

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
Glossaire.....	x
Liste des tableaux.....	xiii
Liste des figures.....	xv
Liste des annexes.....	xvii
Liste des acronymes.....	xviii
Liste des abréviations.....	xx
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE - METHODES.....	3
INTRODUCTION PARTIELLE I.....	3
1) Généralité sur la filière <i>Jatropha</i>	3
1.1) Description et caractéristiques générales à Madagascar.....	4
1.1.1) Description générale.....	4
1.1.2) Groupes de <i>Jatropha</i>	6
1.2) Marché mondial.....	7
1.2.1) Production mondiale et principaux produits.....	7
1.2.2) Evolution des prix mondiaux.....	8
1.2.3) Marché mondial.....	9
1.3) Situation nationale de la filière <i>Jatropha</i>	10
1.3.1) Obstacles et difficultés liés aux cultures et à l'utilisation de <i>Jatropha</i>	11
1.3.2) Situation initiale de la filière <i>Jatropha</i>	11
1.3.3) Situation actuelle.....	11
1.3.4) Avenir de la filière.....	12
1.3.5) Zones productrices à Madagascar.....	13
2) Cadre de l'étude.....	13
2.1) Géographie de la zone d'étude.....	13
2.1.1) Localisation géographique.....	13
2.1.2) Pédologie et hydrographie.....	14
2.1.3) Climat.....	16

2.1.4) Démographie.....	17
2.1.5) Contexte agricole.....	17
2.1.6) Contexte économique.....	17
2.1.7) Contexte social.....	20
2.2) Projet de développement et production filière <i>Jatropha</i>	20
2.2.1) Objectif global.....	20
2.2.2) Objectifs spécifiques.....	21
2.2.3) Activités agricole et industrielle.....	21
2.2.4) Programmes sociaux.....	21
2.2.5) Choix du milieu.....	21
3) Modes de collecte des données.....	22
4) Contraintes et limites de l'étude.....	22
4.1) Sols très hétérogènes.....	22
4.2) Hétérogénéité de l'origine des jeunes plants.....	22
4.3) Non installation des usines de transformation.....	23
4.4) Plantation moins âgée.....	23
4.5) Temps limité de l'expérimentation.....	23
5) Diagramme synthétique des travaux de recherche.....	24
6) Présentation générale de l'étude.....	24
6.1) Genèse de l'étude.....	24
6.2) Problématique et hypothèses.....	24
CONCLUSION PARTIELLE I.....	25
DEUXIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	26
INTRODUCTION PARTIELLE II.....	26
1) Résultats de l'expérimentation.....	26
2) Interprétation des résultats.....	28
3) Caractéristiques de l'étude.....	30
3.1) Identification des pratiques culturales et post culturales.....	30
3.1.1) Préparation de la pépinière.....	30
3.1.2) Transplantation et entretiens.....	31
3.2) Détermination des points de blocage.....	34
3.2.1) Sur le plan technique.....	34
3.2.2) Sur le plan logistique.....	34

3.2.3) Sur le plan organisationnel.....	34
3.2.4) Sur le plan financier.....	35
3.3) Estimation de rentabilité.....	35
3.3.1) Etude du rendement en graines de la plantation.....	35
3.3.2) Etude du rendement en huile de l'extraction.....	35
3.3.3) Calcul financier.....	35
CONCLUSION PARTIELLE II.....	37
TROISIEME PARTIE : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	38
INTRODUCTION PARTIELLE III.....	38
1) Caractéristiques des pratiques culturales.....	38
1.1) Mise en place de la pépinière.....	39
1.1.1) Préparation de la pépinière.....	39
1.1.2) Entretiens des jeunes plants.....	40
1.2) Choix et préparations du terrain.....	41
1.2.1) Défrichage.....	41
1.2.2) Labour ou traçage.....	41
1.2.3) Piquetage et trouaison.....	42
1.3) Mise en place de la plantation.....	42
1.3.1) Arrachage des jeunes plants.....	42
1.3.2) Système de paillage du trou.....	42
1.3.3) Fertilisation.....	43
1.3.4) Repiquage ou transplantation des jeunes plants.....	43
1.4) Entretiens de la plantation.....	43
1.4.1) Mulching.....	43
1.4.2) Taillage.....	43
1.4.3) Irrigation et gestion de l'eau.....	44
1.4.4) Gestion de la fertilité.....	44
1.4.5) Contrôle des maladies et insectes.....	45
1.4.6) Contrôle des mauvaises herbes.....	45
1.5) Récolte.....	45
1.5.1) Récolte.....	45
1.5.2) Activités post-récolte.....	46
1.6) Transformation.....	47

1.6.1) Extraction.....	47
1.6.2) Transestérification en biodiesel.....	48
1.6.3) Conservation.....	49
2) Points de blocage.....	49
2.1) Sur le plan technique.....	49
2.2) Sur le plan logistique.....	50
2.3) Sur le plan organisationnel.....	50
2.4) Sur le plan financier.....	50
3) Recommandations.....	51
3.1) Achats des équipements et des mobiliers primaires.....	51
3.2) Améliorations de la condition des travailleurs.....	51
3.3) Compostage.....	51
3.3.1) Avantage du compost.....	52
3.3.2) Engrais vert.....	52
3.4) Appel de mains d'œuvres dans les autres régions.....	53
1) Impacts de l'installation.....	53
3.1) Impacts positifs.....	53
3.2) Impacts négatifs.....	54
CONCLUSION PARTIELLE III.....	54
CONCLUSION GENERALE.....	55
Références bibliographiques.....	56
Annexes.....	63

GLOSSAIRES

Agrocarburant : liquide issu de la transformation des matières végétales produites par l'agriculture, carburant d'origine végétale issu de la biomasse.

Angiosperme : plante à graines enfermées dans une cavité close (fruit).

Biodégradable : état d'un déchet d'origine végétale ou animale à biodégradation totale.

Biodiesel : biogazole alternative au carburant pour moteur diesel classique, biocarburant propre, biodégradable, non toxique, produit à partir de ressources renouvelables.

Bioénergie : énergie stockée par la biomasse, source d'énergie renouvelable dérivée d'organismes vivants ou de leurs sous-produits.

Biomasse : ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie, masse totale des organismes vivants présents à un moment donné dans un biotope particulier.

Biotechnologie : application des principes scientifiques et de l'énergie à la transformation des matériaux.

Caléfaction : phénomène d'isolation thermique d'un liquide par rapport à une surface chauffante.

Chisel : cultivateur à dents géants utilisé lors d'un sous-solage.

Densité : rapport entre la masse volumique d'un liquide et celle de l'eau (1 g/cm³).

Dicotylédone : plante dont les graines possèdent une plantule à deux cotylédons, les feuilles sont généralement à nervures ramifiées et les fleurs de type 4 ou 5.

Energies fossiles : énergies produites à partir de roches issues de la fossilisation des êtres vivants.

Engrais : substances destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs.

Fermentation : réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone en une autre forme sous l'action de levures ou de bactéries grâce à des enzymes.

Fuel lourd : combustible à haute viscosité souvent utilisé par les gros moteurs diesels.

Hermaphrodite : être vivant où sont réunis les organes reproducteurs des deux sexes.

Indice d'acétyle : nombre de mg d'acétyle nécessaire pour acétyler 1 g de corps gras.

Indice d'acide : nombre de mg de potasses nécessaires pour neutraliser les AGL de 1 g de matière grasse.

Indice de cétane : grandeur caractérisant l'aptitude à l'allumage d'un carburant pour moteur à combustion interne.

Indice de réfraction : rapport entre le sinus de l'angle d'incidence du rayon incident et le sinus de l'angle de réfraction du rayon réfracté quand la lumière passe d'un milieu à un autre, ce qui se traduit par un changement de direction qu'éprouve la lumière en passant d'un milieu dans un autre.

Indice de saponification : nombre de mg de potasses nécessaire pour saponifier 1 g de corps gras.

Indice d'iode : nombre d'iodes fixés par 100 g de corps gras.

Joint venture : entreprise commune ou coentreprise créée par deux entreprises ou plus, projet déterminé commun pour lequel plusieurs entreprises se sont groupées, accord entre deux partenaires issus de pays différents et qui consiste en la création ou l'acquisition conjointe d'une filiale.

Monoïque : plante à fleurs unisexuées.

Multiplication générative : mode de multiplication d'un végétal à partir des graines.

Multiplication végétative : mode de multiplication d'une plante à partir de ses organes végétatifs.

Pédofaune : ensemble de tous petits animaux présents dans la litière et dans les couches superficielles de l'humus.

Photosynthèse : mécanisme physico-chimique dû à l'action de la chlorophylle, par lequel les végétaux verts produisent, grâce à l'énergie solaire, des substances organiques (graisses, sucres, etc.) à partir de substances minérales diverses (eau, gaz carbonique, nitrates, phosphates, etc.). Le bilan global se traduit par une absorption de gaz carbonique et un rejet d'oxygène, à volume égal, avec fixation de carbone au sein de la matière organique.

Plante pérenne : plante vivant plus de 2 ans mais qui vit souvent beaucoup plus longtemps.

Point de solidification : température à laquelle le liquide considéré commence à se solidifier.

Point éclair ou « *flash point* » : température minimum pour laquelle la concentration des vapeurs émises est suffisante pour produire une déflagration au contact d'une flamme ou d'un

point chaud dans les conditions normalisées mais insuffisantes pour produire la propagation de la combustion en l'absence de la flamme « pilote ».

Point feu ou « *fire point* » : température à laquelle le liquide émet suffisamment de vapeur pour avoir des flammes continues.

Pollinisation : transport des grains de pollen d'une étamine sur un stigmate.

Pouvoir calorifique : chaleur de combustion, enthalpie de réaction de combustion, contenu énergétique d'un combustible, quantité de chaleur que peut dégager la combustion complète d'une quantité déterminée de produit.

Quinconce : assemblage d'objets disposés par cinq dont quatre en carré, en rectangle ou en losange et un au milieu.

Sédimentation : ensemble de processus par lesquels les particules physiques en suspension et en transit cessent de se déplacer.

Transestérification : transformation d'un ester (et alcool) en un autre ester (et alcool), action d'un acide carboxylé sur un alcool avec élimination d'eau.

Viscosité : résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière.

Winterisation : traitement d'un produit sous une température inférieure ou égale à 0°C.

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
<u>Tableau 1</u> : Offre et demande pétrolières mondiales.....	10
<u>Tableau 2</u> : Caractéristiques physiques du sol.....	14
<u>Tableau 3</u> : Teneurs en différents éléments chimiques du sol.....	15
<u>Tableau 4</u> : Terres occupées par les cultures vivrières.....	19
<u>Tableau 5</u> : Etats pathologiques de l'expérimentation	27
<u>Tableau 6</u> : Revenu brut généré par 1 t de graines de <i>Jatropha</i>	36
<u>Tableau 7</u> : Coût de production de l'huile de <i>Jatropha</i> à l'échelle industrielle.....	36
<u>Tableau 8</u> : Composition en éléments fertilisants du tourteau de <i>Jatropha curcas</i>	44
<u>Tableau 9</u> : Exportation d'éléments vers <i>Jatropha</i>	44
<u>Tableau 10</u> : Conditions de culture appliquées sur chaque ligne de plantes de l'expérimentation.....	63
<u>Tableau 11</u> : Variations de température et de pluviométrie entre 2005 à 2009.....	65
<u>Tableau 12</u> : Ligne Témoin.....	66
<u>Tableau 13</u> : Ligne 2.....	66
<u>Tableau 14</u> : Ligne 3.....	67
<u>Tableau 15</u> : Ligne 4.....	67
<u>Tableau 16</u> : Ligne 5.....	68
<u>Tableau 17</u> : Ligne 6.....	68
<u>Tableau 18</u> : Ligne 7.....	69
<u>Tableau 19</u> : Ligne 8.....	69
<u>Tableau 20</u> : Ligne 9.....	70
<u>Tableau 21</u> : Ligne 10.....	70
<u>Tableau 22</u> : Ligne 11.....	71
<u>Tableau 23</u> : Moyennes des nombres de feuilles des jeunes plants vivants.....	71
<u>Tableau 24</u> : Moyennes des hauteurs des jeunes plants vivants.....	71
<u>Tableau 25</u> : Données de l'ACP.....	72
<u>Tableau 26</u> : Matrice de corrélation.....	72
<u>Tableau 27</u> : Chronogramme de réalisation.....	74
<u>Tableau 28</u> : Centres d'enseignement avec leurs nombres d'élèves et leurs taux de réussite respectifs.....	76

<u>Tableau 29</u> : Demandes en divers produits d'un ménage à 4 individus.....	81
<u>Tableau 30</u> : Variations des caractéristiques des graines de <i>Jatropha curcas</i>	88
<u>Tableau 31</u> : Composition chimique (%) des diverses parties de la graine de <i>Jatropha curcas</i>	88
<u>Tableau 32</u> : Teneur en différentes parties de la graine.....	89
<u>Tableau 33</u> : Caractéristiques des graines d'Ikalamavony et de Lokomby.....	89
<u>Tableau 34</u> : Caractères physico-chimiques de l'huile de <i>Jatropha curcas</i>	91
<u>Tableau 35</u> : Caractéristiques physico-chimiques des huiles brutes de <i>Jatropha curcas</i>	91
<u>Tableau 36</u> : Caractéristiques physico-chimiques des huiles dé mucilaginées.....	92
<u>Tableau 37</u> : Séparation de l'huile par action ménagée du froid.....	92
<u>Tableau 38</u> : Evolution des caractéristiques de l'huile chauffée pendant 18 h.....	92
<u>Tableau 39</u> : Quantité de produits obtenus par la pyrolyse de 1 t d'huile de <i>Jatropha</i>	93
<u>Tableau 40</u> : Composition en acides gras des huiles d'amande de <i>Jatropha curcas</i> ...	93
<u>Tableau 41</u> : Composition en acides gras des huiles dé mucilaginées de <i>Jatropha curcas</i>	94
<u>Tableau 42</u> : Taux en mucilage des huiles.....	94
<u>Tableau 43</u> : Composition des tourteaux de <i>Jatropha</i>	95
<u>Tableau 44</u> : Composition des tourteaux de <i>Jatropha</i> issus de la presse chinoise.....	95
<u>Tableau 45</u> : Espèces de mauvaises herbes à Madagascar.....	96
<u>Tableau 46</u> : Fumier-% du contenu en matières sèches.....	101

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
<u>Figure 1</u> : Plante entière de <i>Jatropha curcas</i>	4
<u>Figure 2</u> : Feuilles de <i>Jatropha curcas</i>	4
<u>Figure 3</u> : Fleurs de <i>Jatropha curcas</i>	5
<u>Figure 4</u> : Graines de <i>Jatropha curcas</i>	5
<u>Figure 5</u> : Fruits de <i>Jatropha curcas</i>	6
<u>Figure 6</u> : Pression des mauvaises herbes.....	11
<u>Figure 7</u> : Association de culture avec <i>Jatropha</i>	12
<u>Figure 8</u> : Courbe ombrothermique de la zone d'implantation établie selon WALTER et LIETH (1967).....	17
<u>Figure 9</u> : Diagramme synthétique des travaux de recherche.....	24
<u>Figure 10</u> : Variations du nombre de feuilles du <i>Jatropha</i> pour chaque ligne de plantation.....	26
<u>Figure 11</u> : Variation de la hauteur du <i>Jatropha</i> pour chaque ligne de plantation.....	27
<u>Figure 12</u> : Cercle des corrélations.....	28
<u>Figure 13</u> : Pépinière en plates bandes.....	40
<u>Figure 14</u> : Présence de grillons sous le paillage.....	41
<u>Figure 15</u> : Un terrain entièrement préparé.....	42
<u>Figure 16</u> : Fruits verts, jaunes et bruns.....	46
<u>Figure 17</u> : Stockage en sacs en jute.....	46
<u>Figure 18</u> : Diagramme de fabrication de biodiesel à partir des graines de <i>Jatropha</i> <i>curcas</i>	47
<u>Figure 19</u> : Réaction chimique de la transestérification.....	49
<u>Figure 20</u> : Schéma de disposition de la parcelle d'expérimentation.....	64
<u>Figure 21</u> : Clôture d'une ferme à Soavina.....	81
<u>Figure 22</u> : Lampe fonctionnant avec l'huile de <i>Jatropha</i>	82
<u>Figure 23</u> : Savon fabriqué à partir de l'huile de <i>Jatropha</i>	82
<u>Figure 24</u> : Moteur diesel fonctionnant avec l'huile de <i>Jatropha</i>	82
<u>Figure 25</u> : Voiture fonctionnant avec l'huile de <i>Jatropha</i>	82
<u>Figure 26</u> : Foyer testé par Bosch-Siemens en Tanzanie et Philippines.....	83
<u>Figure 27</u> : Graines de <i>Jatropha</i> sur une tige de raphia.....	83

<u>Figure 28</u> : PLAE à Marovoay.....	85
<u>Figure 29</u> : Huile de <i>Jatropha</i> après extraction et filtration.....	90
<u>Figure 30</u> : Presse de Bielenberg.....	103
<u>Figure 31</u> : Presse TinyTech.....	103
<u>Figure 32</u> : Casseur de graines.....	104
<u>Figure 33</u> : Filtre à presse TinyTech-plants.....	104
<u>Figure 34</u> : Décortiqueur d'arachide TinyTech-plants.....	104
<u>Figure 35</u> : Moulin broyeur à 3 rouleaux.....	105
<u>Figure 36</u> : Extrudeuse pré-raffinage.....	105
<u>Figure 37</u> : Broyeur sous vide Duplex Mazzoni b "m-300".....	105
<u>Figure 38</u> : Broyeur sous vide Duplex Binacchi Tm "280-2".....	105
<u>Figure 39</u> : Mélangeur-raffineur Simplex "SAS" MR-300.....	105
<u>Figure 40</u> : Moulin broyeur à 3 rouleaux 200 x 500 mm.....	106
<u>Figure 41</u> : Moulin broyeur à 3 rouleaux "Weber & Selander".....	106

LISTE DES ANNEXES

	<u>Page</u>
<u>Annexe 1</u> : Parties expérimentales.....	63
<u>Annexe 2</u> : Méthodologie.....	73
<u>Annexe 3</u> : Contexte social de la zone d'implantation.....	75
<u>Annexe 4</u> : <i>Jatropha curcas</i>	77
<u>Annexe 5</u> : Marché mondial.....	78
<u>Annexe 6</u> : Zones productrices à Madagascar.....	83
<u>Annexe 7</u> : Caractéristiques de la graine de <i>Jatropha curcas</i>	87
<u>Annexe 8</u> : Caractéristiques de l'huile de <i>Jatropha curcas</i>	90
<u>Annexe 9</u> : Tourteaux de <i>Jatropha curcas</i>	95
<u>Annexe 10</u> : Maladies et insectes nuisibles à la culture.....	95
<u>Annexe 11</u> : Espèces de mauvaises herbes à Madagascar.....	96
<u>Annexe 12</u> : Compostage.....	96
<u>Annexe 13</u> : Fumier.....	100
<u>Annexe 14</u> : Equipements d'extraction.....	103

LISTE DES ACRONYMES

al. : Collaborateurs

Ar : Ariary

B : Bore

C : Carbone

°C : degré Celcius

Ca : Calcium

cm : centimètre

CO₂ : gaz carbonique

Cu : Cuivre

D1 : Compagnie anglaise de production de biodiesel à partir de l'huile de *Jatropha*

etc. : Et cetera

FAME : Esters Méthylique des Acides Gras

ha : hectare

K : Potassium

kg : kilogramme

km : kilomètre

l : litre

m : mètre

m² : mètre carré

m³ : mètre cube

me% : milliéquivalent pour cent

Mg : Magnésium

mm : millimètre

Mn : Manganèse

N : Azote

Na : Sodium

O : Oxygène

P : Phosphore

% : pour cent

‰ : pour mille

S : Soufre

t : tonne

US\$: Dollars (1 US\$ = 2.050 Ar)

Zn : Zinc

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADER : Association pour le Développement des Energies Renouvelables

AGL : Acides Gras Libres

ARN : Acide Ribo-Nucléique

BAMEX : Business And Market EXpansion

BCI : Business Center Ivoharena

BSH : Bosch-Siemens-Haushaltsgeräte

C3 : Climate Change Corporation

cc : centimètre cube

CCV : Communauté de Communes du Villeneuvois

CECT : Capacité d'Echange Cationique Totale

CFPP : Cold Flow Plugging Point

CIN : Carte d'Identité Nationale

CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrates

CNFP : Centre National de Formation Professionnelle

CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales

CRE : Capacité de Rétention d'Eau

DEG : Deutsche investions - und Entwicklungs Gesellschaft – Banque allemande de développement

DIANA : Diégo-Ambilobe-Nosybe-Ambanja

DMG : Deutsch Madagassische Gesellschaft

EEHV : Esters Ethyliques d'Huile Végétale

EMHV : Esters Méthyliques d'Huile Végétale

ERI : Eco Regional Initiatives

GEM : Green Energy Madagascar

GES : Gaz à Effet de Serre

GEXSI : Global EXchange for Social Investment

GREEN : GRoupement Energie et Environnement National

GTZ : Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

HP : Hewlett Packard

HVB : Huile Végétale Brute

HVP : Huile Végétale Pure

IAA : Industries Agricoles et Alimentaires

ITH : Industrie Technische konstruktionen Hohmann

j : jour

JIRAMA : JIro sy RAno MAlagasy

JSL : Jatropha Stock Limited

KfW : Kreditanstalt für Wiederaufbau

MAEP : Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche

MCD : Madagascar Crop Development

Mtep : Millions de tonnes équivalent pétrole

NEED : National Energy Education Development

ONG : Organisation Non Gouvernementale

P : pluviométrie

PCD : Plan Communal de Développement

PDJM : Projet Delta Jatropha Madagascar

PGM-E : Programme Germano-Malgache pour l'Environnement

pH : potentiel d'hydrogène

PK : Point Kilométrique

PLAE : Programme de Lutte Anti-Erosive

PPN : Produits de Première Nécessité

PPP : Partenariat Public-Privé

PRE : Pouvoir de Retention d'Eau

PROJER : PROjet d'appui aux Jeunes Entrepreneurs Ruraux

RFB : Radio Feon'i Boeny

RFM : Radio Feon'i Marovoay

RN : Route Nationale

RNM : Radio Nasionaly Malagasy

S.A. : Société Anonyme

SARL : Société Anonyme à Responsabilité Limitée

SAVA : Sambava-Antalaha-Vohemar-Andapa

SN CITEC : Société Nouvelle – Compagnie Industrielle du Textile Et du Coton activités

SNGF : Silo National des Graines Forestières

T : température

TERI : The Energy and Ressources Institute

TNAU : Tamil Nadu Agricultural University

TOM : Territoire d'Outre Mer

TVA : Taxe sur Valeur Ajoutée

TVM : TeleViziona Malagasy

USAID : United States Agency for International Development

INTRODUCTION

GENERALE

Actuellement, la production de bioénergie ou plus précisément de biocarburant à partir de la biomasse attire fortement l'attention de tout le monde entier. Par définition, le biocarburant est un carburant issu de plantes et qui peut se substituer aux sources d'énergies fossiles telles que charbon et pétrole et, surtout, permet aux moteurs diesels de fonctionner (CNRTL, 2008).

