, la technologie Tynitech est porteuse avec **un Tr 62% et Rn 26%**.

V.3.Conclusion :

L'extraction au solvant a confirmé le faible rendement de la presse électrique qui utilise les graines. Les coques impliquent des grandes pertes d'huile. Bien que le rendement de la presse mécanique est élevé par rapport au premier cas, on peut toujours améliorer en privilégiant les grosses graines par rapport aux petites ; Car la teneur en huile est au prorata de la dimension des graines comme affiche la figure10.

VI. ETUDE ECONOMIQUE

Cette partie soulève le questionnement tel que qu'est-ce que je gagne si j'utilise telle ou telle technologie ? Que dois- je faire pour arrondir les angles pour mieux tirer profit ? Sur de raisonnement simple, nous allons donner une idée globale sur la question de rentabilité de deux technologies des presses afin de mieux s'orienter pour maximiser la production. Nous recensons les éléments nécessaires qui font partie d'étude économique. L'étude économique permet de fixer le prix de vente du produit fini en évaluant d'abord le prix de revient (le prix qui couvre l'ensemble des charges) puis ajouter à cela une marge bénéficiaire. Autres aspect pris en compte dans le calcul, est l'amortissement des machines. L'amortissement est la constatation de la perte de valeur subie par un bien du fait de son utilisation.

a. Hypothèse de calcul

Par manque d'information sur la durée d'amortissement des machines, nous avons estimé la durée à 5 ans, car pour la catégorie des machines, elle oscille autour de 5 à 7 ans [26]. L'amortissement journalier permet de voir la dégradation de la performance journalière exprimée en FCFA. Il est obtenu en divisant le prix d'achat des machines par la durée d'amortissement. Le tableau 10 donne le résultat économique de deux presses. Les différentes données sont renseignées sur place tel que le prix de gasoil, le prix de kWh (prix fourni par la société exploitante de la localité).

b. Les Formules du tableau 11.

Amortissement journalier (FCFA) = prix de la machine / (durée d'amortissement * 365j)

Cout de charge (FCFA) = (énergie consommée * prix de kWh) + (nombre des ouvrier * le salaire des ouvriers * temps de pressage) + (amortissement journalier).

Prix de revient par kilogramme (FCFA) = (cout de charge / quantité d'huile produite).

Tableau 11 : Bilan économique.

quantité graines (kg)	Machines	HILE (kg)	Energie (kWh)	Gasoil litre/h	Temps de pressage (heur)	Prix de kWh (FCFA)	Prix de gasoil (FCFA)	Salaire FCFA/h	Nombre des ouvriers	Prix de machine (FCFA)	Durée d'amortis sement (Ans)	Amortiss ement journalie r	Coût de charge (FCFA)	Prix de revient du kg d'huile (FCFA)
100	MONFORTS	4,95	12,6	0	5,6	96	0	200	2,00	11296089	5	383,56	3 833,2	1 947
	TINYTECH	9	3	2	3	96	666	200	3,00	5356504	5	547,95	6 631,9	1 002

Les charges est l'ensemble des frais investi pour produire les quantités d'huile indiquée dans le tableau (4.96 et 9 kg). Pour obtenir le prix de vente du kilogramme d'huile, on ajoute la marge bénéficiaire sur le prix de revient. La marge bénéficiaire dépend plusieurs paramètres tels que la politique de l'entreprise, le prix de la concurrence du marché...

c. Analyse par rapport usage carburant.

Cette analyse permet d'évaluer la pertinence du projet par rapport à son usage carburant. Vu le prix de revient par kilogramme (1.947 et 1.002 FCFA) d'huile de balanites et le prix du litre du gasoil vendu sur le marché (660FCFA), l'exploitation à usage biocarburant n'est pas rentable. La politique énergétique vise à réduire le prix du biocarburant en rendant accessible à toutes les couches sociales, mais le résultat obtenu pour usage carburant ne répond pas à cette exigence. Le prix de litre de l'huile de balanites sera largement plus cher que le prix de gasoil vendu localement. Grâce à ses multiples vertus thérapeutiques comme anti-cancéreuses, antivirales, antimicrobiennes, anti-inflammatoires... Il est également utilisé comme huile de cuisson [7]. Il sera donc intéressant d'optimiser la production pour un usage pharmaceutique et alimentaire car ces deux secteurs sont prioritaires.