En faite, l'exponentielle augmentation du prix de pétrole ainsi que l'épuisement de plus en plus vite de la réserve d'énergies fossiles poussent le monde à s'orienter vers des programmes alternatifs, étant donné qu'il a fallu 200 millions d'années pour fabriquer tout le pétrole du monde qui disparaît, seulement, en 200 ans (EDWARD T., 2007). D'ailleurs, ce prix continuerait toujours à s'élever, de même que la demande ne cesse de croître. C'est la raison pour laquelle des études cherchent à trouver des produits alternatifs capables de se substituer au pétrole pour satisfaire les besoins dans le futur.

Pour cela, le biocarburant constitue l'une des principales solutions et d'innombrables pays se dirigent en ce moment dans cette direction. Il ne faut pas oublier que les huiles végétales et animales peuvent être utilisées par les engins à diesel (CNRTL, 2008). En effet, les huiles végétales ont été identifiées depuis longtemps comme une source alternative de biodiesel. Par ailleurs, il est possible d'extraire du biocarburant à partir de nombreuses plantes telles que soja, colza, canne à sucre ou bien *Jatropha curcas*.

Ainsi, le *Jatropha* devient une plante considérée comme source d'huile végétale facile à transformer, utilisable en tant que matière première dans le procédé de fabrication du biodiesel : l'huile de *Jatropha* peut servir de carburant pour les moteurs diesels, c'est le plus intéressant des carburants verts. D'après JEAN D. et *al.* (2009), le *Jatropha curcas* constitue l'un des meilleurs candidats pour la production de biodiesel. Pour ce biocarburant tiré d'une plante qui pousse et produit après un an, puis reproduit à nouveau l'année prochaine, ce qui est obtenu sera consommé au fur et à mesure, ce combustible est donc renouvelable et à une période réduite.

D'autre part, d'après la statistique donnée par la Conservation Internationale (RAZAKAMAHEFA A. B., 2009), 300.000 – 400.000 ha de forêt/an sont détruits à Madagascar malgré qu'il soit considéré comme le pays le plus riche en biodiversité. Ainsi, la politique environnementale tend vers le reboisement des plantes à croissance rapide, à vocation énergétique ou à d'autres fins économiques. Pour cela, le gouvernement malgache promouvait la valorisation des ressources locales afin de réduire la dépendance du pays tout en améliorant le niveau de vie de la population, surtout les paysans qui en constituent la

majorité (75%), par la création d'emplois. Ainsi, plusieurs projets et programmes ont été lancés vers la filière Jatropha, dans le cadre du biodiesel, vu que le pays possède un certain nombre de facteurs convenables à cette pratique. La Société Fuelstock Madagascar S.A. fait partie des unités qui en réalisent et cette étude va porter particulièrement sur son cas.

Le Système Jatropha se caractérise par les nombreux aspects positifs aux plans écologique, énergétique, social et économique liés à l'exploitation commerciale de cette plante. Comme pour toute autre filière, pour gagner les différents avantages apportés par la filière Jatropha dans la production de biocarburant, il faut savoir maîtriser les techniques requises dès son implantation jusqu'à la phase finale de l'exploitation. Ce qui conduit à l'étude de ce thème intitulé : « Optimisation de l'implantation industrielle de Jatropha curcas : cas de la Société Fuelstock Madagascar ».

Dans ce document, trois grandes parties bien distinctes vont être discutées. Ce sont :

- Contexte général de l'étude - Méthodes,
- Résultats et interprétations,
- Discussions et recommandations.

PREMIERE PARTIE :

CONTEXTE GENERAL

DE L'ETUDE -

METHODES

INTRODUCTION PARTIELLE I

Chaque végétal possède ses caractéristiques propres, et ainsi les conditions favorables à une plantation sont très relatives. Elles varient suivant le type de végétal considéré. Pour commencer cette étude, il faut alors voir la description générale du *Jatropha curcas* ainsi que ses propriétés. D'autre part, le marché doit être aussi analysé pour assurer l'expédition de la production. En plus, la connaissance du milieu constitue un second outil essentiel à la détermination de la pratique culturale optimale. Plusieurs paramètres principaux doivent être à priori déterminés pour le milieu. Néanmoins, certains paramètres secondaires ne peuvent pas être négligés car ils affectent aussi les activités de la plantation. Ceux-ci seront alors détaillés dans cette première partie.

Concernant la filière *Jatropha*, il y a actuellement, à l'échelle mondiale, un certain nombre d'activités de recherche telles que Programme de Recherche de l'Université de Wageningen : « *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme ». Cependant, il n'y a pas assez d'activités de recherche à Madagascar, ce qui est regrettable vu que le comportement du *Jatropha* dépend fortement des conditions locales.

1) Généralité sur la filière *Jatropha* :

Historique :

Le *Jatropha curcas* vient de l'Amérique Centrale et du Mexique (D1, 2008). Il fut introduit à Madagascar par les Portugais vers le XVII^{ème} siècle. Durant plusieurs années, le *Jatropha* a été considéré parmi les plantes négligées. Mais, il fut récemment découvert comme étant une culture potentielle dans la production de biodiesel et, depuis quelques années, des acteurs se sont manifestés pour la promotion de sa culture.

Nomenclature : *Jatropha curcas* L.

Le *Jatropha* s'appelle aussi « médecinier » par son utilisation à but médical, et « Or vert » par sa production d'une huile de propriétés comparables à celles du carburant. Sa dénomination vient du mot grec *jatros* qui signifie 'docteur' et *trophe* signifiant 'aliment' (D1, 2008). Le nom d'espèce *curcas* fut tiré du nom vernaculaire employé pour cette plante dans quelques parties de l'Inde. Le L. est l'initial du nom du botaniste Linnaeus, scientifique qui a décrit scientifiquement cette plante la première fois.

Voici quelques noms vernaculaires du *Jatropha* (voir annexe 4) répertoriés par Münch et Schultz-Motel en 1986 (D1, 2008) : *physic nut* ou *purging nut* (Angleterre), pourghère ou pignon d'Inde (France), *kinanampotsy*, *voanjohazo*, *savoa*, *valavelona*, *tanatanampotsy*, *tsiafakomby*, *voanongo* (Madagascar), *Kattamanakku* en Tamil et *Rattan jot* en Hindou (Inde).

1.1) Description et caractéristiques générales à Madagascar :

1.1.1) Description générale :

1.1.1.1) Botanique :



Figure 1 : Plante entière de *Jatropha curcas* (Cliché : ÜLLENBERG A., 2009).

Le *Jatropha curcas* appartient au genre des plantes angiospermes et dicotylédones. Il s'agit d'une plante pérenne (plus de 50 ans), succulente de 8 m de hauteur. La plante dispose d'un feuillage coriace, vert foncé, trilobé, parfois simple, large (17 cm de long et 15 cm de large). Chaque pied possède 5 – 7 superficiels lobes foliaux dont les feuilles sont arrangées alternativement. Le feuillage donne des teintures indélébiles : rouges, noires ; et l'écorce donne un colorant marron. Parfois, les feuilles apparaissent en bouquet au sommet du tronc, et sont portées par un long pétiole charnu.



Figure 2 : Feuilles de *Jatropha curcas* (Cliché : ÜLLENBERG A., 2007).

Le *Jatropha curcas* croît nettement avec une morphologie discontinue pour chaque augmentation. Chez les jeunes sujets, la tige n'est pas ramifiée. Elle acquiert par la suite quelques rares branches latérales. Normalement, cinq racines se forment : une centrale (c'est la racine pivotante) et quatre latérales fortes (pour la protection anti-érosive et pour la rétention d'eau). D'ailleurs, la racine pivotante qui ne se forme pas d'habitude pour les plantes issues de la multiplication végétative (D1, 2008) pousse de 4 – 7 m dans la profondeur.

Le *Jatropha curcas* est une espèce diploïde avec $2n = 22$ chromosomes. La plante commence à donner des fruits 1 an après sa plantation. Elle est monoïque, c'est-à-dire que les fleurs sont unisexuées, parfois hermaphrodites (pollinisation directe). Pour le premier cas qui est le plus abondant, la pollinisation se fait de façon indirecte grâce à l'intervention des insectes (abeilles, coccinelles, fourmis et guêpes). Après la pollinisation, une capsule (fruit) sphérique/ellipsoïdal à trois loges se forme. Néanmoins, la multiplication des *Jatropha curcas* peut se faire de deux façons : multiplication générative et multiplication végétative.



Figure 3 : Fleurs de *Jatropha curcas* (Cliché : Wikipédia, 2010).

La fructification se fait généralement 2 fois/an et dont les périodes varient suivant les paramètres qui conditionnent la culture (Mars – Avril, Septembre – Novembre). Ses fleurs sont de couleur jaune avec des inflorescences en corymbe et terminale, des pétales de couleur vert-blanchâtre et des sépales de couleur verte. Chaque fruit contient en moyenne trois graines ovoïdes ou noix de Barbades (appelées aussi *Barbados nut* en anglais) et présente une couleur noire avec des albumens oléagineux, blancs et charnus. Le fruit entier contient 25% d'huile et les graines 37%. Ces graines ont environ 2 cm de long et 1 cm d'épaisseur.



Figure 4 : Graines de *Jatropha curcas* (Cliché : Wikipédia, 2009).



Figure 5 : Fruits de *Jatropha curcas* (Cliché : RANAIVOARISON A. et *al.*, 2006).

1.1.1.2) Caractéristiques : (voir annexe 4).

Le *Jatropha curcas* se développe sur tout type de sol (sol pauvre, dégradé, etc.) sauf dans les zones hydromorphes (argileuses). Il demande très peu de nutriments et peut résister à des périodes de sécheresse prolongée mais il supporte mal une précipitation trop élevée. Les plantes adultes résistent généralement aux attaques des insectes et aux feux de brousse, mais quand même elles en sortent affaiblies. Ainsi, la plante préfère :

- les régions semi-arides à précipitations assez abondantes (500 – 2.000 mm/an) et bien réparties (DAVID L., 2008), avec des conditions climatiques tropicales et subtropicales,
- les sols à pH neutre ou légèrement acide (environ 6 – 8),
- les régions à basses altitudes (0 – 500 m), et à températures annuelles moyennes de plus de 20°C (20° – 28°C) et elle ne tolère pas le gel (D1, 2008).

A côté de ses nombreuses utilisations, les principaux inconvénients de la plante sont :

- l'huile et les graines ne sont pas comestibles ni pour l'homme ni pour les animaux (D1, 2005) à cause de l'ester phorbélique (en contact avec la peau humaine, ceci a un effet cancérigène) et de la toxalbumine (curcine) qui bloque la synthèse ribonucléique,
- elle dégage une mauvaise odeur et constitue l'hôte du virus du manioc (D1, 2005).

1.1.2) Groupes de Jatropha : (voir annexe 4).

La famille des Euphorbiacées compte 177 espèces, parmi lesquelles se trouvent *Jatropha curcas*. Environ, 160 espèces appartiennent au genre *Jatropha*, espèces originaires d'Amérique centrale ou du Sud (Wikipédia, 2009) qui se répartissent en 2 sous-genres : *curcas* (*Jatropha curcas* étant l'espèce la plus primitive) et *jatropha*. La plupart des espèces de *Jatropha* sont apparues du nouveau monde et plus de 66 appartiennent à l'ancien monde.

Classification classique : (D1, 2005).

- ✚ Règne : PLANTAE
- ✚ Sous-règne : TRACHEOBIONTA
- ✚ Division : Magnoliophyta
- ✚ Classe : Magnoliopsida
- ✚ Sous-classe : Rosidae
- ✚ Ordre : Euphorbiales
- ✚ Famille : Euphorbiaceae
- ✚ Genre : *Jatropha*
- ✚ Espèce : *Jatropha curcas*

1.2) Marché mondial :

Les principaux marchés prometteurs de la filière sont : Marché de l'Afrique du Sud, Marché Indien, Marché Européen et Marché Malgache (RANAIVOARISON A. *et al.*, 2006).

1.2.1) Production mondiale et principaux produits :

1.2.1.1) Production mondiale : (voir annexe 5).

En 2005, la production mondiale était de 4 millions t de biodiesel (EMHV). Les cinq grands producteurs de biodiesel ont atteint respectivement : 1.920 millions l pour l'Allemagne (45%), 511 millions l pour la France (15%), 290 millions l pour l'USA, 227 millions l pour l'Italie et 83 millions l pour l'Australie (JULIO F.M., 2007). L'entreprise anglaise D1 power installe actuellement des milliers d'hectares de culture partout dans le monde : 81.000 ha en Chhattisgarh, 350.000 ha en Tamil Nadu (partie Sud de l'Inde), etc. Jusqu'à présent, D1 demeure le grand commerçant mondial de la filière *Jatropha*.

Les autres producteurs de *Jatropha* sont : Inde (510.000 ha et 40 millions ha), TNAU (3.000 ha et 0,7 million ha), Europe (10 Mtep ou 3,3% des carburants consommés), Cap Vert (10.079 t de graines et 8.700 ha), Silveira (11.500 ha), Nicaragua (1.200 ha), Mali (10.000 km de haies équivalent à 1,7 millions l/an), Chine (13 millions ha), Birmanie (plusieurs millions d'ha), Chhattisgarh (150.000 ha), Jain Irrigation (10.000 l de biodiesel/j), Sichuan (5.000 t de biodiesel/an), SN CITEC (10.000 t/an), Mozambique (20 millions l de biodiesel), Compagnie « state oil company Petromoc » (185 millions l), Tanzanie (12.000 t/an).

En particulier, sans tenir compte les diverses implantations industrielles, Madagascar pourrait produire au moins 15.000 – 20.000 t d'huile par an (4.200 t de graines par an pour la Région SAVA et 1.000 t/an pour la partie Sud) (HENNING K. R. et *al.*, 2007 ; D1, 2008).

1.2.1.2) Principaux produits :

A part les emplois du *Jatropha* rencontrés à Madagascar (voir paragraphe 1.3.3), voici d'autres utilisations habituelles aperçues dans les autres pays :

- utilisation dans les rituels vaudous (pour purger les esprits maléfiques et libérer les âmes des morts), en Haïti (Wikipédia, 2010),
- reboisement sur des surfaces dénudées,
- production de tourteau de *Jatropha* : insecticide, source de protéine à haute valeur pour l'alimentation de bétail s'il est correctement traité.
- production d'huile : utilisée dans la fabrication de savon de Marseille (Wikipédia, 2010), de vernis, dans la lutte contre certains insectes et mollusques nuisibles pour l'agriculture et hôte de *Schistosoma mansoni* et *Schistosoma haematobium* (vecteur de la bilharziose) (ÜLLENBERG A., 2007), dans certains chauffages (chaudière à fuel ou mazout).

1.2.2) Evolution des prix mondiaux :

Jusqu'à présent, aucun prix n'est pas encore imposé, le prix international de l'huile de *Jatropha* s'élève à 700 – 1.500 US\$/t en fonction de l'huile et du producteur. Pourtant, une Alliance *Jatropha* a déterminé un indice : niveau maximum en 2008 avec plus de 1.400 US\$/t d'huile et allant à 726 US\$/t en Mai 2009 (ÜLLENBERG A., 2009). Mais ce dernier prix ne peut pas être appliqué actuellement à Madagascar car avec un coût de 2.115,3 Ar/l, le calcul donne environ 1.031,85 US\$/t d'huile de *Jatropha*.

1.2.2.1) Prix des graines dans le monde : (Témoignages, 2006).

En Inde, les semences coûtent 0,4 US\$/kg, et les graines 0,11 US\$/kg (225,5 Ar/kg).

1.2.2.2) Prix des graines à Madagascar : (ÜLLENBERG A., 2007).

Grâce à un alignement des tarifs, le prix d'achat aux paysans par les Sociétés est en général 500 Ar/kg. Cependant, les firmes producteurs vendent entre 0,19 – 0,27 US\$ (389,5 – 553,5 Ar). A Ambalavao, le prix atteint 500 Ar/kg contre 300 Ar/kg à Manakara.

1.2.2.3) Prix des huiles à Madagascar :

En ce moment, le prix vaut entre 2.000 – 5.000 Ar/l (vente aux coiffeurs) selon la saison et la zone (HENNING K. R. et *al.*, 2007) : par exemple, 3.000 Ar/l à Ambalavao (Témoignages, 2006). A l'échelle industrielle, BAMEX a estimé de vendre à 500 US\$/t ou 1.025 Ar/l (RANAIVOARISON A. et *al.*, 2006), mais ce qui n'est plus faisable actuellement.

1.2.2.4) Prix des huiles dans le monde :

En Inde, l'huile coûte 0,40 US\$/l ou 820 Ar/l (Témoignages, 2006).

1.2.2.5) Futur du prix à Madagascar :

Puisque la consommation augmente et les réserves fossiles s'épuisent, le prix des énergies va sûrement s'élever. Tant que la production d'huile de *Jatropha* est en concurrence avec le diesel importé et taxé (ou d'autres huiles végétales), un prix plus élevé pourra être demandé. A Madagascar, la production croissante entraînera la naissance d'un marché national avec un alignement des prix, même si les frais de production les différencieront.

1.2.3) Marché mondial : (voir annexe 5).

Actuellement, cette filière connaît une grande évolution : plusieurs expériences de culture intensive sont menées par les pétroliers et les Etats (Inde, Brésil, etc.)

1.2.3.1) Législations : (Wikipédia, 2010).

- En France, en Allemagne, en Espagne, en Suisse et en Belgique, les huiles végétales ainsi que certains kits adaptateurs du moteur sont certifiés, utilisables et soumis ou non à une taxe,
- A Madagascar : il n'y a pas de loi particulière pour cette filière. Elle est autorisée et soumise aux lois communes aux autres filières agricoles non alimentaires.

1.2.3.2) Analyse du marché local : (ÜLLENBERG A., 2007).

Aujourd'hui, à Madagascar, le marché est très abattu et déterminé par une certaine non transparence. Aussi, les coûts élevés de transport et de transaction évitent le marché «parfait». Mais l'huile de *Jatropha* joue un rôle important dans la couverture des besoins en énergie à Madagascar. Par exemple, l'utilisation de la cuisinière BSH réduit l'exploitation du bois.