VII. ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTALE T SOCIAL.

La question environnementale et sociale ne doit pas être perdue de vue, car qui dit environnement dit vie. L'environnement est menacé par les carburants fossiles via leurs émissions. Ces dernières provoquent des effets indésirables alors que les biocarburants garantissent un fonctionnement exempt de toute émission de CO₂. Lors de l'évolution de sa croissance, la plante absorbe la même quantité de CO₂ que celle émise pendant la combustion.

VII.1 Impacts positifs de la production de l'huile

a. Impacts économiques

Comme impacts économiques nous avons :

- La création d'emplois locaux pour les paysans, donc réduction du taux d'exode rural;
- Les déchets de balanites servent de complément alimentaire du bétail du fait de leur teneur en protéine.

b. Impacts environnementaux :

- Le respect du protocole de Kyoto, en limitant le rejet des gaz à effet de serre lors de l'utilisation de l'huile comme substitut du gasoil dans les moteurs thermiques ;
- Le fort enracinement de la plante a un impact plus que positif pour la lutte contre l'avancée du désert;
- Le bois dur sert dans la construction de ponts ;

c. Impacts sociaux

Amélioration et développement des conditions de vie de la population rurale, par le surplus d'argent gagné en ramassant les graines. Aussi par la mise à leur disposition d'eau potable et d'électricité qui permettent de faire de petits commerces.

VII.2 Impact négatifs

Parmi les impacts négatifs d'utilisation d'huile, nous avons entre autres :

a. Les vibrations

Les machines tournantes ont des vibrations. L'effet de la vibration sur un employé ne peut pas être négligé, en cas d'excès de celle-là peut entraîner le déséquilibre physique et psychologique : le tremblement ainsi que la perte de mémoire à l'âge de vieillesse. Les vibrations peuvent causer des complications cardiovasculaires.

b. Les bruits

Le bruit émis par l'unité de production et par la centrale a un impact grave tant sur l'individu lui-même que sur son entourage. Il rend les gens stressés notamment à ceux qui habitent auprès

de certaines installations industrielles. Le bruit excessif pourrait entraîner la surdité et tumeur de cerveau.

VII.3 Mesures d'atténuations de effets négatifs

En tant qu'un projet à être implanté à BARSALOGHO, on devrait s'adapter à la politique nationale de l'environnement, qui vise à établir un équilibre durable et harmonieux entre les besoins du développement et les soucis écologiques. Il faudra alors penser trouver de moyens pour limiter les effets négatifs. Nous suggérons les solutions pouvant atténuer ces dégâts.

a. Bruits

Le bruit doit s'écarter des zones très peuplées de la ville. Pour abaisser ce bruit, on peut prévoir des filtres à air avec amortisseur de sifflement et chambre d'insonorisation, ainsi, on peut utiliser le silencieux. Augmenter le trajet des gaz dans le tuyau d'échappement avant leur sortie dans l'atmosphère.

b. Les vibrations

Afin de minimiser les dégâts éventuels causés par la vibration, l'installation de ce moteur nécessite un système d'amortissement régulier. Il y a aussi des normes à respecter concernant l'intensité de bruit et de vibration que l'on ne doit pas dépasser :

- 65 dB à proximité des industries lourdes ;
- 50 dB dans le centre-ville ;
- 40 dB aux alentours des hôpitaux. [27].

VIII .CONCLUSION GENERALE :

Conscient de la nécessité de l'énergie dans la vie de tous les jours, conscient que l'énergie fossilifère n'est pas pérenne, il est donc question de prendre les dispositions nécessaires pour le post ressources tarissables. C'est dans ce contexte que nous nous sommes attelés tout au long de notre travail en évoquant l'usage et la possibilité d'avoir une huile végétale pure.

A l'issu de de cette étude, il en ressort que l'optimisation de la production d'huile dépend des paramètres tels que la vitesse de rotation, le taux d'humidité de graines, la température le profil de la vis sans fin. Du point de vue rentabilité, la presse Tinytech (mécanique) est porteuse par rapport à Monforts avec notamment des indicateurs qui sont le taux de recouvrement(Tr) et le rendement net (Rn) :

$$\text{Tinytech : } Tr = \frac{9,3}{15} = 0,62 \text{ soit } 62\% ; \quad Rn = \frac{9,3}{35} = 0,266 \text{ soit } 26,6\%$$

$$\text{Monforts : } Tr = \frac{4,95}{22} = 0,22 \text{ soit } 22\% ; \quad Rn = \frac{4,95}{100} = 0,05 \text{ soit } 5\%.$$