D'après l'enquête menée à Tolongoina, si seule la moitié de la population rurale malgache substitue ses besoins par l'huile de *Jatropha*, il y aura une demande égale à 118.000 t/an. En plus, si JIRAMA remplace aussi ses besoins (99.000 t) et si le pays substitue tout le fuel lourd consommé (21.000 t) ainsi que 10% (ou bien 35.800 t) du gazole utilisé dans le transport routier par l'huile de *Jatropha*, il y aura une nouvelle demande de 155.800 t/an. Au total donc, il existerait localement un grand marché de 273.800 t/an qui nécessite environ 136.900 ha. Enfin, il faut noter que, chaque année, les propriétaires de moteurs diesels consomment 200 millions l de gazole (D1, 2005). Cependant, le marché dépend, d'une part, des prix des carburants fossiles et, d'autre part, de la législation concernant les biocarburants.

1.2.3.3) Analyse du marché international :

En 2005, la consommation mondiale de pétrole dans les transports routiers était de 1,6 milliard t. En effet, l'Europe prévoit de remplacer une grande part des carburants diesels par du biodiesel, ce qui augmentera la demande et ainsi le prix. Aussi, l'Inde a besoin de 200 millions l de biodiesel par an (Daemon Fairless, 2007). Enfin, en 2007, une firme néerlandaise a commandé 500.000 t d'huile de *Jatropha* (ITEBE, 2005). A part le Cap Vert, le *Jatropha* est surtout cultivé pour produire des graines qui sont exportées principalement vers Marseille.

Si le marché international de l'huile de *Jatropha* est concurrentiel, il s'agrandira. Généralement, quatre facteurs affectent le marché international de l'huile de *Jatropha* : développement des prix, garantie (présence de normes obligeant l'utilisation), législation incitative (exonération d'impôts, investissements dans la recherche, développement des infrastructures), efficacité de la chaîne de production (réalisation des effets d'échelle).

Tableau 1 : Offre et demande pétrolières mondiales (BECKER K. et al., 2005).

Année	Demande pétrolière (millions barils/j)	Offre pétrolière (millions barils/j)
2000	45	21
2030	60	15

1.3) Situation nationale de la filière *Jatropha* :

Le *Jatropha curcas* se trouve partout à Madagascar mais avec de quantités variables et la qualité de ses graines se classe parmi les meilleurs (40% d'huile). En outre, Madagascar possède environ 44 millions ha cultivables en *Jatropha* et 12 – 20 millions ha (D1, 2008) exploitables légalement pour cette culture (les autorités interdisent l'exploitation des surfaces agraires/forestières). Ainsi, les investisseurs envisagent au total la plantation de 1 million ha.

En particulier, cette culture est pratiquement favorable du point de vue climatique et pédologique dans la région de Sambava qui dispose de 167.000 ha de terrain pour le reboisement, selon le Ministère de l'Environnement (RAZAFINAKANGA, 2005).

1.3.1) Obstacles et difficultés liés aux cultures et à l'utilisation de *Jatropha* : (ÜLLENBERG A., 2007).

- Difficulté du calcul des taux en matière de croissance et de récolte ;
- Manque d'expériences et de connaissances : sur les pratiques culturales et post culturales, sur les impacts de la plantation ;
- Conditions (précipitation, température, sol) défavorables du milieu ;
- Attaques de maladies et insectes, feux de brousse, pression des mauvaises herbes :



Figure 6 : Pression des mauvaises herbes (Cliché : ÜLLENBERG A., 2009).

- Insécurité foncière : manque de décret d'application de la loi ;
- Moyens financiers (taux d'intérêt élevés) et équipements insuffisants ;
- Législation : pas de loi complète réglant le processus total (culture-vente).

1.3.2) Situation initiale de la filière *Jatropha* : (ÜLLENBERG A., 2007).

Initialement, le *Jatropha* a été planté comme buisson individuel. En 1930, il fut cultivé à grande échelle. Son huile s'utilisait industriellement dans la fabrication du «savon de Marseille» et les sous-produits furent récupérés pour la production de cire. D'autre part, cette huile a été utilisée directement comme carburant de moteurs diesels ou en mélangeant avec le diesel d'origine fossile depuis la 2^{ème} guerre mondiale jusqu'à nos jours. La plante fut utilisée comme tutrice des plants de vanille et de poivre, et comme clôture de champ ou de ferme.

1.3.3) Situation actuelle : (ÜLLENBERG A., 2007).

La filière *Jatropha* n'est pas encore bien organisée à Madagascar bien qu'elle confère à un développement rural intégré. Par ailleurs, un grand nombre d'investisseurs internationaux,

des opérateurs nationaux et des associations paysannes motivées par la valorisation de cette filière œuvrent actuellement dans ce secteur. Malgré les contraintes sur la fabrication de biodiesel, le marché des produits cosmétiques à base de *Jatropha* se développe localement.

Jusqu'à nos jours, les utilisations locales du *Jatropha* sont : tuteur des plants de vanille et de poivre, protection contre l'érosion et les feux de brousse, haie de clôture, fabrication d'huile lampant, de lubrifiant, de savon, de carburant (biodiesel), de combustible, de produits cosmétique et médical, d'engrais, de produits de lutte contre les nématodes, de bougie, etc.

Suivant le mode de culture, les acteurs peuvent être répartis en deux groupes (ÜLLENBERG A., 2009) :

- ✓ Productions sur de grandes plantations : en vue de produire du biodiesel,
- ✓ Productions sur de petites surfaces :

- ♣ Modèle «*Outgrower*» ou «*contract-farming*» : en concluant des contrats avec les paysans et en leur offrant une garantie que leur récolte sera achetée ;

- ♣ Promotion de plantations appartenant aux paysans : développement des zones rurales ou lutte contre l'érosion (ERI, PLAE), et, dans ce cas, les paysans bénéficient la production d'huile.

Modèles de culture :

A Madagascar, le système de monoculture règne, le *Jatropha* est cultivé sur des sols pauvres qui n'étaient pas utilisés auparavant. Toutefois, les *outgrowers* essaient de mettre en place le système d'association de cultures afin de réduire les mauvaises herbes.



Figure 7 : Association de cultures avec le *Jatropha* (Cliché : D1, 2008).

1.3.4) Avenir de la filière :

D'après les analyses de marché citées précédemment, les diverses utilisations possibles de *Jatropha* et le grand nombre d'investisseurs, la filière *Jatropha* se développerait

de plus en plus à Madagascar, étant donné que le pays présente certaines conditions favorables : climat, surface exploitable importante, mains d'œuvre suffisantes (paysans), etc.

1.3.5) Zones productrices à Madagascar : (voir annexe 6).

Pour pouvoir connaître les zones productrices de *Jatropha* à Madagascar, il vaut mieux voir les acteurs principaux de la culture de *Jatropha* dans le pays. Les grands investisseurs (HENNING K. R. et *al.*, 2007 ; ÜLLENBERG A., 2009) sont : Fuelstock Madagascar (Région Boeny – 50 ha), MCD (Région Boeny), GEM (Région Atsimo Andrefana – 27.500 ha), JatroGreen (Région Haute Matsiatra – 1.000 ha), JSL Biofuels (Région Bongolava – 300 ha, Région Boeny – 50 ha), PDJM (Région Sofia – 100 ha), DMG-DEG/KfW (Région DIANA), SOAVOANIO (Région SAVA), Madarail (Le long de la voie ferrée de la côte Est – 100 ha/an), Société Colmar (A l'ouest d'Antananarivo – 16.000 ha), Green Island Association (Ankazobe et Asambotsy-Antananarivo, Fenoarivo-Fianarantsoa, Tsiroanomandidy), C3 (Région SAVA – 25.000 ha), SNGF, GREEN, BAMEX, BCI, Cercle des amis du Vonizongo.

Pour les cultures de *Jatropha* dans le cadre d'un développement rural, il y a : ERI (Tolongoina Fianarantsoa – 600 ha, Toamasina – 80 ha), PLAE (Marovoay – 15.000 pieds, Soavina – 30.000 pieds, Bezaha, Andapa et Ambanja), et Association Koloharena (Région Vatovavy Fitovinany – 170 ha, Région Haute Matsiatra). Ensuite, des entreprises et projets se trouvent encore en phase de gestation et dont la plupart ont été bloqués par la crise politique de 2009 : BEL (Région Sofia), NEO (Région Bongolava – 4 ha), NOTS Renewable Energy B.V. (Région Betsiboka – 50 ha), J-Oils (Région DIANA – 20 ha), Avana Group (Région Bongolava), Bio Energy Invest (Région Boeny – 130 ha), Global Biofuel (Régions Boeny et Sofia), TRE (Région Atsimo Andrefanana). Enfin, il existe déjà des projets abandonnés : D1 BP Fuel Crop Limited, Flora Ecopower Holding AG munichoïse (Région Boeny), Oji Paper Group et TOM Investment (Région Atsimo Andrefana – 500 ha) (ÜLLENBERG A., 2009).

2) Cadre de l'étude :

2.1) Géographie de la zone d'étude : (PCD, 2006).

2.1.1) Localisation géographique :

Le terrain de plantation se trouve près du village Miadanasoa, *Fokontany* Besaonjo, Zone 3 de la Commune Ankazomborona (1.950 km²), District Marovoay, Région Boeny, à 495 km d'Antananarivo, ou bien à 86 km de Mahajanga, en déviant vers l'est sur 5 km de

route secondaire, au PK 490 de la RN4. Il est délimité au nord par Bekobay et Antanambao Andranolava (19 km), au sud par Marosakoa (13 km), à l'ouest par Marovoay I (18 km) et Marovoay II (20 km), à l'est par Bekoratsaka (0 km). Mais puisque toute la Commune est concernée dans les activités de cette implantation, il faut porter l'étude sur la Commune entière. La Commune rurale Ankazomborona présente deux villes au centre, et se compose de 20 Fokontany.

2.1.2) Pédologie et hydrographie :

2.1.2.1) Pédologie :

Voici les résultats d'analyses de quelques échantillons de sol effectués en Inde et à Madagascar (par l'ESSA-Agriculture et par la Société MCD) :

Analyse physique :

Tableau 2 : Caractéristiques physiques du sol.

Paramètres	Résultats
Teneur en sable	83,2%
Teneur en argile	3,45 – 18%
Teneur en limon	12,28%
Couleur	Beige claire, brun (très humique), rose, rouge allant au blanc.
Végétation	Satrana kely, Ziziphus sp, Hyparrhenia rufa, Légumineuses, Satrambe, Tapis végétal, Palissandre.
Spécificité	Existence de carapace rouge, de roches rouges de minerai de fer

Source : auteur-Société MCD, 2010.

Ce qui permet de déduire qu'il s'agit d'un sol à texture très sableuse avec une structure particulière, parfois grossière et sablo-argileuse.

Analyse chimique :

- pH légèrement acide : 4,5 – 6,23 ; et CECT presque moyenne : 10,4 ;
- Faible teneur en matière organique (0,9 – 4,49%), sol minéralisé : C/N = 9,5 – 15 ;
- Pauvre en complexe absorbant (Ca, Mg, K), en Azote et en Soufre ;
- Capacités du sol pour un supplément d'Azote : 14 kg/ha ; pour un supplément de Soufre : 12 kg/ha.

Tableau 3 : Teneurs en différents éléments chimiques du sol.

Eléments chimiques	Teneurs
Na	26 mg/kg
B	77,5 mg/kg
Cu	40,5 mg/kg
Mn	16.800 mg/kg
Zn	275 mg/kg
S	50 mg/kg
P	0,2 mg/kg
Ca	0,02 me%
Mg	0,04 me%
K	0,06 – 0,197 me%
P ₂ O ₅	0,004 – 0,09‰
C	0,522 – 4,7%
N	0,0295 – 0,26%

Source : auteur-Société MCD, 2010.

2.1.2.2) Hydrographie :

La Commune Ankazomborona est très riche en réseaux hydrographiques. Il y existe trois grands lacs (Amboromalandy, Ambilivily, Morafeno barrage) et quatre lacs moyens (Matsaborikisoa de Sainte Marie, Ankazomborona, Ambonara et Morafeno). En outre, neuf rivières passent dans cette Commune : Bekarara, Maivajofa, Andranomiditra, Mahajamba, Karambo, Namboenana, Ampatika, Ambatomainty et Tsimindranto. Pour l'eau potable, la Commune dispose d'un forage, de 11 puits et de 49 bornes fontaines.

Concernant le *Fokontany* Besaonjo, ou plus précisément le village Miadanasoa, l'eau potable vient des sources naturelles d'eau. Pour les autres utilités quotidiens (lessive,...), l'agriculture et l'élevage, des cours d'eau assurent les besoins des villageois. D'après le responsable de la pépinière Junot ARIMIARIMANANTSOA, les sources d'eau y sont suffisantes pour l'irrigation des cultures.

2.1.3) Climat :

D'après les données obtenues auprès du service météorologique, il y règne un climat de type tropical sec du Nord-Ouest de Madagascar, avec deux saisons bien distinctes :

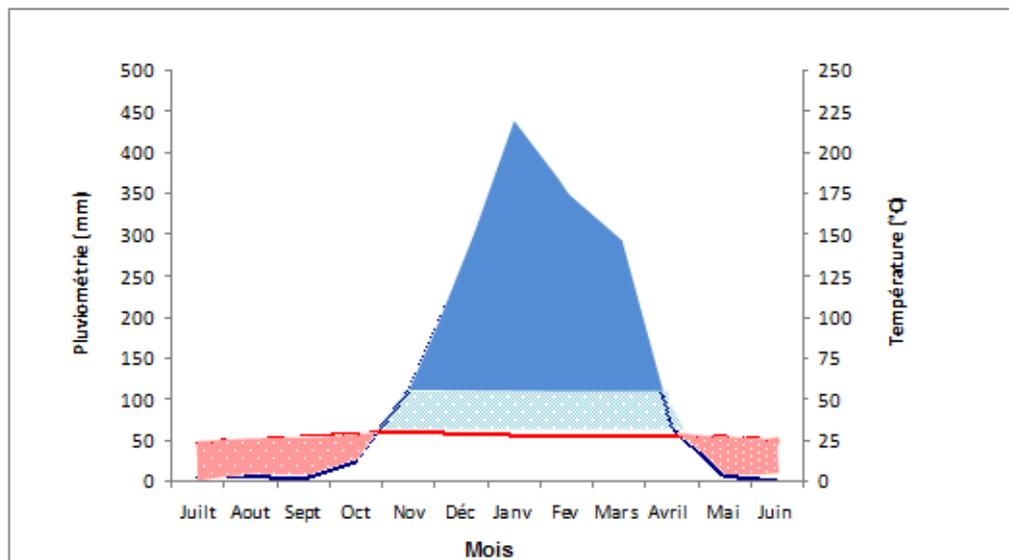
➤ Saison chaude et pluvieuse entre Novembre – Avril (6 mois) : période humide favorisée par le passage régulier des cyclones, avec une précipitation mensuelle strictement supérieure au double de la température ($P > 2T$). La pluviométrie y est importante avec une longue saison de pluie dont la moyenne annuelle vaut 1.500 mm réparties sur 70 j. La période la plus humide ou perhumide, avec des précipitations mensuelles supérieures à 100 mm, se situe entre Décembre (255 mm) et Mars (284 mm). En fait, en Janvier, le mois le plus arrosé, la pluviométrie montre un pic très important et seulement en 20 j, elle atteint 450 mm.

➤ Saison sèche très marquée entre Mai – Octobre (6 mois) : pendant laquelle les précipitations mensuelles restent inférieures au double de la température ($P < 2T$). Les mois les plus secs (Juin, Juillet et Septembre) présentent une quantité mensuelle de pluie inférieure à 5 mm.

Pour la Région Boeny, la température est relativement très élevée dont la moyenne se situe à 27,645°C ; et pour la Commune Ankazomborona, la température moyenne annuelle se situe entre 28 – 30°C (PCD, 2006). Pendant le mois le plus chaud (Novembre), la température varie de 29,3°C à 45°C. Pour les mois les plus froids et les plus frais (Juin et Juillet), elle descend jusqu'à 13°C, avec une moyenne de 24°C, ce qui peut s'expliquer par l'action du vent « *Varatraza* ».

Concernant le vent, le District de Marovoay dans lequel appartient la zone d'implantation est soumis à la fois à l'effet de l'Alizé du Sud-Est et au vent desséchant du Nord appelé « *Varatraza* ». C'est la région la plus exposée à l'Alizé pouvant atteindre une force de 5 à 8 sur l'échelle de Beaufort (Service Météorologique, 2008). Ce vent caractérise la variation de l'humidité dans la région, notamment en hiver.

D'après les données sur la pluviométrie et la température de la région entre les années 1951-1995, prises comme références, voici une représentation graphique :



■ : Perhumide ($P > 100\text{mm}$) ■ : Humide ($2T < P < 100\text{mm}$) ■ : Eco sec ($P < 2T$)

Figure 8 : Courbe ombrothermique de la zone d'implantation du projet établie selon WALTER et LIETH (1967).

Source : Service Météorologique, Département des pluies et températures, 2008.

2.1.4) Démographie :

La population de la Commune Ankazomborona compte 34.492 habitants en 2008 dont 10.125 individus, ou bien 29,35%, constituent la population active. Avec une densité de 18 hab/km², la Commune est encore sous-peuplée. En 2008, le *Fokontany* Besaonjo disposait 899 habitants.

Cette population est très hétérogène, plusieurs ethnies la composent suivant les proportions respectives suivantes : Sakalava 29%, Tsimihety 27%, Betsileo 14%, Antaisaka/Antaimoro 12%. Cependant, c'est une population presque stable qui ne montre pas assez de migration bien que diverses raisons expliquent l'installation de ces habitants.

2.1.5) Contexte agricole :

2.1.5.1) Relief et topographie :

Le relief se caractérise par de monticules couverts de forêts, de vastes plateaux de faibles altitudes variant entre 50 m et 100 m, alternés rarement par des vallées peu profondes et de faibles pentes, ou par des plaines. Ces vastes aplanissements résultant de l'altération profonde des migmatites ou des gneiss d'âge précambrien marquent la géomorphologie générale de la région, il s'agit des plateaux ou « *tanety* » qui sont très lessivés. Lors de la

période de crue, les fleuves transportent les sédiments lessivés sur les plateaux vers les pourtours tout en aménageant des sédiments de berges de couleur beige ou rouge, très micacés. Ce sont des plaines alluvionnaires très fertiles désignées sous le nom de « *baiboho* ».

En particulier, au niveau de la zone d'implantation, l'altitude est comprise entre 10 m et 50 m, sauf la partie Est qui est un peu élevée mais l'altitude n'y dépasse pas 100 m (MCD, 2010). En plus, la plantation ne sera installée que sur les plateaux de pente inférieure à 15%.

2.1.5.2) Forêts :

C'est une forêt dense sèche de l'Ouest, riche en espèce faunistique et floristique. Il y existe des espèces d'arbres précieux : Palissandre, *Nato*, *Hazoambo*. La forêt primaire d'Analalava et Beronono abrite des espèces animales endémiques de Madagascar : lémuriens (*Komba*), palmipèdes (*Tsivongo*), sarcelles, flamants, piques bœufs, potamochères, reptiles (*Do*, *Menarana*). Dans la forêt se trouvent aussi du miel d'abeilles, des tubercules (*masiba*), des fruits sauvages (goyaves, citrons, *jambarao*, tamarinier, jujube), des plantes médicinales et des plantes aromatiques (*mandravaratrotra*, *talapetraka*,...).

2.1.5.3) Occupation du sol :

Le sol est destiné principalement à l'agriculture, au terrain de pâturage, à l'habitation, et enfin une partie appartient à l'aire protégée d'Ankarafantsika. Concernant l'agriculture, la riziculture occupe les plaines, les sols fertiles tels que sols argileux ou « *tany betro* » et sols noirs ; les versants et les collines sont réservés pour les anacardiens, le reboisement et les cultures sèches ; les cultures irriguées s'installent généralement sur les vallées.

2.1.5.4) Agriculture :

Selon la production annuelle, les trois premières cultures de la Commune sont, suivant leur rang, le riz, le manioc et le maïs. Le travail des terres se fait soit mécaniquement à l'aide de tracteur (rare), ou avec la traction animale, soit manuellement. Certains paysans emploient des intrants chimiques produits par guanomad, d'autres utilisent des engrais d'origines biologiques (engrais verts) ou les deux à la fois suivant la culture et le moyen.

♣ Riziculture :

C'est la principale activité des paysans, étant donné que le District Marovoay demeure le deuxième producteur de riz à Madagascar. La riziculture d'Ankazomborona occupe une surface égale à 4.500 ha, dont le rendement varie de 2,5 – 3,5 t/ha, ce qui donne au total une production de 11.250 t, 20% de la production rizicole du District Marovoay. Les récoltes se

répartissent en trois périodes bien distinctes, ce qui donne trois types différents de riz : riz « *asara* » cultivé en Décembre et récolté en Mai, riz « *atriatry* » de Février à Juillet, riz « *jeby* » de Mai à Septembre.

♣ Cultures vivrières :

Les autres cultures occupent des surfaces moins importantes.

Tableau 4 : Terres occupées par les cultures vivrières (PCD, 2006).

Cultures	Surfaces exploitées (ha)	Productions annuelles (t/an)
Maïs	25	75
Manioc	60	270
Canne à sucre	15	60
Raphia	300	450
Mangue	Non déterminée	Non déterminée

♣ Calendrier agricole :

Selon ces cultures adoptées par les paysans, ils sont très occupés entre le mois de Décembre et le mois de Mai. De Juin à Novembre, ils disposent beaucoup de temps libres.

2.1.5.5) Élevage :

L'élevage bovin constitue la deuxième activité de la population même s'il s'agit du type extensif. Au total, il y existe 31.022 têtes de zébus parmi lesquels les vaches comptent 7.800 têtes et donnent une quantité de lait égale à 840 l/an. Les zébus constituent aussi des bœufs de trait et une source gratuite d'engrais (fumier) pour l'agriculture. Après cet élevage bovin, les habitants pratiquent aussi l'aviculture dont les volailles et palmipèdes comptent ensemble 215.000 têtes. Il y a aussi l'élevage caprin avec quelques têtes de chèvres. Enfin, l'élevage porcin y présente une très petite part car la majorité de la population en est taboue.

2.1.5.6) Pêche :

La pêche constitue la troisième activité après l'agriculture et l'élevage. Mais parfois, celle-ci peut être aussi considérée comme un passe-temps. Différents types de produits sortent de la pêche : Tilapia, « *Vangolopaka* », « *Trondro vahiny* », Carpe, Anguille. Chaque année, la production atteint au total 1.500 – 2.000 t.

2.1.6) Contexte économique :

Les principales sources de revenus sont : l'agriculture, l'élevage et la pêche. Les produits sont vendus presque localement, soit entre eux-mêmes, soit aux collecteurs, soit aux passagers de la RN4, soit aux visiteurs. Le grand marché de la Commune se fait tous les Jeudi pendant lesquels les paysans se rencontrent pour vendre et s'approvisionner.

La vente du riz se fait sous forme de paddy ou sous forme de riz blanc. Les autres produits agricoles ne sont vendus que lorsque le ménage a besoin d'argent, de même que les produits de l'avicole, car ces produits agricoles constituent un complément alimentaire pour les paysans, surtout pendant la période de soudure. Concernant l'élevage bovin, pour la plupart des cas, ils ne vendent jamais leurs animaux. Par contre, les produits de la pêche sont destinés entièrement à la vente, une très petite partie seulement est parfois consommée.

A côté de ces activités agricoles, l'artisanat, le commerce ainsi que le tourisme apportent aussi un revenu pour la population mais avec une faible proportion. Premièrement, l'artisanat connaît des problèmes de manque de savoir-faire et d'insuffisance de matériel. Les principaux produits sont : natte, panier, cendrier, bougeoir,... Selon la statistique, cette activité engage 3% des hommes et 5% des femmes. Concernant le commerce, il y en existe deux différents types : vente des produits locaux, vente des PPN (détaillant-grossiste) qui sont obligatoirement importés des autres régions. Pour le tourisme, la commune possède plusieurs sites attractifs mais le problème c'est l'absence d'infrastructures adéquates. Ces sites sont : forêts de Beronono et de Marofototra, lacs d'Amboromalandy, d'Ambilivily, de Morafeno barrage et de Matsaborikisoa de Sainte Marie, Parc national d'Ankarafantsika.

2.1.7) Contexte social : (voir annexe 3).

2.2) Projet de développement et production filière Jatropha :

PROJET FUELSTOCK MADAGASCAR : (NAVALONA R., 2009).

La Société Fuelstock Madagascar, fondée en Novembre 2008, est une entreprise britannique de statut juridique Société Anonyme, et qui s'installe dans la Région Boeny.

2.2.1) Objectif global :

La Société veut être un pilote et un appui à l'approvisionnement en biodiesel de la réserve mondiale : ce projet envisage de produire 50.000 t d'huile de *Jatropha* par an. Elle vise à combiner le rendement du capital investi avec le soutien de développement à la

production de biodiesel. Pour cela, le Chef Exécutif Peter G. Hanratty collabore avec des citoyens spécialistes et mène le projet étape par étape après avoir étudié la filière et les expériences des autres investisseurs pendant 5 ans.

2.2.2) Objectifs spécifiques :

Les objectifs spécifiques de la Fuelstock sont le développement d'un grand projet de *Jatropha* à Madagascar, l'investissement dans d'autres projets de soutiens aux huiles végétales non alimentaires, la sponsorship des échanges d'informations dans les industries de *Jatropha* et la réduction des émissions de carbones.

2.2.3) Activités agricole et industrielle :

En vue de produire et de sélectionner les variétés destinées à la plantation, une première expérimentation a été déjà effectuée. Ensuite, pour commencer, Fuelstock a entrepris, en Septembre 2009, la plantation en pépinière de 100.000 plants. Ainsi, une superficie de 50 ha a été plantée en Février 2010. En cette année même, la Société va installer 1.000 ha de plantation. Et elle agrandira la plantation jusqu'à 30.000 ha pour le long terme. Enfin, six usines de transformation seront construites sur place, de même, la production sera destinée principalement au marché local.

2.2.4) Programmes sociaux :

En même temps, un centre de formation appelé « *Jatropha school* » est mis en place afin de former les paysans sur les techniques de la culture de *Jatropha*, et de les éduquer sur la santé. D'ailleurs, cet investisseur met d'autres programmes sociaux tels la fourniture des tables bancs pour l'école, les appuis pour l'amélioration de nourritures et la création d'un terrain de foot. En plus, la Société prévoit aussi d'autres projets dont la population bénéficiera tels que : création des infrastructures routières, mise en place d'un centre de santé, adduction d'eau potable et électrification gratuite du milieu.

2.2.5) Choix du milieu :

Le climat très favorable à la plantation, l'altitude, l'importante surface non agraire (RANDRIAMBOLOLONA F., Maire de la Commune rurale Ankazomborona, 2008) de la région expliquent le choix de ce milieu. Aussi, la population apprécie la mise en œuvre du projet qui développe son village, une zone très isolée.

3) Modes de collecte des données : (voir annexe 2).

Plusieurs modes ont été procédés pour collecter les données :

- ♣ Les entretiens avec le Maire de la Commune rurale Ankazomborona, les travailleurs et le responsable du site ;
- ♣ Les enquêtes auprès de la Société consultante MCD, auprès des paysans ;
- ♣ Les navigations sur internet et les bibliographies à partir des ouvrages ;
- ♣ Les analyses physico-chimiques au laboratoire ;
- ♣ La consultation de certains documents de la Société Fuelstock Madagascar S.A. ainsi que d'autres unités comme la GTZ, la MCD, la PLAE et beaucoup d'autres ;
- ♣ Les observations faites sur terrain avant, pendant et après la plantation.

4) Contraintes et limites de l'étude :

4.1) Sols très hétérogènes :

Le champ de culture présente des sols très hétérogènes. Pour l'analyse pédologique, cela constitue une contrainte car il faut donc analyser tous les types de sols quelque soit leur nombre, une fois qu'il y a une variation ; sinon, la solution finale ne réussirait que partiellement (sur les types analysés). En plus, pour chaque type, il faut prendre quelques échantillons représentatifs et calculer sa proportion par rapport à la surface à exploiter.

Et concernant l'expérimentation de plantation, c'est le même cas, une expérimentation doit être menée sur chaque type de sol et ainsi le résultat serait traitable et utilisable seulement pour la plantation sur ce type de sol.

4.2) Hétérogénéité de l'origine des jeunes plants :

Il est certain que parmi les plantes cultivées dans l'expérimentation, trois origines existent (Mahajanga, Moramanga et Antsirabe). Ce qui peut influencer le résultat de l'expérimentation puisque, suivant leur origine, les plants peuvent avoir leur vitesse de croissance, leurs résistances aux maladies, à la sécheresse, à une température trop basse ou trop élevée, à une pluviométrie trop intense. Par conséquent, les différences entre les résultats vont se maximiser ou se minimiser par rapport à la réalité attendue que si l'origine était unique. Aussi, sur laquelle de ces origines la fin de l'expérimentation serait-elle valable ?

4.3) Non installation des usines de transformation :

Vu que les usines ne sont pas encore installées, il n'y a pas d'observation du cas pratique, l'étude de l'extraction doit se contenter tout simplement de la théorie c'est-à-dire des documents contenant le cas général et les cas particuliers des autres unités de la filière *Jatropha*. De plus, la Société ne possède pas encore le document comportant son plan et son procédé post cultural qu'il faut étudier et optimiser comme ce qui est le but de ce travail.

4.4) Plantation moins âgée :

L'étude connaît aussi une limite au niveau des entretiens, des récoltes et des activités post culturales précédant l'extraction. La plantation vient juste d'être installée et ce qui fait qu'il n'y a pas d'observation de l'application de ces étapes sur l'installation. Mais par opposition au point précédent, ceci bénéficie d'une observation des entretiens faits sur l'expérimentation de la Fuelstock âgée de 1 an, et qui arrive déjà au stade de fructification. En outre, ces procédés sont déjà décrits dans le document de la Société consultante MCD.

4.5) Temps limité de l'expérimentation :

Il est évident que les différences entre les plantes de l'expérimentation vont s'intensifier au fur et à mesure que le temps passe. Pour un temps assez réduit, c'est-à-dire que les plantes n'arrivent pas encore au stade de fructification ou bien qu'elles n'ont pas encore passé une saison complète de plantation, les différences enregistrées entre les végétaux conditionnés sous des paramètres variés sont encore faibles. Cela signifie qu'il vaut mieux attendre au moins un an pour pouvoir apprécier les différences sur le développement de chacun des individus et surtout sur le rendement en graines qu'ils apportent.

En bref, ces contraintes et limites constituent ainsi une difficulté dans l'optimisation de l'implantation. Mais, pourtant, l'étude peut toujours aboutir grâce à la compilation suivie d'un traitement des données obtenues sur terrain avec les études faites sur la filière au niveau mondial, national et aussi régional.

5) Diagramme synthétique des travaux de recherche :

Voici le plan général des travaux effectués pendant l'élaboration de cette étude :

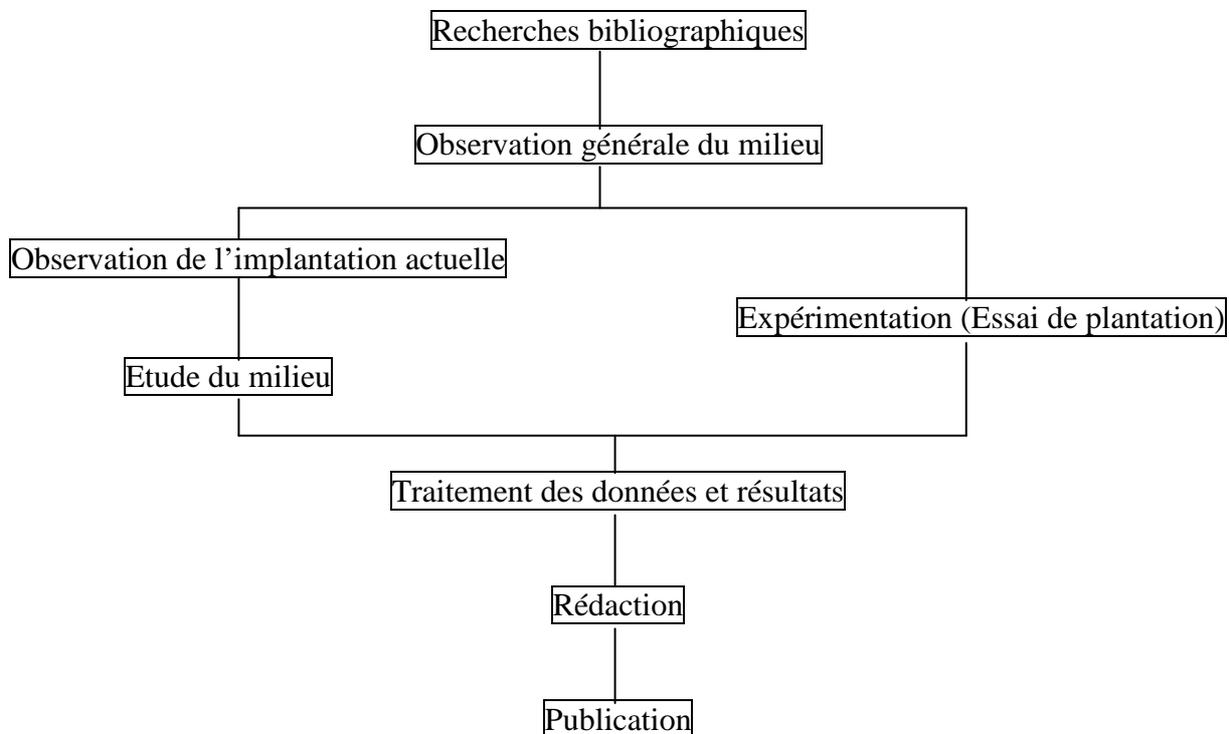


Figure 9 : Diagramme synthétique des travaux de recherche (auteur, 2010).

6) Présentation générale de l'étude :

6.1) Genèse de l'étude :

Comme à Madagascar, le climat et le sol permettent la filière *Jatropha*, la Société Fuelstock Madagascar est une unité qui se lance à l'exploitation du *Jatropha* dont son principal objectif est de produire du biodiesel à partir des graines de ces plantes. Elle travaille en ce moment sur une surface de 50 ha et bientôt elle va agrandir cette superficie jusqu'à 1.000 ha, pour atteindre 30.000 ha. Ce qui nécessite la réalisation de cette étude intitulée « Optimisation de l'implantation industrielle de *Jatropha curcas* ».

6.2) Problématique et hypothèses :

Puisque chaque région a ses paramètres (altitude, relief, hydrographie, pluviométrie, température, pédologie, etc.) propres, la technique d'implantation du *Jatropha curcas* varie suivant le milieu adopté. Ainsi, la non maîtrise de la pratique agricole appropriée pour ce

milieu aboutit à une baisse de rendement dont l'intensité est fonction de l'erreur commise, et ceci peut finir même par une faillite de l'installation.

Mais à côté des techniques et pratiques culturales nécessaires à l'installation, il y a forcément des points de blocages qui sont parfois indépendants des coordonnées du milieu et qui ne doivent pas être ignorés. Et aussi, il existe des méthodes secondaires qui permettent d'atteindre le maximum de profit sur la même installation et/ou avec le même investissement, ces méthodes doivent être donc recherchées pour y arriver.

Pour remédier à cette problématique, les hypothèses suivantes seront admises :

- La connaissance du milieu ainsi que de la plante permettrait d'intervenir sur la manipulation de l'installation,
- Les données obtenues à partir des recueils et des recherches seraient des outils fiables et exploitables,
- Les résultats des analyses et des expérimentations représenteraient réellement le cas de l'ensemble à étudier,
- Le document ainsi établi constituerait vraiment un guide nécessaire pour l'optimisation de l'implantation.

CONCLUSION PARTIELLE I

Vu les conditions de culture demandées par le *Jatropha*, il ne présente pas une concurrence spatiale avec les cultures à objectif alimentaire ou les forêts tropicales. La filière *Jatropha* est donc très prometteuse. Par la suite, le marché mondial couvre un certain nombre de pays et dont l'huile demeure le principal produit commercialisé. En particulier, à Madagascar, la production va sûrement s'intensifier grâce à l'installation de multiples zones productrices, malgré que quelques unités aient abandonné la filière. Jusqu'à présent, les offres se situent au dessous des demandes mais le grand intervalle de variation relative du prix constitue un problème dans l'étude préalable du marché. Ensuite, le milieu choisi présente un nombre satisfaisant de conditions favorables à la culture de *Jatropha curcas* étant donné que cette plante est considérée comme un végétal peu exigeant. Ce sont surtout la pluviométrie, la température, l'altitude, l'hydrographie, le relief et la grande surface disponible, base de l'activité, qui permettent l'installation de cette échelle de plantation.

DEUXIEME PARTIE :

RESULTATS ET

INTERPRETATIONS

INTRODUCTION PARTIELLE II

Après avoir étudié la plante et le milieu, cette deuxième partie consiste à établir les résultats de l'expérimentation ainsi que leurs interprétations qui conduiront aux améliorations des techniques actuelles. Par la suite, l'identification de la pratique culturale déjà appliquée par la Société permet de préciser les points à optimiser et de résoudre ensuite les problèmes liés à l'implantation.

1) Résultats de l'expérimentation : (voir annexe 1).

Les moyennes des nombres de feuilles montrent des diminutions de valeurs entre la date 1 et la date 2. La diminution est faible pour la ligne témoin (sans paille ni fumier), et importante pour la ligne 2 (avec 2 zingues de fumier mais sans paille). Pourtant, de la date 2 à la date 3, pendant laquelle toutes les valeurs augmentent, cette ligne 2 montre la plus grande croissance, par opposition à la ligne 7. Par la suite, la ligne 7 devient à son tour la plus intéressante en passant de la date 3 à la date 4 malgré que tous les plants y présentent une haute variation de nombres de feuilles et dont la plus faible appartient à la ligne témoin. En d'autre terme, en passant directement de la date 1 à la date 4, la ligne témoin connaît la plus basse augmentation de nombre de feuilles tandis que la ligne 7 en présente la plus élevée.

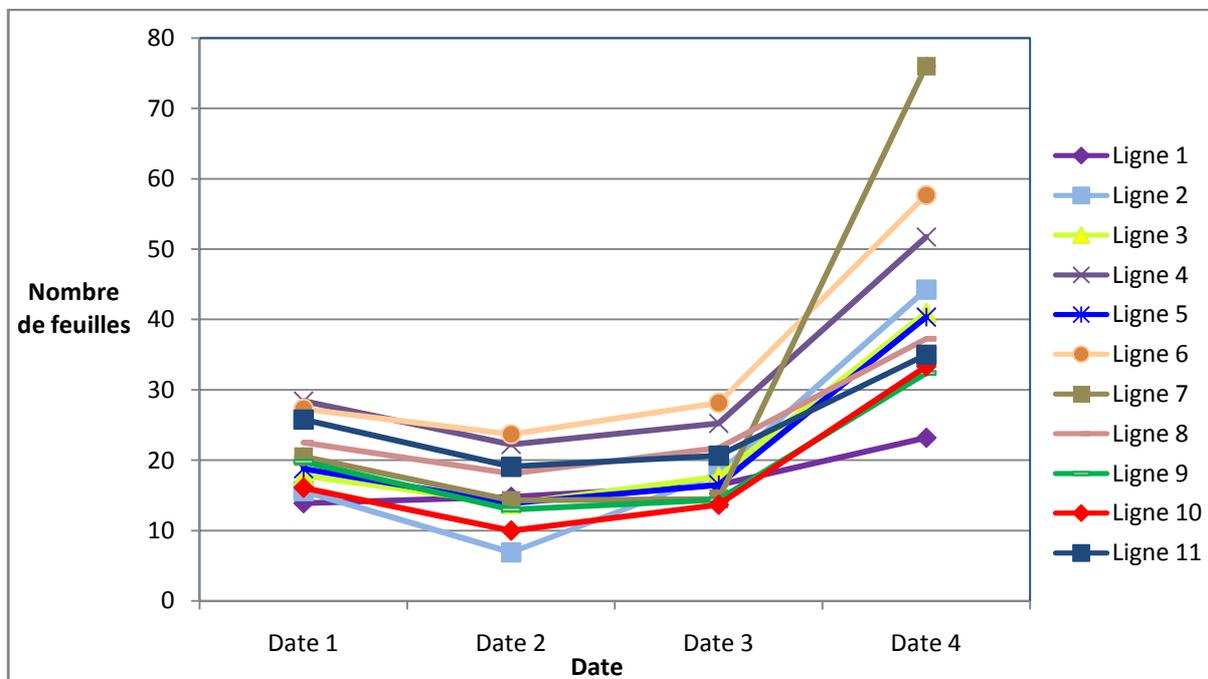


Figure 10 : Variation du nombre de feuilles du *Jatropha* pour chaque ligne de plantation (auteur, 2010).

Concernant la croissance en hauteur, seule la ligne 11 (présence de paille de fond et avec 8 zingues de fumier bovin humide équivalent à 4 kg de matière sèche) qui en montre une nette variation.