Pour une exploitation à l'échelle industrielle l'usage de la presse mécanique est rentable. Toutes fois d'autres études pourrons être poursuivit pour trouver la biomasse oléagineuse (le Jatropha, les coques d'anacarde...) qui sera compatible avec la technologie électrique afin de mieux évaluer sa performance car le faible rendent est imputable à la nature de la graine et non de la machine.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Brocorens PATRICK, «Pic du Pétrole et Pic du Gaz,» 2007.
- [2] Rihad ALLOUNE, «le biodiesel :une source d'energie propre et promotteuse».
- [3] Institut de cooperation au developpement economique et social, «les biocarburants en AFRIQUE,» paris, Juin 2006.
- [4] RANNAUD victor, «LES DIFFERENTS BIOCARBURANT,» 2007.
- [5] site internet, fevrier 2014. [En ligne]. Available: WWW.Lexpress.fr/actualite/societe/pollution. [Accès le 2014].
- [6] SERGIS, mercredi mai 1999. [En ligne]. Available: <http://www.chanvre-info.ch/info/fr/Production-extraction-et-analyse.html>. [Accès le 07 mai 2014].
- [7] WaUcer; Hall, «African Crop Science Society,» vol. 21, n° 13, pp. 723-734, 1991.
- [8] Deshmukh ; Bhuyar, African Crop Science Society, vol. 33, n° 11, 2009.
- [9] OKIA, KWETEGYEKA3 et OKIROR2, «PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AW) FATTY ACID PROFILE OF DESERT,» african crop society, vol. 21, pp. 723 - 734, 2013.
- [10] MURUGESAN, Umarani et Nednuchezian, «bio-diesel as an alternative fuel for diesel for engines-Areview,» vol. 13, pp. 233-271, 2007.
- [11] Agarwal; Avinash, «biofuels applications as fuels for internal combustion engines,» vol. 33, pp. 233-271, 2009.
- [12] jimenez, Espadafor; Moreno GUTIÉRREZ, «The viability of pure vegetable oil as an alternative fuel for large ships.,» 2009.
- [13] ROUSSET, patrick et al, guide technique pour une utilisation energetque des huiles, bresil, 2008.
- [14] Vaïtilingom, Gilles, Huiles végétales biocombustibles-influence de la nature des huiles en particulier de leur composition en acide gras sur la qualité-carburant, 1992.
- [15] Atlantiques, Chambre D'agriculture Pyrenees, L'Huile Végétale Pure - HVP Production et valorisations à la ferme, FICHE N°001. 2006..
- [16] Philippe GIRAD; joël BLIN, Guide technique pour une utilisation energetique des huiles dans les pays de CEDEAO, 2009..
- [17] CHARREYRON, Michel, «valorisation de ressource locale,» chez 8 rue des setrettes, 24 juin 2014.

-
- [18] Sayon SIDIBE et joël BLIN, Huiles végétales pures comme carburant dans le moteur diesel Etat de connaissance." 2iE, 2009..
- [19] «utilisation energetiques de l'huile de coton .cahiers agricultures,» vol. 15, pp. 144-149, 2006.
- [20] ALHILALI ALAOUI ADNAN, tout savoir sur le moter a combustion interneE, 2006..
- [21] Gilles, Vaitilingom, Conférence Internationale Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique, Ouagadougou :, s.n. 2007..
- [22] Emmanuel Guiral;Saint CYR Christophe, les biocarburants en Rhône-Alpes : Potentialités des oléagineux et opportunités de l'huile végétale pure, mémoire de fin d'étude., 2005.
- [23] Pierre, BERTRAND, Huile végétale un vrai biocarburant, 2007.
- [24] sayon SIDIBE et joël BLIN, "Etude comparée du délai d'inflammation des huiles végétales de Jatropa et de coton préchauffées et non préchauffées et du gasoil,, "Doctoriales 2iE, 2013.
- [25] DIAI, madam fatou, «contribution a letude chimique et bion chimique des graines de balanites,» senegal, 1997.
- [26] Labarrière, Xavier , «ECL Direct,» 13 09 2014. [En ligne]. Available: <http://www.expert-comptable-tpe.fr/posts/view/duree-amortissement-choisir>. [Accès le samedi septembre 2014].
- [27] RAKOTOARISOA, gestion et economie des ressources energetiques, Antanarivo, 2006.
- [28] Philippe GIRARD ET joël BLIN, guide tchnique pour une utilisation energetique des huiles vegetales dans le pays de CEDEAO.