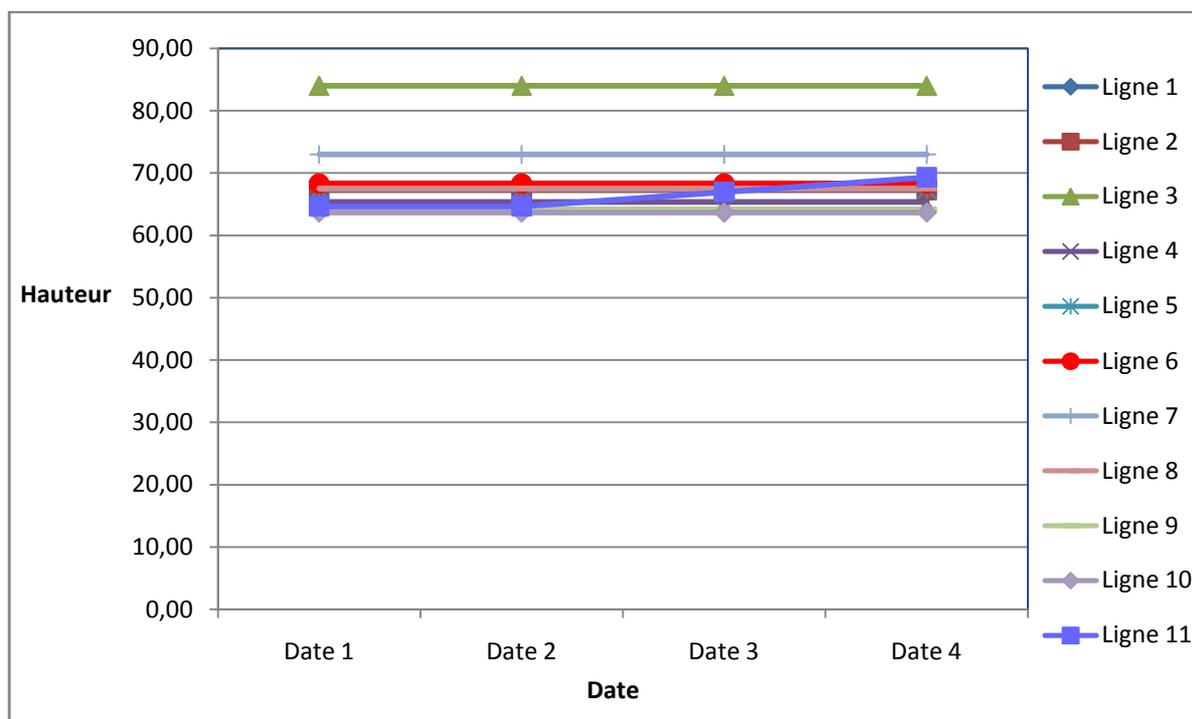


Figure 11 : Variation de la hauteur du *Jatropha* pour chaque ligne de plantation (auteur, 2010).

Sur le plan pathologique, pendant cette période d'expérimentation, un grand nombre de sujets a été atteint par le mildiou provenant de la grande implantation, parmi lesquels, certains sujets finissent par mourir. En particulier, malgré ses six pieds malades, la ligne 1 ne possède finalement aucun pied mort. Par contre, la ligne 7, en partant par neuf sujets malades, aboutit à la disparition de huit sujets.

Tableau 5 : Etats pathologiques de l'expérimentation.

Ligne	Nombre de pieds malades	Nombre de pieds morts
Ligne 1	6	0
Ligne 2	2	2
Ligne 3	5	1
Ligne 4	7	2
Ligne 5	6	5
Ligne 6	6	4
Ligne 7	9	8
Ligne 8	8	6

Ligne 9	7	5
Ligne 10	9	7
Ligne 11	8	7

Source : auteur, 2010.

2) Interprétation des résultats :

Comme la ligne 7 présente le maximum d'augmentation du nombre de feuilles, la quantité de 4 zingues (2 kg de matière sèche) de fumier bovin humide avec application du système de paillage du fond du trou constitue donc la base pour avoir un bon feuillage. Cet avantage s'avère très important car il conduit au développement de la plante et influe ainsi la fructification. Les apports insuffisants n'arrivent pas à atteindre le maximum de résultat dans une durée déterminée ; pourtant, les excès d'apports provoquent d'une part l'acidification du sol, et d'autre part la plasmolyse par osmose et la brûlure (par une concentration élevée des sels) des cellules racinaires, d'où l'état de souffrance du végétal.

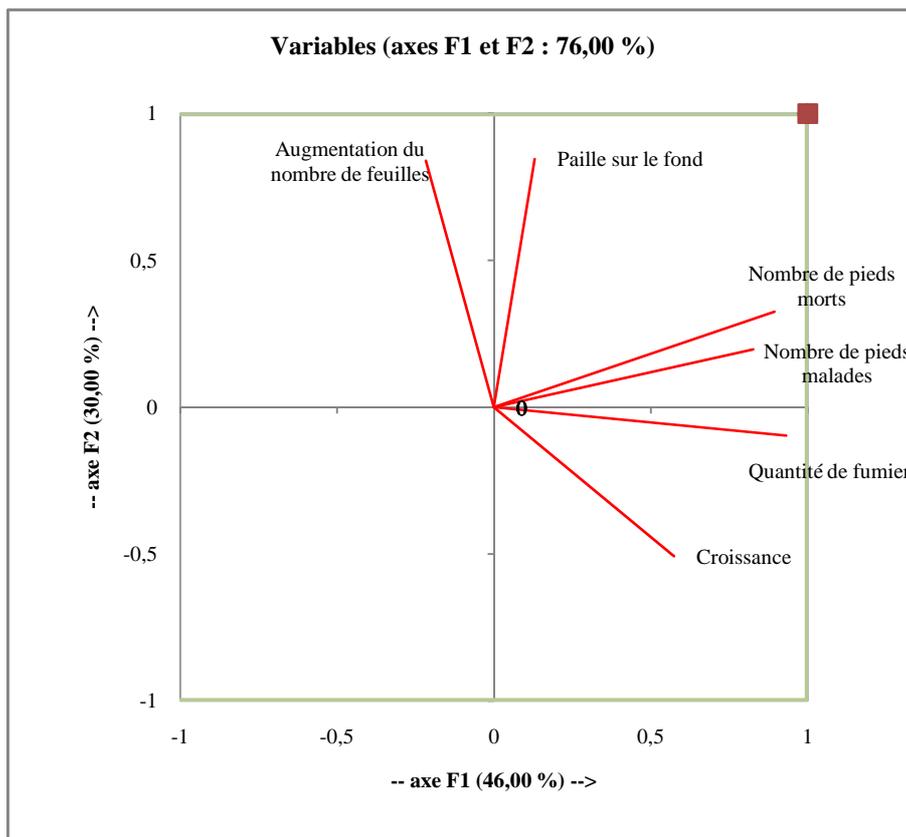


Figure 12 : Cercle des corrélations (auteur, 2010).

D'après ce graphe, il y a une corrélation entre l'augmentation du nombre de feuilles et la présence de paille au fond du trou. Ainsi, pour l'ensemble de l'expérimentation, entre la

date 1 et la date 4, les lignes de plantation sans paille (lignes 2, 4, 6, 8, 10) ont une augmentation du nombre de feuilles (de 110 à 224, c'est-à-dire 104,05%) inférieure à celle des lignes de plantation (lignes 3, 5, 7, 9, 11) avec paille de fond (de 103 à 225, c'est-à-dire 118,83%). La différence est très importante en passant de la date 3 à la date 4, c'est-à-dire pendant la période sèche : de 107 à 224 (double) pour les lignes sans paille et de 84 à 225 (triple) pour les lignes avec paille.

La présence de paille de fond donne un avantage à la ligne 7 par rapport à la ligne 6 sur l'augmentation du nombre de feuilles malgré qu'elles contiennent les mêmes quantités optimales de fumier. Ce qui veut dire que la paille permet de retenir les éléments fertilisants et surtout l'eau et de les offrir à la plante en période de sécheresse. De même, pour les lignes 10 et 11 qui possèdent les mêmes doses maximales d'engrais et qui montrent des augmentations de nombres de feuilles comparables, la ligne 11 présente une nette croissance par rapport à la ligne 10. Ce qui peut s'expliquer par le fait que la paille retient de l'eau et permet au végétal de croître brutalement sans plasmolyse dans un court délai, mais le faible accroissement du nombre de feuilles signifie la souffrance de la plante et ceci n'est donc pas souhaitable.

Selon la matrice de corrélation obtenue à partir de l'ACP, il n'y a aucune corrélation de la présence de paille de fond avec le nombre de pieds morts (coefficient de corrélation : 0,288) ni avec le nombre de pieds malades (coefficient de corrélation : 0,242). Cependant, la quantité de fumier apportée et le nombre de pieds morts sont très fortement liés (coefficient de corrélation : 0,820), de même que la quantité de fumier et le nombre de pieds malades (coefficient de corrélation : 0,654). Ainsi, il semble que la résistance des plantes à la maladie (mildiou) est inversement proportionnelle à la quantité de fumier bovin humide apportée. Mais ceci comporte une incertitude parce que, à part la résistance des végétaux, la mort dépend aussi du degré relatif de la maladie sur chaque pied.

En bref, malgré que les différences de croissances entre les dix premières lignes ne soient pas encore bien distinctes pendant cette période d'expérimentation, l'optimal s'obtient en utilisant la quantité de 4 zingues de fumier bovin humide par trou et en appliquant le système de paillage du fond du trou.

3) Caractéristiques de l'étude :

3.1) Identification des pratiques culturelles et post culturelles : (ARIMIARIMANANTSOA J., Responsable du site, 2009)

Jusqu'à présent, seules les pratiques culturelles qui ont pu être identifiées puisque le projet n'arrive pas encore au stade post cultural (phase de transformation) ni à la récolte.

3.1.1) Préparation de la pépinière :

Celle-ci passe par : défrichage, labour, émiettement, aménagement des plates bandes de 20 m x 1 m, épandage d'engrais biologique (fumier bovin) avec un dosage de 15 kg/m², malaxage, nivellement, arrosage, semis des graines germées. Le semis se fait en mois de Septembre, en lignes espacées de 20 cm et parallèles à la longueur des plates bandes. Donc, il y a au total 6 lignes/plate bande. Entre les plates bandes existent des petites espaces qui permettent de faire l'entretien de la pépinière, mais aussi la circulation des eaux de ruissellement. Il s'agit d'un semis de type indirect des graines préalablement germées sur des lits de germinations et qui sont retenues comme des meilleures semences.

3.1.1.1) Origine et conservation des graines :

La conservation des graines se fait par un séchage à l'ombre. Parmi les graines utilisées dans la pépinière, 15.000 sont de la variété de Moramanga plantée à Amboromalandikely, 15.000 autres appartiennent à la variété de Mahajanga, et le reste fait partie de la variété d'Antsirabe installée à Ambondromamy. Ce qui fait que les graines ne sont pas homogènes. Il faut noter que le nombre de graines à semer doit dépasser 100.000, sachant que le taux de germination n'atteint pas généralement 100% et que le temps de germination varie d'une graine à l'autre.

3.1.1.2) Sélection des graines :

La sélection des graines se fait suivant leur temps de germination. Ce critère consiste à retenir les graines qui présentent la germination optimale (ni trop accélérée ni absente) après 2 – 3 j. Pour cela, les graines sont semées sur des lits de germination préalablement nettoyés. Puis, une couche fine de sol ainsi que de paille les recouvrent, et l'ensemble est enfin arrosé.

3.1.1.3) Entretiens de la pépinière :

Les entretiens appliqués à la pépinière sont :

- ✓ Arrosage régulier : avec une fréquence de 2 fois/j (matin et soir) de Septembre à Novembre, ou 1 fois/j (matin) suivant la température et surtout la pluie ;
- ✓ Désherbage périodique : tous les 15 – 20 j selon la vitesse de repousse des mauvaises herbes, il s'agit d'un désherbage total qui élimine manuellement le matériel végétal indésirable, concurrent et source de maladies pour la pépinière ;
- ✓ Débourageonnement : élimination du bourgeon terminal de la plante à l'âge de 1,5 mois, ce qui entraîne la multiplication de ses branches ;
- ✓ Taillage : coupure de la partie supérieure (25 cm) de la tige principale au 3,5^{ème} mois ;
- ✓ Ajout d'urée : sous forme diluée et avec une dose de 1 boîte d'urée solide/plate bande pour favoriser la croissance des jeunes plants de la pépinière ;
- ✓ Traitement des maladies : ce traitement utilise, suivant les maladies, divers types de produits (gazidine, diméthoate, cyperméthrine, deltagri) sous forme diluée (0,25 – 0,5%) selon la dose relative indiquée dans la prescription de chaque produit (1 l pour 5 ha). Le traitement nécessite un pulvérisateur pour répartir de façon rationnelle le produit utilisé.

3.1.1.4) Moyens :

- Matériels : les moyens matériels regroupent les « *angady* », les pelles, les pics, les ficelles, les arrosoirs, les pulvérisateurs.
- Mains d'œuvres : les travaux lourds tels le labour, l'émiettement, l'épandage d'engrais, le malaxage, le nivellement et le traitement des maladies sont réservés aux hommes ; par contre, les femmes s'occupent du désherbage, du semis ; les autres travaux comme l'ajout d'urée et l'arrosage peuvent se faire par les hommes et les femmes.

3.1.2) Transplantation et entretiens :

3.1.2.1) Préparations du terrain :

❖ **Traçage** : le traçage se fait à l'aide d'un tracteur muni d'un chisel à 2 dents rigides verticales qui a pour rôle de remuer la matière organique de la couche superficielle avec la terre fine et d'ébranler la terre forte de la couche inférieure tout en éclatant le sol sans le retourner. C'est un travail de sous-solage de 30 cm de profondeur qui a pour but de faciliter la trouaison, d'ameublir et d'aérer le sol, d'approfondir la terre arable. Normalement, le traçage suit des lignes parallèles aux courbes de niveaux avec une équidistance égale à 2,5 m, c'est-à-dire perpendiculaire à la plus grande pente de chaque parcelle du champ de culture. Le traçage se fait en mois de Décembre. C'est le premier travail de la plantation.

❖ **Trouaison** : la trouaison succède le traçage, elle a lieu vers le début du mois de Janvier. Les trous ont la forme d'un cube de volume 30 cm x 30 cm x 30 cm. Ces trous sont créés sur les lignes tracées tout en gardant un alignement entre les trous des lignes voisines. Par ailleurs, leurs centres font, suivant les lignes, un écart de 2 m. Les trous ainsi créés forment alors des lignes perpendiculaires aux lignes de traçage. Lors de la trouaison, la couche supérieure de terre est séparée de la couche inférieure parce que lors de la plantation (rebouchage) elles seront inversées.

Par conséquent, ces deux travaux sont effectués afin que les jeunes plants présentent des équidistances de 2 m suivant chaque ligne de traçage et de 2,5 m entre les lignes.

3.1.2.2) Transport et répartition des engrais :

Les engrais sont des fumiers organiques des parcs à bœufs. Un tracteur muni d'une remorque assure le transport de ces engrais du local de stockage jusqu'au champ de culture. A chaque voyage, une quantité de 6 t est déposée sur tous les 100 m de parcours sur le terrain.

Dans le cas où les trous sont remplis d'eaux de pluie, il faut tout d'abord y enlever ces eaux avant de verser les engrais, il est en de même dans le cas où les trous sont rebouchés involontairement par les alluvions et les boues apportées par les eaux de ruissellement. Par la suite, 3 zingues de fumier (équivalent à 3 kg de matières humides ou bien 1,5 kg de matières sèches) sont versés dans chaque trou. Puis, ce fumier va être mélangé avec la première couche (la plus superficielle) de la terre de rebouchage soulevée lors de la trouaison.

3.1.2.3) Arrachage, transport et répartition des jeunes plants :

L'arrachage des plants à partir de la pépinière a lieu la veille ou même le jour de la plantation et ne se fait pas en une seule fois pour éviter que les jeunes plants ne souffrent trop. Les plants de la pépinière sont arrachés soigneusement, puis regroupés en paquets de 100 pièces tout en éliminant les individus présentant des mauvaises qualités (pourriture du tronc, maladie, taille très petite, etc.). Concernant le transport, des charrettes à bœufs l'assurent dont chacune transporte 6 paquets/voyage. Ainsi, 21 paquets, correspondant à 3,33 voyages sont déposés sur tous les 100 m de parcours sur le champ de plantation.

3.1.2.4) Plantation :

La plantation se déroule entre la mi-Janvier jusqu'à la fin du mois de Février, c'est-à-dire à l'âge de 4 – 5 mois en pépinière. Elle commence quand une certaine quantité d'engrais proportionnelle au nombre de mains d'œuvres arrive déjà sur le champ (1,5 t/équipes de 15

ouvriers). Ce qui a pour but d'éviter la discontinuité de la plantation causée par le retard du transport d'engrais. Par contre, le transport des jeunes plants à partir de la pépinière ne bloque pas généralement le déroulement du travail puisque ceci s'avère plus facile et plus rapide. Ce transport peut commencer quelques heures même avant la plantation.

Après tous ces travaux de préparation, il y a la plantation proprement dite. Celle-ci consiste à maintenir bien droit le jeune plant au dessus du mélange engrais-terre du trou, et ensuite à reboucher le trou par la deuxième couche de terre de la trouaison jusqu'à la base du tronc (au niveau du collet), sans fléchir les racines. C'est le rebouchage final. A la fin de chaque plantation, un léger piétinage suivi d'un faible soulèvement est nécessaire pour assurer à la fois que le végétal garde sa position droite et que les racines ne sont pas repliées. La densité de plantation vaut 2.000 pieds/ha.

3.1.2.5) Entretiens de la plantation :

- Désherbage : au mois d'Avril, il y a le désherbage total qui élimine les végétaux gênants en utilisant une pelle. La reprise dépend de la repousse des mauvaises herbes.

- Traitement phytosanitaire : même cas que pour la pépinière.

- *Mulching* : d'après l'observation faite sur l'expérimentation à Miadanasoa comportant 100 pieds, de la paille recouvre le pied de la plante pour conserver l'humidité du sol face à la température diurne afin de protéger le végétal contre la sécheresse.

- Taillage : même cas que pour la pépinière, à l'âge de 12 mois. C'est le cas du premier essai localisé à Amboromalandikely afin de favoriser la fructification par multiplication des branches et de garder la hauteur du végétal.

- Arrosage : selon l'expérimentation à Miadanasoa, l'arrosage ne se fait que très rarement, étant donné que la plante plus âgée tolère la sécheresse, sauf si celle-ci est très importante. Ce travail devient difficile pour une grande installation mais il est nécessaire si, pendant ou peu de temps après la transplantation, il n'y a aucune pluie.

3.1.2.6) Moyens :

- Matériels et équipements : « *angady* », pelles, piquets, ficelles, zingues de 1 l, seaux, charrettes, tracteurs, remorques, chisels à 2 dents, pulvérisateurs.

- Mains d'œuvres : le traçage, la trouaison et le traitement des maladies sont effectués uniquement par les hommes ; les autres travaux peuvent être faits par l'ensemble hommes et femmes.

3.2) Détermination des points de blocage :

Si les pratiques culturales sont parfaitement menées comme il se doit, le nombre ainsi que le degré des points de blocage se réduisent. Néanmoins, certains problèmes ont été rencontrés au cours de l'installation, et dont chacun possède ses causes respectives.

3.2.1) Sur le plan technique :

- ⊕ L'hétérogénéité de l'origine des graines explique la différence entre leur temps de germination et influencerait probablement la qualité ainsi que le rendement de la production ;
- ⊖ L'eau boueuse issue des lacs épuisés et pulvérisée lors de l'arrosage provoque un tassement des feuilles, d'où le jeune plant souffre par réduction de la photosynthèse ;
- ⊕ Les jeunes plants cultivés sur le terrain déjà exploité auparavant présentent une croissance beaucoup plus avancée par rapport à ceux semés sur le terrain défriché ;
- ⊖ Etant donné que le terrain de la pépinière présente une pente assez forte (6%), les jeunes plants exposés aux eaux de ruissellement souffrent et, même, certains meurent ;
- ⊕ Le taillage précédant la transplantation a augmenté le stress physiologique des jeunes plants, ce qui limite alors leur repousse ;
- ⊖ Lors du sous-solage, les lignes ne sont pas bien droites et ne suivent pas souvent les courbes de niveaux, en plus, leurs profondeurs et leurs équidistances ne restent pas constantes parce que le conducteur est maladroit et que le tracteur manque d'un traceur ;
- ⊕ Il y a manque de formation pour les ouvriers et les chefs d'équipes sachant que le nombre de personnes analphabètes est très élevé.

3.2.2) Sur le plan logistique :

- ⊕ Comme il y a faute de pompe à graisse pour le tracteur, le rendement du travail reste faible, ce qui retarde la plantation ;
- ⊕ Le retard du transport d'engrais causé par le mauvais état du tracteur, la difficulté de la voie d'accès au terrain de plantation, l'absence de tracteur disponible reculent la plantation, et entraînent ainsi la souffrance des jeunes plants déjà arrachés mais pas encore cultivés ;
- ⊖ L'insuffisance des matériels diminue le rendement de travail des ouvriers.

3.2.3) Sur le plan organisationnel :

- ⊕ Le travail s'intensifie car les engrais et les plants ont été mal répartis au champ ;
- ⊕ La trouaison est en retard et par conséquent, il se produit un rebouchage non souhaité des trous par les alluvions et les boues apportées par les eaux de ruissellement ;

- ⊕ De même, le retard de la plantation augmente le travail en évacuant tout d'abord l'eau retenue dans chaque trou, et même cas pour les alluvions et boues ;
- ⊕ Le nombre de trous dépasse l'objectif ; pourtant, les plants sont insuffisants ;
- ⊕ L'engrais a été lessivé par les eaux de ruissellement durant son stockage exposé sur champ ;
- ⊕ La non-disposition de CIN des paysans crée un problème de distinction entre les majeurs et les mineurs qui ne peuvent pas encore travailler d'après la loi malgache.

3.2.4) Sur le plan financier :

- ⊕ Le retard et l'irrégularité du paiement des salaires diminuent la motivation des ouvriers, donc la qualité du travail ;
- ⊕ L'attente du paiement de la location du tracteur retarde les activités ;
- ⊕ Les chefs d'équipes négligent leur travail (suivi des ouvriers) parce qu'ils sont faiblement motivés par rapport à ce qu'ils méritent ;
- ⊕ Comme la majorité ne dispose pas de CIN, et de plus, certains ouvriers possèdent entièrement le même nom, le calcul et le paiement des salaires sont très difficiles.

3.3) Estimation de rentabilité :

3.3.1) Etude du rendement en graines de la plantation :

Puisqu'il y a généralement deux fructifications dans l'année (Mai et Novembre), selon le cultivar utilisé, la fertilité du sol, le climat et la richesse du sol, la production peut varier de 300 g à 9 kg de graines/pied/an ou bien 0,6 t/ha/an (300 g x 2.000) jusqu'à 18 t/ha/an (9 kg x 2.000) pour une densité de plantation de 2.000 pieds/ha (HENNING K. R. et *al.*, 2005). En moyenne, le rendement atteint, dans les conditions normales de culture (sol pas trop pauvre et bien irrigué) 3 kg de graines/pied/an (ROGE A. et *al.*, 2007) ou bien 6 t de graines/ha/an.

3.3.2) Etude du rendement en huile de l'extraction :

Le rendement optimal pour une bonne conduite de l'extraction et une bonne qualité de graines vaut 33% (20 – 45%) (ÜLLENBERG A., 2007). Ce qui aboutit en moyenne, pour une densité de plantation de 2.000 pieds/ha, à 2.000 l d'huile/ha/an (TEMOIGNAGES, 2006).

3.3.3) Calcul financier :

3.3.3.1) Revenu brut de la production :

D'après le calcul ci-après, 1 t de graines peut engendrer, avec un taux d'extraction de 33%, 1.254.000 Ar (611,71 US\$) équivaut à 7.524.000 Ar/ha (3.670,24 US\$) de revenu brut

si tous les produits sont vendus en prenant un rendement de 6 t de graines/ha. Après extraction, 1 t de graines donne : 650 kg de tourteau, 330 l d'huile et 20 kg de résidus. En prenant les prix de vente suivants : 800 Ar/kg pour le tourteau, 2.200 Ar/l pour l'huile et 400 Ar/kg pour les résidus de la filtration, voici le calcul du revenu :

Tableau 6 : Revenu brut généré par 1 t de graines de *Jatropha*.

Produits	Quantités	Prix unitaires	Montants
Tourteau	650 kg	800 Ar/kg	520.000 Ar
Huile	330 l	2.200 Ar/l	726.000 Ar
Résidus	20 kg	400 Ar/kg	8.000 Ar
Total			1.254.000 Ar

Source : auteur, 2010.

Mais si seulement l'huile est vendue, le revenu brut sera 726.000 Ar/t (354,15 US\$/t) de graines ou bien 4.356.000 Ar/ha (2.124,88 US\$/ha), avec 6 t de graines/ha.

3.3.3.2) Coût de production :

Pour le cas de la Société Fuelstock Madagascar, la détermination du coût de production semble inabordable car la Société se trouve encore sur le point de démarrage. En plus, les conditions, les installations et les méthodes (pratiques) post culturales qu'elle va adopter ne sont pas encore définies, ni mises au point. Alors, pour cette partie, l'estimation se réfère au cas général des divers projets contenu dans le document intitulé « Etude sur l'état actuel du secteur *Jatropha* à Madagascar » (ÜLLENBERG A., 2009).

Il s'agit ici d'une production à l'échelle industrielle soumise à un TVA :

- Pour une extraction par pression : la production vaut 1.762,75 Ar/l d'huile (pour un taux d'extraction de 33%).

Tableau 7 : Coût de production de l'huile de *Jatropha* à l'échelle industrielle (ÜLLENBERG A., 2009 ; auteur, 2010).

Rubriques	Coût (Ar/l)
Plantation (145 Ar/kg)	435,00
Entretiens et récolte (190 Ar/kg)	570,00
Amortissement et entretien de la presse (112,5 Ar/kg)	337,50
Coûts d'investissement (intérêt)	260,00
Management du projet (environ 10% des coûts)	160.25
Coût de production	1.762,75

En ajoutant le TVA de 20% à ce prix inférieur à celui du diesel à Madagascar (2.400 Ar/l), il devient 2.115,3 Ar/l d'huile, donc la production serait encore compétitive.

- Dans le cas d'une extraction par solvant : qui arrive à soutirer presque 100% de l'huile (équivalent à un taux d'extraction réel de 33%), le coût de production final aboutit à 1.650 Ar/l d'huile (y compris le TVA), ce qui paraît plus avantageux que le précédent.

Ce qui fait que la rentabilité dépend du mode de production adopté et des divers coûts postérieurs (transport, vente, etc.) qui s'y ajoutent. La Société Fuelstock Madagascar n'a qu'à choisir entre l'extraction par solvant et l'extraction par pression qui possèdent chacune ses propres avantages et inconvénients.

Remarques :

Dans le cas où les graines produites ne suffisent pas à faire fonctionner continuellement les usines, la collecte de graines auprès des paysans constitue une alternative, en achetant les graines à 250 – 300 Ar/kg. Cette solution aboutit à des prix de revient assez élevés (1.880 Ar/l pour les huiles extraites par la presse manuelle de Bielenberg et 1.470 Ar/l pour les presses mécanisées) par rapport à la récolte faite sur une plantation. Toutefois, il ne faut pas se contenter de la collecte qui ne donne qu'une partie de la matière première nécessaire.

En ajoutant les coûts de la transestérification à environ 500 Ar/l de biodiesel (0,18 €/l), sur la base d'un prix de 265 €/t de méthanol avec 1,47 t d'huile pour 1 t de méthanol, le nouveau coût de production final sera :

- 2.615,3 Ar/l de biodiesel pour l'extraction par pression à l'échelle industrielle,
- et 2.150 Ar/l de biodiesel pour l'extraction par solvant à l'échelle industrielle.

Mais ce procédé de transestérification est encore avantageux car il fournit des produits secondaires (glycérine) dont la commercialisation rentabilise de façon considérable le processus global de fabrication c'est-à-dire l'ensemble de l'installation (ÜLLENBERG A., 2009).

CONCLUSION PARTIELLE II

L'expérimentation menée pendant l'étude a donné des résultats très intéressants dont les interprétations ont abouti à des conclusions utilisables dans l'optimisation de l'implantation. De l'autre côté, toutes les étapes de l'installation demeurent importantes, aucune d'entre elles ne doit pas être négligée. Elles présentent une corrélation, c'est-à-dire que chaque étape affecte ses ultérieures et ainsi que la production finale, tant sur la qualité que sur la quantité.

TROISIEME PARTIE :
DISCUSSIONS ET
RECOMMANDATIONS

INTRODUCTION PARTIELLE III

Les caractéristiques du *Jatropha curcas*, les paramètres du milieu et les résultats de l'expérimentation permettent de synthétiser les pratiques culturelles optimales. En outre, les pratiques en cours ainsi que quelques conditions montrent certains points de blocage au fonctionnement actuel de la Société. Malgré les paramètres convenables, ces problèmes doivent être entrepris avant de continuer les activités. Ce qui explique la raison d'être de cette troisième partie du document.

1) Caractéristiques des pratiques culturelles :

Par définition, un système de cultures est un système de production à long terme dans lequel les fermiers produisent des biens pour assurer leurs besoins et pour élaborer des marchés (Euroconsult, 1989). Le système est intensif s'il y a apport de beaucoup d'intrants et extensif si l'apport est moindre. Aussi, *Jatropha curcas* peut se cultiver en monoculture, en cultures associées ou en agriculture partagée. Il existe 3 modes de multiplication du *Jatropha* :

❖ **Multiplication générative (semis direct) :** ce mode semble le plus facile et le moins coûteux mais comporte plus de risques. Il donne de faible productivité, et du pouvoir germinatif dépend la réussite (BAMEX, 2005). Mais le système racinaire est très développé. La production vient à la deuxième année : il faut 12 mois pour obtenir une plante adulte (Wikipédia, 2010).

❖ **Multiplication végétative (boutures) :** elle paraît facile et peu coûteuse que la méthode des jeunes plants. La plante grandit et donne des fruits plus rapidement mais avec de racines moins développées. Ce qui limite sa fructification et sa résistance. La réussite dépend de la reprise des boutures (BAMEX, 2005). La production commence à la deuxième année : il faut seulement 9 mois pour obtenir une plante adulte (Wikipédia, 2009).

❖ **Utilisation de pépinière :** l'installation est ici coûteuse. La production arrive dès la première année, et la racine se développe bien. En plus, il y a une chance de reprise élevée (BAMEX, 2005).

Pour le cas de la Fuelstock Madagascar, c'est la plantation en monoculture et à partir de jeunes plants (pépinière) qui est appliquée.

1.1) Mise en place de la pépinière :

1.1.1) Préparations de la pépinière :

Il faut choisir un endroit ensoleillé, irrigable et drainable, de fertilité uniforme, à l'abri des vents violents, des maladies et des insectes nuisibles. La préparation doit être soignée : propre, ameublie et bien fumée en acide phosphorique et en potasse ; cependant, un excès d'azote affaiblit les plantules (D1, 2008). Les étapes sont : défrichage, épandage de fumier bovin (15 kg/m²), labour à une profondeur de 15 – 20 cm pour enfouir les mauvaises herbes et l'engrais, construction des plates bandes, émiettement, pulvérisage, affinage du sol, malaxage, planage pour répartir les engrais et l'eau, et arrosage.

Un labour trop superficiel provoque un mauvais enracinement. Entre les plates bandes, il doit y avoir des petites espaces permettant les entretiens et la circulation des eaux. Il vaut mieux bloquer le périmètre afin de prévenir les pertes en éléments. La plate bande doit être convexe (sillonnée) de 1,2 m de large, de longueur souhaitée, et avec une hauteur d'environ 20 – 30 cm pour faciliter l'arrachage lors de la transplantation.

Superficie nécessaire : 1/250 de la surface à cultiver

1.1.1.1) Sélection des semences :

Il faudrait que les graines soient uniformes et à teneur élevée en huile, qu'elles ont été stockées sous ventilation et sans humidité, qu'elles proviennent de la dernière campagne d'une bonne plantation car le taux de germination chute après une conservation de 1 an. Aussi, il faut faire une sélection manuelle des semences : trier de façon à avoir une seule variété, éliminer les graines endommagées ou cassées, celles vides, malades et mal formées (par trempage). La sélection par test de germination consiste à placer les graines dans un substrat de culture (terreau) de 1 cm d'épaisseur à 30°C pendant 10 j.

Un petit test de pression et d'incision peut servir à la sélection. Pour l'apparence, les graines « noires brillantes » signifient une récolte précoce (faible teneur en huile et germe non formé). Cependant, certaines graines de bonne qualité présentent des téguments blancs ou un peu "sales" (D1, 2008). Sachant que 1 kg de semences contient 1.000 – 1.200 graines, il en faut au moins 2,5 kg pour couvrir 1 ha à 2.000 pieds en tenant compte du taux de germination (Témoignages, 2006).

1.1.1.2) Désinfection :

L'immersion des graines (brassage) dans une solution organomercurique (fongicides, insecticides ou association fongicide-insecticide) sert à détruire les spores des champignons.

1.1.1.3) Prégermination des graines :

Elle est nécessaire surtout quand l'ensemencement s'effectue en saison fraîche (Juillet – Août) ou si les graines ont été stockées depuis un certain temps (D1, 2008).

Méthode : remplir de semences au 3/4 un sac de jute, tremper dans de l'eau froide pendant 24 h, retirer de l'eau et placer dans un endroit chaud et sans courant d'air. Entre 20 – 35°C, la germination commence après 24 h ; à moins de 20°C, elle ne commence que 36 – 48 h après le trempage. Après 1 – 2 j, les graines germées normalement seront semées.

1.1.1.4) Semis des graines :

Le semis doit avoir lieu 3 – 4 mois avant la transplantation, et à partir du mois d'Août pour que les plantes bénéficient de la pluie. Il faut semer en même temps les graines et ne pas utiliser celles présentant de radicules qui risquent de se casser et de constituer ainsi une entrée aux maladies. Le semis se fera en lignes parallèles à la longueur des plates bandes, à 2 cm de profondeur et espacé de 10 cm x 15 cm (5,70 – 6,83 kg/are), un semis trop dense donne des plantules plus faibles. Ensuite, un arrosage doit être effectué immédiatement (D1, 2008).



Figure 13 : Pépinière en plates bandes (Cliché : D1, 2008).

1.1.2) Entretiens des jeunes plants :

- Arrosage et conduite d'eau (D1, 2008) : en cas d'absence ou d'insuffisance de pluies, il faut arroser la pépinière, avant le lever du soleil et/ou après son coucher, avec une quantité de 4 l/m², un excès d'eau étouffe les racines. La fréquence dépend du stade de développement de la pépinière (1^{er} mois : tous les jours, 2^{ème} mois : tous les 2 jours, 3^{ème} mois : 2 fois par semaine, 4^{ème} mois : 1 fois par semaine, si nécessaire). Un paillage réduit l'évapotranspiration du sol, et l'épaisseur doit être inférieure à 1,5 cm pour ne pas gêner la montée de la germination et pour éviter que des insectes s'y abritent.



Figure 14 : Présence de grillons sous le paillage (Cliché : D1, 2008).

- **Désherbage** : c'est enlever manuellement les herbes. La fréquence dépend de leur repousse.
- **Lutte contre les animaux ravageurs** : un traitement par insecticide doit être systémique surtout quand il y a attaque des insectes (D1, 2008). La lutte contre les rats consiste à nettoyer le périmètre ou à mettre des appâts empoisonnés. Pour les oiseaux, la lutte nécessite des gardes ou des filets de protection.
- **Traitement des maladies** : plusieurs produits peuvent être pulvérisés suivant les maladies ; et ceci, en l'absence de pluie, sous forme diluée tout en respectant la dose respective indiquée.
- **Apport d'urée** : cet apport se fait sous forme diluée, en couverture, pendant un temps sec et à une dose de 3 kg/are. Sur sol inondé, l'azote change de forme et se volatilise au contact de l'air.
- **Pinching** : pour avoir de multiples branches, le *pinching* consiste à enlever le bourgeon principal (4 – 5 cm de l'extrémité supérieur) quand les végétaux possèdent plus de 6 feuilles et des bourgeons axillaires bien visibles (D1, 2008).

1.2) Choix et préparations du terrain :

1.2.1) Défrichage :

Le défrichage se fait à l'aide d'outils manuel ou mécanique (bulldozer, tracteur) selon la surface, l'accès et la végétation, il doit être réalisé en saison sèche mais n'est pas toujours nécessaire. La politique de zéro brûlis est recommandée car elle améliore la teneur en matière organique du sol, évite la pollution de l'air et réduit l'émission de GES ou de CO₂. Le défrichage doit garder la zone de plantation suffisamment nettoyée car les débris végétaux déposés sur place risquent de favoriser un feu de brousse (D1, 2008).

1.2.2) Labour ou traçage :

Il s'agit ici d'un sous-solage d'au moins 30 cm de profondeur sur des lignes équidistantes de 2,5 m à l'aide d'un tracteur muni d'un chisel à 2 dents. Ceci doit se dérouler

avant la pluie (Novembre). Il faut labourer suivant les courbes de niveau ; et pour les parties difficiles, il suffit de désherber le pourtour du trou et d'appliquer ensuite un labour minimal (D1, 2008).



Figure 15 : Un terrain entièrement préparé (Cliché : D1, 2008).

1.2.3) Piquetage et trouaison :

Comme il s'agit d'une monoculture, il suffit d'écarter de 2 m les centres des trous (représentés par des piquets) d'une même ligne, d'où la densité de 2.000 pieds/ha. Cependant, une densité trop élevée rend difficile la récolte et les entretiens (HENNING K. R. et *al.*, 2005). Entre les lignes, les piquets doivent être alignés à l'aide d'une ficelle ou, le plus préférable, en quinconce (lutte contre le vent et l'érosion). Les trous doivent être assez larges (30 cm) et profonds de 30 cm (2 fois la longueur des racines des plants de la pépinière) (BAMEX, 2005). La trouaison se fera avec un angady et/ou une pelle.

1.3) Mise en place de la plantation :

1.3.1) Arrachage des jeunes plants :

Lorsque les jeunes plants ont une hauteur de plus de 30 cm, un diamètre de 2 cm et de multiples branches (D1, 2008), cette étape se fera délicatement, sans casser les racines ou les tiges, quelque jour avant la plantation afin de réduire les pertes. Ceci permet d'éliminer les plants fragiles. Les végétaux seraient protégés contre le vent et le soleil durant le transport et le dépôt. Une immersion dans une solution de fumier (fumier bovin dilué dans de l'eau) suivi d'un arrosage favorise leur repousse.

1.3.2) Système de paillage du trou :

Avant tout, il faut chasser du trou, s'il y en a, l'eau et les alluvions causées par la pluie. Ensuite, comme le sol a une texture très sableuse (très perméable), et d'après le résultat de l'expérimentation, le système de paillage doit être appliqué : déposer une couche de paille de 3 cm au fond du trou pour retenir l'eau et les éléments fertilisants apportés.

1.3.3) Fertilisation :

D'après l'expérimentation, la plante gagne suffisamment de nourriture en appliquant une quantité de 2 kg de matière sèche par trou (4 zingues de fumier bovin humide/trou), et il ne faut pas dépasser la capacité du sol (selon l'analyse pédologique, la capacité du sol pour un supplément d'Azote est de 14 kg/ha) sinon l'excédent sera perdu.

1.3.4) Repiquage ou transplantation des jeunes plants :

Il faut repiquer entre Décembre – Janvier. Ceci demande aussi un maximum de soins pour réussir : ne pas repiquer ni en position inclinée, ni trop profondément sinon le cycle végétatif s'allonge (retard de croissance), ni trop superficiellement pour assurer la stabilité du pied. Après avoir mélangé l'engrais avec de la terre, introduire la plante sans plier ses racines, puis reboucher le trou jusqu'au niveau du collet de la tige. A la fin, il faut piétiner légèrement la terre puis soutirer faiblement le végétal et arroser avec 1 l d'eau (cas d'absence de pluie) pour diminuer la température du sol afin d'augmenter le niveau d'élongation des racines (D 1, 2008).

1.4) Entretiens de la plantation :

1.4.1) Mulching :

Il s'agit de déposer, pendant la saison sèche, une couche de 2 cm de débris végétaux à la base des pieds de *Jatropha* afin de diminuer l'évapotranspiration du sol (BAMEX, 2005). Le système de *mulching* accumule la chaleur dans la journée (d'où protection contre la gelée matinale).

1.4.2) Taillage :

Il faut multiplier les branches afin d'accroître la production mais ceci nécessite des plantes bien développées (hauteur et diamètre suffisants). Le taillage se fait, à l'aide d'un sécateur ou d'un couteau, à la fin de la saison sèche. Un arrosage devrait suivre immédiatement l'opération. Ainsi, les bourgeons inférieurs vont se développer en branches. Ce qui entraîne un changement de l'architecture (D1, 2008). Il s'agit de :

- soit un étêtage au niveau de 30 – 40 cm de l'extrémité supérieure, sur 2 – 3 cm de diamètre, qui donne 30 – 60 branches après 3 ans.
- soit un *pinching* qui enlève le bourgeon terminal et la partie apicale de la tige principale (à 2 – 5 cm de l'apex).

○ soit un *pruning* qui coupe la 2/3 portion supérieure des branches latérales quand les plantes possèdent au moins 2 branches latérales de 60 cm de long. Le premier *pruning*, en première année, s'effectue à 25 – 30 cm du sol. Le second *pruning*, en deuxième année, est à 60 – 70 cm du sol, et le troisième *pruning* à 100 – 110 cm. Puis le *pruning* d'entretien permet de garder la hauteur voulue et d'enlever les parties endommagées ou malades. Quand les plantes entrent en floraison, il vaut mieux reporter le *pruning* vers la fin de la récolte.

1.4.3) Irrigation et gestion de l'eau :

Des études (Inde, etc.), malgré que cette plante semble moins exigeante en eau, montrent que l'irrigation améliore le rendement de la culture. En été, si la pluie est régulière, l'arrosage n'est plus nécessaire. Vers la fin de cette saison, l'arrosage se reprend jusqu'à la chute des feuilles, sans pourrir la plante : 1 l/pied tous les 15 j (D1, 2008), la fréquence diminue à chaque stade végétatif. L'irrigation peut se faire en dressant des circuits d'eau qui auront comme source les rivières, en utilisant des motopompes.

1.4.4) Gestion de la fertilité :

Dans le *Jatropha*, les éléments primaires N, P, K ont pour teneurs de 2 – 30 g/kg de matière sèche. Ainsi, la fertilisation compense et enrichit les éléments du sol. Selon les tableaux ci-dessous, sans tenir compte des éléments déjà présents dans le sol, la fertilisation doit apporter 409 kg/ha/an de N, 11 kg/ha/an de P et 295 kg/ha/an de K. Il faut éviter l'apport quand une pluie menace ou quand les feuilles sont humides car l'engrais sera perdu ou il brûlera les feuilles. L'engrais peut être du NPK direct, du tourteau de *Jatropha*, du compost, ou du fumier bovin tout en tenant compte de leur composition en éléments fertilisants. En particulier, l'apport d'azote en couverture avant la floraison favorisera la fructification, ceci est nécessaire car les engrais biologiques n'arrivent pas à satisfaire le besoin (409 kg/ha).

Tableau 8 : Composition en éléments fertilisants du tourteau de *Jatropha curcas* (D1, 2008).

	N (%)	P (%)	K (%)
Bois	3,34	0,09	2,87
Fruit	2,15	0,05	0,73

Tableau 9 : Exportation d'éléments vers *Jatropha* (D1, 2008).

	Matière	Exportation d'éléments vers <i>Jatropha</i>		
	kg/ha	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Taillage	9.000	301	8	258

Récolte des fruits	5.000	108	3	37
Exportation totale d'éléments	14.000	409	11	295

1.4.5) Contrôle des maladies et insectes :

Le *Jatropha*, malgré la toxine de ses feuilles et fruits, est touché par des insectes hôte de virus : *Sphaceloma manihoticola*, virus de la mosaïque du concombre et du manioc. Les parasites sont : des araignées rouges présentant des toiles fines au revers et à l'aisselle des feuilles, des mouches blanches. Et deux principales maladies sont identifiées à Madagascar : multiplication de bourgeons et croissance lente ou mort de la plante, pourriture du tronc ou des racines. La pourriture s'installe aussi à la base du tronc en cas d'excès d'eau (D1, 2008).

Le traitement par un produit (selon le contrôle : maladie/insecte) doit se faire rapidement pour limiter les dégâts, en respectant les conditions d'utilisation, et en considérant la sécurité de l'opérateur et de l'environnement. Comme les insectes assurent la pollinisation du *Jatropha*, il vaut mieux traiter avant la floraison.

1.4.6) Contrôle des mauvaises herbes :

Les mauvaises herbes concourent avec *Jatropha* sur la lumière, les éléments nutritifs et l'eau, et favorisent l'attaque des maladies, des insectes, et des animaux ravageurs (rats). Ainsi, le contrôle nécessite un sarclage, 1 mois après la plantation, avant qu'elles ne dépassent la taille des plantes, soit mécaniquement à l'aide d'une houe rotative, soit manuellement (à l'aide d'une pelle et d'une faucille) ; ou un herbicide (Deshormone avec une dose de 720 g/l d'eau et 1 – 2 l/ha ; Garlon 4 E avec 1 l/ha). Le désherbage peut être total ou partiel (sur un rayon de 50 – 60 cm autour du pied). Ensuite, la mise en pâture des chèvres sur une jeune plantation ou du bétail sur une plantation ancienne réduit les mauvaises herbes. Enfin, les associations de cultures permettent de lutter contre les mauvaises herbes (D1, 2008).

1.5) Récolte :

1.5.1) Récolte :

Le *Jatropha curcas* atteint sa pleine productivité en 3 ou 4 ans. Le climat et la fertilité du sol influent la période de récolte : 70 – 90 j après inflorescence. Cependant, elle doit être repérée uniquement par la couleur des fruits (D1, 2008) : l'étape brune correspond à la teneur en huile la plus élevée, ce qui correspond à la maturité physiologique des graines (sec : 15%

d'humidité). Il faut surtout éviter le stade vert où les fruits se rétractent au séchage. Une récolte répartie en 3 – 4 fois convient si les maturations des fruits se décalent.



Figure 16 : Fruits verts, jaunes et bruns (Cliché : D1, 2008).

1.5.2) Activités post-récolte :

- Séchage : les fruits sont séchés au soleil en 3 – 4 j pour avoir une humidité de moins de 13% (D1, 2008).
- Décorticage : une décortiqueuse casse les capsules en vue d'extraire les graines sans les détériorer sinon l'amande s'activerait, d'où attaque de moisissure et élévation de la teneur en AGL.
- Triage : le triage élimine les matières indésirables (les feuilles, les capsules, etc.), les mauvaises graines (écrasées, pourries, souillées), et sélectionne les meilleures semences.
- Séchage : ce séchage sert à atteindre 5 – 8% d'humidité pour éviter le développement des moisissures (D1, 2008) sans influencer la teneur en huile. Il se fait à l'ombre, sous une température inférieure à 35°C, pendant 4 à 7 j, sans salir les graines par contact avec le sol. Un séchage au soleil sur une feuille noire ou dans une poêle à frire (10 mn) convient aussi (HENNING K. R. et *al.*, 2005).
- Stockage : les graines séchées se conservent en longue durée dans un endroit (silo, fut plastique, etc.) bien aéré, propre, sec pour prévenir la réhumidification, en évitant le contact du sac avec le sol (BAMEX, 2005). La salle aurait au plus 60% d'humidité et une température fraîche (2 à 8°C). Il faut être prudent car le réchauffement du local pourrait provoquer une explosion par production de gaz (Wikipédia, 2010).



Figure 17 : Stockage en sacs en jute (Cliché : D1, 2008).

1.6) Transformation :

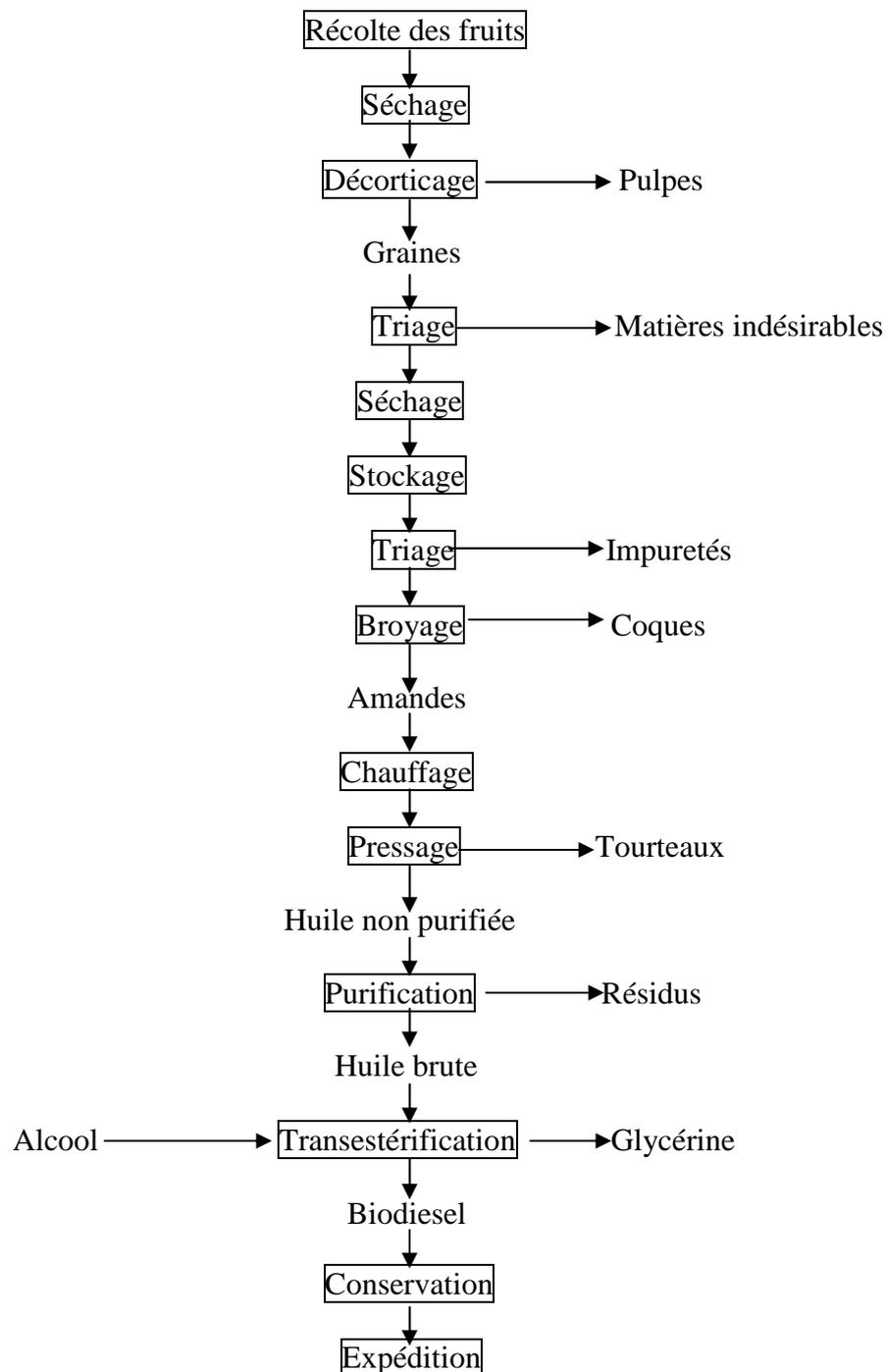


Figure 18 : Diagramme de fabrication de biodiesel à partir des graines de *Jatropha curcas* (auteur, 2010).

1.6.1) Extraction :

L'extraction peut s'effectuer par pression mécanique (à froid ou à chaud), par un solvant organique (coût élevé), ou par la méthode traditionnelle (trop cher pour l'huile de *Jatropha*). Il reste donc les extracteurs mécaniques (presse de Sundhara) et les presses

manuelles (presse de Bielenberg). Seule la presse mécanique convient pour une grande production (ÜLLENBERG A., 2007).

- **Triage** : cette opération permet d'enlever toutes les impuretés accompagnant les graines.
- **Broyage** : ceci brise les graines pour faciliter le soutirage. Une proportion de coques s'avère nécessaire pour obtenir une bonne consistance du tourteau afin de soutirer l'huile.
- **Chauffage** : pour pouvoir récupérer au maximum l'huile de la graine, il faut passer par une étape de chauffage. Mais la caléfaction pourrait parfois donner une huile inappropriée au biodiesel (ÜLLENBERG A., 2007). Donc, la température favorable doit être étudiée en particulier.
- **Pressage** : cette opération extrait l'huile de la graine par une action physique de la presse.
- **Purification** (HENNING K. R. et al., 2005) : il en existe quatre méthodes. La sédimentation (facile) réduit le sédiment à 20 – 25% du volume en une semaine. Ensuite, la méthode de cuisson consiste à bouillir l'huile avec de l'eau (20%) jusqu'à ce que cette eau se soit totalement évaporée, et en quelques heures seulement, l'huile se purifie. Pour une filtration, la purification est très lente et moins avantageuse. Enfin, une *winterisation* à 0°C élimine 5% de la masse cristalline. Le recyclage du gâteau de filtration permet d'améliorer le rendement global.

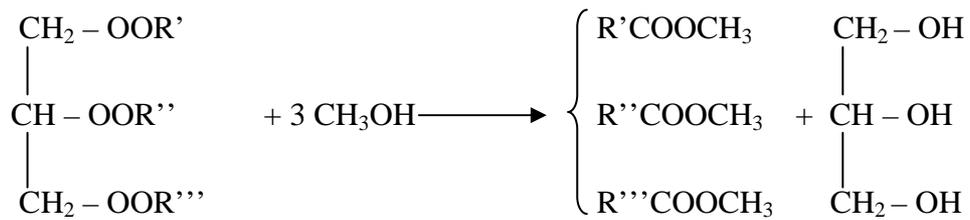
1.6.2) Transestérification en biodiesel :

Il existe deux grandes voies d'utilisation de l'huile végétale pour biodiesel :

- De façon directe, pure ou en mélange, dans un moteur adapté (moteur Elsbett).
- Adaptation de l'agrocarburant : démulcination (élimination de phosphatides, protéines, gommés et glycolipides), retraitage des AGL, des phospholipides, des sous-produits d'oxydation et des résiduels métalliques (D1, 2008), ensuite, transestérification avec de l'alcool : ajout de 10% de méthanol, addition de substances réagissantes et réchauffement à 60°C. Ce qui dissocie les liaisons d'éther des triglycérides et relie les AGL avec le méthanol (ÜLLENBERG A., 2007).

Après cela, le biodiesel produit des EMHV ou FAME, appelé biodiesel, et des EEHV, sans soufre, non toxiques, hautement biodégradables et ne nécessitant aucune modification des moteurs diesels, ainsi que de la glycérine.

Huile (Triglycérides) + Méthanol \longrightarrow Esters (Biodiesel) + Glycérols



Catalyseur de la réaction : Méthoxyde de Sodium CH_3ONa

Figure 19 : Réaction chimique de la transestérification (D1, 2008 ; auteur, 2010).

1.6.3) Conservation :

Il faut prévoir l'attaque des microorganismes car le biodiesel est biodégradable (ÜLLENBERG A., 2007). Dans des réservoirs ou tanks de stockage, l'HVB et le biodiesel se conservent en plusieurs mois à l'abri de la lumière, de l'humidité, de la température ($2 - 8^\circ\text{C}$) et surtout du feu (risque d'explosion) (Wikipédia, 2010).

2) Points de blocage :

Tous les points de blocage vus précédemment ont chacun leurs effets indésirables sur la mise en marche de cette implantation, que ce soit peu ou très graves. Ainsi, cette partie propose la résolution de ces points.

2.1) Sur le plan technique :

- ⊕ Pour l'hétérogénéité des graines, l'étape de sélection en constitue un remède ;
- ⊕ L'aménagement de puits, l'agrandissement des lacs (en surface et en profondeur) et la recherche d'eau à partir des rivières permettent de lutter contre l'épuisement des lacs ; en outre, un système de filtration admet l'utilisation des eaux boueuses ;
- ⊕ Comme il est dit auparavant, le champ de pépinière doit être uniforme pour obtenir des jeunes plants de même développement ;
- ⊕ Il faut protéger la pépinière contre les eaux de ruissellement en respectant la hauteur des plates bandes et en adoptant en amont un canal d'évacuation de ces eaux vers la périphérie du terrain ;
- ⊕ La date du taillage ne doit pas être très proche de la transplantation, de plus, il n'est plus nécessaire s'il y avait débourgeonnement car ces deux pratiques ont le même résultat ;
- ⊕ Afin de réussir le traçage, il est nécessaire de disposer d'un puissant tracteur muni d'un traceur et conduit par un pilote expérimenté ;

⊕ Une formation complète des ouvriers et des chefs d'équipes doit précéder les activités de plantation.

2.2) Sur le plan logistique :

⊕ Il est préférable d'avoir les équipements primaires pour un tracteur (pompe à graisse, clés, etc.) ;

⊕ Il vaut mieux avancer au plus tôt possible les travaux des tracteurs pour prévoir tout incident (mauvais état du tracteur, difficulté de la voie d'accès, absence de tracteur disponible) non résolvable en peu de temps ;

⊕ L'ajout de matériel améliore le rendement de travail des ouvriers : 2 ficelles de 30 m, 4 piquets et 15 *angady*, lors de la trouaison ; 5 *angady*, 2 pelles, 5 seaux et 10 zingues, lors de la plantation, ceux-ci pour une équipe de 15 individus.

2.3) Sur le plan organisationnel :

⊕ Le suivi de la répartition des engrais et des jeunes plants sur le champ facilite la plantation, d'où accélération de la vitesse du travail ;

⊕ La trouaison doit se faire avant la pluie (Novembre – Décembre) pour éviter le rebouchage des trous (par les alluvions/boues et les eaux de pluie) qui augmente le travail ;

⊕ Il faut rapporter le nombre de jeunes plants disponibles au nombre de trous à créer ;

⊕ Lors du stockage du fumier, une toiture et une bordure s'avèrent indispensables pour le protéger contre la lumière et l'effet de lessivage des eaux de ruissellement ;

⊕ Seule l'incitation des gens à disposer de CIN permettrait la distinction entre les majeurs et les mineurs, le port de copie de naissance peut être aussi envisagé.

2.4) Sur le plan financier :

⊕ Le retard et l'irrégularité du paiement des salaires doivent être évités pour garder la motivation des ouvriers qui influe la qualité de leur travail ; même cas pour le paiement de la location du tracteur afin de respecter le calendrier des activités ;

⊕ La motivation des chefs d'équipes sur leur condition salariale serait un atout dans le suivi des ouvriers aboutissant ainsi à une bonne qualité du travail et donc à une chance de réussite élevée ;

⊕ Pour le règlement des salaires, le remplissage de la fiche de présence ainsi que d'autres utilités, l'adoption des numéros d'immatriculation sur une petite carte ou badge constitue une solution à la non disposition de CIN et aux noms entièrement identiques.

3) Recommandations :

Comme la Société Fuelstock Madagascar prévoit l'extension de sa plantation jusqu'à 30.000 ha afin d'atteindre une production annuelle de 50.000 t d'huile de *Jatropha*, il faut mettre au point les facteurs qui peuvent constituer une limite pour l'implantation.

3.1) Achats des équipements et des mobiliers primaires :

Du point de vue économique, la location des équipements agricoles tels que tracteurs, attelages (sous-soleuses, remorques) n'est plus rentable pour une grande installation. De plus, elle risque de retarder le travail si les mobiliers ne sont pas disponibles : la période de plantation coïncide avec la culture des paysans (travail rizicole). Il faut se rappeler qu'un retard de travail correspond à des pertes énormes sur le taux de réussite ainsi que sur la salarisation des mains d'œuvres. Comme la zone de plantation se trouve dans un lieu isolé, l'acquisition de certains équipements primaires (clés, pompes à graisse, marteaux, tourne-vis, pinces métalliques, etc.), l'installation d'un garage d'entretien ou d'un poste de vulcanisation s'avèrent importantes.

3.2) Améliorations de la condition des travailleurs :

D'après des entretiens menés avec les mains d'œuvres, certains problèmes empêchent leurs camarades à venir participer au travail. D'abord, il faut leur aménager un habitat car la plupart des gens ne peuvent pas rentrer chez eux tous les soirs (sauf pour les gens des villages voisins), or ils ne peuvent pas louer des maisons. Ensuite, il faut construire une cantine pour les travailleurs car ils se sentent très fatigués ; en outre, ils ne disposent pas de moyens financiers nécessaires pour leur séjour. Enfin, la Société doit s'occuper de leur transport journalier vers le terrain en adoptant des points de ramassage, et du déplacement des gens provenant des autres régions. Ainsi, vu le nombre de personnel qui va intervenir, une agence de sécurité sera nécessaire.

3.3) Compostage : (voir annexe 12).

Concernant la fertilisation, il est bien évident que la région n'arrivera pas à satisfaire la quantité de fumier organique nécessaire pour une telle installation, étant donné que 50 ha de culture a consommé environ 150 t de fumier. Donc, la Société n'a qu'à choisir entre utilisations d'intrants chimiques ou de compost. La première solution paraît difficile car les intrants chimiques montrent un coût élevé, il reste donc à recourir au compostage.

Par définition, le compostage est un procédé de transformation biologique (fermentation) des matières organiques biodégradables et fermentescibles par des microorganismes, sous conditions contrôlées (présence d'eau et d'oxygène), en un amendement organique stable, hygiénique et riche en humus (GNU-GFDL, 2009).

3.3.1) Avantage du compost :

L'humus disparaît chaque année à hauteur de 2 à 3%, en se minéralisant pour apporter les éléments indispensables au développement des plantes. L'incorporation du compost à la terre compense alors cette perte. Un compost fournit 10% de son poids en humus et sa pratique est très économique. Le compost augmente la biodiversité de la pédofaune, favorise la vie du sol, améliore sa fertilité et sa teneur en humus (réintégration des matières organiques sous des formes humiques), son agrégation, sa biodisponibilité en éléments nutritifs (azote), sa porosité et sa structure physique (résistance à l'érosion, bonne conservation de l'humidité pendant les périodes de sécheresse : bonne CRE ou PRE). Il permet de réduire la pollution grandissante des sols et des nappes phréatiques par les fertilisants chimiques, de diminuer ou d'éviter la consommation des engrais de synthèse (GNU-GFDL, 2009).

3.3.2) Engrais vert :

Le système d'engrais vert, CIPAN ou Culture Intermédiaire Piège A Nitrates, est parfois considéré comme similaire au compostage ; pourtant, il y a une différence très nette malgré que ces deux pratiques aient les mêmes buts. Son avantage particulier c'est qu'il permet d'empêcher le développement des mauvaises herbes en assurant un couvert sur la partie nue du champ. Mais comme inconvénients, les graminées pourraient devenir rapidement des mauvaises herbes gênantes. De plus, l'implantation du couvert végétal peut aussi provoquer la prolifération des gastéropodes (GNU-GFDL, 2009).

Le système consiste à faire consommer, par une culture temporaire à croissance rapide, les excédents d'éléments minéraux disponibles (nitrates) dans les sols, susceptibles d'être lessivés, et à les rendre ensuite disponibles pour la culture principale après broyage et enfouissement de ces végétaux. Les plantes utilisées devraient avoir un développement rapide, être de culture facile et économique, moins sensibles aux maladies et parasites, de faibles exigences en éléments nutritifs et en eau. Il existe plus de quarante engrais verts et dont des mélanges (exemple : 50% de trèfle incarnat, 20% de vesce, 20% de fenugrec, 10% d'avoine) peuvent s'effectuer : espèces fourragères comme Brassicacées (colza fourrager, moutarde blanche, radis, etc.), Fabacées (pois, fèverole, vesce, luzerne, etc.), Poacées (ray-grass, seigle,

etc), crucifères, légumineuses, et autres familles (phacélie, consoude, ortie, tournesol) (GNU-GFDL, 2009).

3.4) Appel de mains d'œuvres dans les autres régions :

Bien que les activités se passent au moment où les paysans préparent leur riziculture, le nombre de mains d'œuvres disponibles se réduit. Or, il est souhaitable que la plantation se déroule pendant un intervalle de temps le plus réduit possible pour avoir un développement identique des végétaux. Sachant que 50 ha a utilisé jusqu'à 250 personnes/j, il faut donc faire appel aux habitants des autres régions telles que Mahajanga, Ambondromamy, Marovoay, etc. Il semble que les gens de la Haute Terre donnent un rendement de travail beaucoup plus élevé, leur appel serait donc intéressant. Mais cet appel demande une certaine préparation : transport, hébergement, nourriture.

4) Impacts de l'installation :

4.1) Impacts positifs :

L'installation de ce système *Jatropha* stimule 2 principaux points sur le développement économique de la zone d'implantation et du pays entier :

- ✚ promotion durable de travail pour les paysans : réduction de la pauvreté,
- ✚ production d'énergie renouvelable (biodiesel) : approvisionnement du carburant au marché (économie d'énergie fossile) et maintien de son prix.

Mais le programme apporte aussi plusieurs avantages du côté pratique et social pour le village Miadanasoa, pour le Fokontany Besaonjo, ou même pour la Commune Ankazomborona entière :

- il permet aux paysans de bénéficier des connaissances sur le système *Jatropha*, ainsi que sur l'agriculture générale (conduite de culture : pépinière, irrigation, contrôle des maladies et insectes, fertilisation, etc.),
- l'alphabétisation, les formations sur la santé, sur la reproduction, et sur la conservation de l'environnement développeront le savoir, la vue et les pratiques des paysans,
- les autres programmes sociaux (électrification, construction d'école et de bornes fontaines, amélioration des routes) constituent évidemment un énorme progrès pour ce milieu.

Le bilan positif environnemental de la production (biocarburant) comprend : la réduction des GES (polluants) grâce au remplacement d'une partie de l'énergie fossile par ce produit (biodiesel), le reboisement du milieu qui comporte de nombreux bénéfices tels que protection du sol et amélioration de sa qualité grâce à un enrichissement en matière organique, soutien de l'environnement (air) et du climat (pluie). De plus, la coque et la capsule séchées issues des fruits de la plante, les débris végétaux obtenus à partir du taillage peuvent jouer le rôle de combustibles, ce qui diminuerait la déforestation dans ce milieu.

4.2) Impacts négatifs :

Sur le plan économique, cette installation pourrait diminuer la production régionale en d'autres filières agricoles, si les paysans s'intéressent à ce travail salarié, et cela provoquerait ainsi une hausse de prix des produits alimentaires (pénurie) et du salaire journalier.

Pour les impacts négatifs environnementaux, la plantation sur de grandes surfaces peut provoquer une plus grande infestation des cultures environnantes par les maladies, les parasites, les insectes et les organismes nuisibles. De plus, il y a risque de troubles de la faune et flore par l'utilisation des produits de traitement (fongicides, insecticides ou herbicides). L'engrais de fertilisation ainsi que les produits chimiques précédents peuvent entraîner aussi l'insalubrité des eaux (puits, rivières, lacs). Enfin, il y a souvent des conflits fonciers entre l'investisseur et les paysans qui utilisent les terres couvertes de savane comme pâturages pour leurs zébus.

CONCLUSION PARTIELLE III

Un certain nombre de points des pratiques culturelles actuelles a été modifié dans l'élaboration des pratiques optimales. L'adoption de ces nouvelles pratiques culturelles proposées ci-dessus semble donc intéressante pour cette exploitation. Comme les problèmes défavorisent considérablement les activités de l'implantation et diminuent ainsi la production de cette installation, leur élimination s'avère avantageuse. En d'autre terme, l'occupation des points de blocages et des recommandations précédentes participent de façon directe ou indirecte à l'amélioration de la situation actuelle qui influera l'avenir de cette unité.

CONCLUSION

GENERALE

Les pratiques culturales présentent une très grande relativité d'un endroit à un autre, et d'une culture à une autre. En d'autre terme, les pratiques culturales correspondent à la résultante entre les caractéristiques du matériel végétal et le profil de la zone d'implantation. A propos du système *Jatropha curcas*, les itinéraires techniques qui paraissent assez souvent comme moins complexes doivent être améliorées pour pouvoir conduire une grande installation afin d'obtenir le maximum possible de profit. Ce qui a été l'objectif global de cette étude.

Concernant le cas de la Société Fuelstock Madagascar installée à proximité du village Miadanasoa, *Fokontany* Besaonjo, quelques points devraient être vérifiés sur ses pratiques culturales ainsi que sur ses conduites de travail. Parmi ces points, l'expérimentation menée durant l'étude a considéré deux principaux paramètres : présence de paille de fond, quantité de fumier nécessaire pour chaque trou. Ce qui a permis de déduire, d'après les résultats obtenus, que la présence de 3 cm d'épaisseur de paille au fond des trous présente un avantage et que la dose optimale de fertilisation lors de la plantation vaut 2 kg de matières sèches de fumier bovin/trou (4 zingues de fumier bovin humide/trou).

Si la Société arrive à maîtriser la technique appropriée, elle atteindra certainement son objectif global : produire une quantité annuelle de 50.000 t d'huile de *Jatropha* à partir de 30.000 ha de plantation. La réussite de cette Société qui dépendra surtout donc de l'optimisation de son implantation serait un avantage, non seulement pour l'unité elle-même, mais aussi pour le milieu d'intervention ainsi que pour le pays entier. Mais le problème est parfois la non application des fruits de recherche, ce qui explique la nécessité de la présence des techniciens sur le site d'implantation.

Enfin, tous les investisseurs nationaux, promoteurs de la filière *Jatropha*, ont pour but de produire de l'huile végétale ou directement du biodiesel. Si chacun d'eux cherche à améliorer ses techniques, il y aurait essor de la situation économique malgache, sans tenir compte des divers avantages que la mise en marche de ces projets apporte sur les milieux d'implantation. En faite, le prix du carburant constitue le facteur principal dans le fonctionnement et par conséquent dans le développement de tous les secteurs d'activités. Il est souhaitable alors que de telle étude s'effectue avant la réalisation des projets afin d'éviter les pertes considérables qui ont été rencontrées par certaines unités, finissant ensuite par leur disparition.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE :

- ANDRIAMAMPIANINA A. R., (2008), Contribution au développement de la filière *Jatropha* à Madagascar : Etude de faisabilité technico – économique d'une unité d'extraction d'huile dans la Région Alaotra Mangoro, p.6, 11 p.
- ANDRIANARIDIMBY R. A., (2007), Essai d'amélioration de la fraction lipidique de l'huile de *Jatropha curcas* de Madagascar par démulcination, p.4 – 5, 7 p.
- BAMEX, (2005), Bref description de la culture de *Jatropha* - Itinéraire technique - Comparaison entre les 3 méthodes de plantation (Jeunes plants, boutures, semis-directs), p.16 – 18, 21 p.
- BAMEX, (Inconnu), Itinéraires techniques pour la culture de *Jatropha*, culture de *Jatropha*, BAMEX, p.3, 7 p.
- BAMEX, (Inconnu), Modèle presse TinyTech, in INCONNU, <http://www.tinytechindia.com>.
- BECKER K. et FRANCIS G., (2005), Biodiesel from *Jatropha* plantations on degraded land, Multifunctional Plants – Food, Feeds and Industrial Products, Department of Aquaculture Systems and Animal Nutrition, University of Hohenheim, D 70593 Stuttgart, p.3, 9 p.
- D1, (2005), *Jatropha* : l'or vert du désert, culture de *Jatropha*, p.1 – 3, 8, 20 – 21, 21 p.
- D1, (2005), *Jatropha* : l'or vert du désert, culture de *Jatropha*, p.3, 21 p., in HENNING K. R., <http://jatropha.org>.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.5, 12, 13, 18, 19 – 20, 22, 29, 32, 70, 111 p.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.3, 111 p., in APONTE et HERNANDEZ C., (1978), et *Jatropha world*, (2007), Etude de *Jatropha curcas* L., Diplôme de thèse, Université Veracruz, Xalapa-Enriquez, Veracruz, Mexique.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.3, 111 p., in MAKKAR H.P.S, BECKER K., and SCHMOOK B., (2004), Edible Provenances of *Jatropha curcas* from Quintna Roo State of Mexico and Effect of Roasting on Anti-nutrient and Toxic Factors in Seeds, Institute for Animal Production in the Tropics and Sub-tropics (480), University of Hohenheim D-70593, Stuttgart, Germany and ECOSUR, El Colegio de la Frontera Sur Zona Industrial No. 2. CP 77000, Chetumal, Mexico.

- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.3, 111 p., in HELLER J., (1996), Physic nut, *Jatropha curcas*, Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops, International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.3 – 4, 111 p., in HENNING K. R., (2004), The *Jatropha curcas* system, Economy and Dissemination Strategy, Integrated Rural Development by utilization of *Jatropha curcas* L. as raw material and as renewable energy, a presentation of the *Jatropha curcas* system at the International Conference of Renewables 2004, Bonn, Germany, 1 – 4 Juin 2004.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.19 – 20, 22, 111 p, in LELE S., (2008), The cultivation of JC curcas Ratan Jyot, http://www.svlele.com/JC_plant.htm.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.21, 111 p, in PEARSON R. W., RATLIFF L. F., and TAYLOR H. M., (1970), Effect of Soil Temperature, Strength, and pH on Cotton Seedling Root Elongation, *Agron*, J 62 : 243 – 246.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.27 – 28, 111 p., in JONGSCHAAP R. E. E., CORRE W. J., BINDRABAN P. S. and BRANDENBURG W. A., (2007), Claims and facts on *Jatropha curcas* L, Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme, Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.28, 111 p., in MUNCH E., (1986), Die Purgiernub (*Jatropha curcas* L.) Botanik, Okologie, Anbau, Diploma thesis, Univ. Hohenheim, Stuttgart.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.28, 111 p., in NARAYANA D. S. A., SHANKARAPPA K. S., GOVINDAPPA M. R., PRAMEELA H. A., GURURAJ M. R. and RANGASWAMY K. T., (2006), Natural occurrences of *Jatropha curcas* mosaic virus disease in India, *Curr. Sci.* 91 (5) : 584 – 586.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.30, 111 p., in ILAN M. R., (2006), Potentials of *Jatropha curcas* L. as biodiesel, *UMA senso*, Vol 15, N° 3, Official Publication of the Department of Agriculture RFU 5, Philippines.

- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.32, 111 p., in SASIKALA S., (2008), Analyze optimal stage of seed harvest in *Jatropha curcas*, Paper presented at D1 Oils Plant Science Global conference, Coimbatore, India.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.35 – 62, 111 p, in FERNANDES R. S. et ASMUS G. L., (2007), Reação de Pinhao Manso (*Jatropha curcas* L.) a *Meloidogyne javanica* e *Rotylenchulus reniformis*, *Nematologia Brasileira* 31: 96 – 99.
- D1, (2008), Guide Pratique de Plantation de *Jatropha* à Madagascar, p.35 – 62, 111 p, in KUMAR B., YADURAJU N. T., AHUJA K. N. et PRASAD D., (1993), Effect of soil solarization on weeds and nematodes under tropical Indian conditions, *Weed research* 33: 423 – 429.
- Daemon Fairless, (2007), The little shrub that could – maybe, Nature Publishing Group, News feature, vol.449, le 11 Octobre 2007, p.1, 4 p.
- DAVID L., (2008), Sustainable Biodiesel Feedstock, *Jatropha : A Strategic Option*, *Jatropha world*, 15 p.
- HELLER J., (1996), Physic nut, IPK, IPGRI, p.34, 66 p., in PATIL V. and SINGH K., (1991), Oil gloom to oil boom, *Jatropha curcas* a promising agroforestry crop, Shree Offset Press, Nashik.
- HENNING K. R., (2002), Utilisation des savoirs locaux sur le *Jatropha*, Utilisation de l'huile de *Jatropha curcas* comme matière première et carburant, Notes sur les Connaissances Autochtones, p.1, 4 p.
- HENNING K. R. et IBRAHIM D., (2007), La rentabilité économique de l'utilisation de *Jatropha*, Etude partielle 3, VN 81081287, p.12 – 16, 30, 56 p.
- HENNING K. R. et RAMORAFENO T., (2005), Le Manuel *Jatropha* pour Madagascar, Green Island Association, Madagascar, établi pour l'atelier de démonstration du PLAE à Marovoay, 21 Novembre 2005, p.5 – 7, 20 p.
- ITEBE, (2005), Plantation de *Jatropha* dans le sud de MADAGASCAR, Fiches sur *Jatropha*, p.8, 16 p.
- JULIO F. M., (2007), Biofuels – An overview, Final Report, DGIS/DMW/IB on May 2007, p.20, 25, 40 p.
- NAVALONA R., (2009), L'exploitation d'Ankazomborona en bonne voie, Midi Madagascar, Premier quotidien national d'information de Madagascar, n° 7952, le 6 Octobre 2009, p.15, 23 p.

- PATOLIA J. S., CHAUDHARY D. R., JITENDRA C., RAO S. N., DHEERENDRA K., G. N. and ZALA A., (2002), Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake, Discipline of Phytosalinity, Central Salt and Marine Chemicals, Research Institute, G.B. Marg, Bhavnagar 364 002, India, p.2, 6 p.
- PCD, (2006), Plan Communal de Développement de la Commune rurale Ankazomborona, établi en 2006.
- RAKOTONIAINA P. M., (1989), Contribution à l'étude du *Jatropha curcas*, Etudes antérieures – Fraction lipidique – Essai de valorisation, p.1 – 2, 4, 8 p.
- RAKOTONIAINA P. M., (1989), Contribution à l'étude du *Jatropha curcas*, Etudes antérieures – Fraction lipidique – Essai de valorisation, p.1 – 5, 8 p., in DROIT, (1932).
- RAKOTONIAINA P. M., (1989), Contribution à l'étude du *Jatropha curcas*, Etudes antérieures – Fraction lipidique – Essai de valorisation, p.1 – 2, 8 p., in GRIMM, (1932).
- RAKOTONIAINA P. M., (1989), Contribution à l'étude du *Jatropha curcas*, Etudes antérieures – Fraction lipidique – Essai de valorisation, p.1, 3, 8 p., in AMMANN, (1962).
- RANAIVOARISON A. et FREUDENBERGER M. S., (2006), Le *Jatropha curcas*, Aperçu global de la Production, Transformation, et Commercialisation à Madagascar, ERI Fianarantsoa/USAID, p.4, 10, 27, 34, 43, 50 p.
- RAZAFINAKANGA, (2005), *Jatropha* : l'or vert du désert, culture de *Jatropha*, p.8, 21 p.
- RAZAKAMAHEFA A. B., (2009), Projet de création d'une entreprise de production et de commercialisation de savon à base de *Jatropha curcas* dans la Commune rurale d'Antanifotsy Région Vakinankaratra, Mémoire de Maîtrise en Gestion, Université d'Antananarivo, p.150 – 152, 177 p.
- RAZAKAMAHEFA A. B., (2009), Projet de création d'une entreprise de production et de commercialisation de savon à base de *Jatropha curcas* dans la Commune rurale d'Antanifotsy Région Vakinankaratra, Mémoire de Maîtrise en Gestion, Université d'Antananarivo, p.1, 177 p., in MAEP, (2006), Recensement de l'agriculture, campagne, Campagne agricole 2004, 2006.
- ROGE A., RANDRIAMAHAZONILAINA A., ÜLLENBERG A., MAROVELO P. et RAZAFIMANDIMBY S., (2007), Etude et impact socio économique de l'Introduction

du *Jatropha Curcas* à Tolongoïna, Rapport Final, le Décembre 2007, ERI Fianarantsoa, Madagascar, p.40, 57 p.

- ÜLLENBERG A., (2007), Rapport sur l'état actuel du secteur *Jatropha* à Madagascar, GTZ Madagascar, p. 5, 6, 8 – 15, 17 – 18, 20, 25 – 28, 32 p.
- ÜLLENBERG A., (2009), Etude sur l'état actuel du secteur *Jatropha*, *Jatropha* à Madagascar, version finale, Programme Germano-Malgache pour l'Environnement, Coopération Technique / GTZ, p.2, 10 – 19, 24, 26 – 28, 33, 35, 46 p.

WEBOGRAPHIE :

- ADAM H. - spécialiste en gestion des sols, grandes cultures/MAAARO, (2003), Du fumier pour bâtir la matière organique du sol, in MAGDOFF et AMADON, (1980) ; cité en Novembre 2003 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/>.
- ARTICLE de Actu-environnement.com, Au sujet du baromètre EurObserv'ER, Juillet 2009 ; cité le 21 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- ARTICLE des Echos, Le boom des biocarburants coûte 720 M€ aux caisses de l'Etat, le 18 Août 2009 ; cité le 21 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- CNRTL, (2008), Biocarburant et *Jatropha*, in CNRTL, (archive), définitions lexicographiques et étymologiques de carburant ; cité le 21 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- CNRTL, (2008), Biocarburant et *Jatropha*, in RUDOLF D., (1911), Invention du moteur diesel ; cité le 21 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- EDWARD T., (2007), *Jatropha*, in VANDEGINSTE P., 2007, *Jatropha*, biodiesel vraiment vert, 4^{ème} commentaire ; cité le 24 Mai 2007 sur <http://www.jatrophaworld.org>.
- GNU-GFDL, (2009), in MUSTIN M., (1987), Le compost : Gestion de la matière organique. , Eds : François Dubusc, Paris ; cité le 03 Mai 2009 sur encyclopédie, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Compostage>.
- GNU-GFDL, (2009), in MUSTIN M., (1987), Le compost : Gestion de la matière organique. , Eds : François Dubusc, Paris ; cité le 03 Mai 2009 sur encyclopédie, http://fr.wikipedia.org/wiki/Engrais_vert.
- INCONNU, (2009), *Jatropha*, wikipédia ; cité le 24 Juillet 2009 sur <http://fr.wikipedia.org>.

- INCONNU, (2009), *Jatropha*, wikipédia ; cité le 22 Novembre 2009 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- INCONNU, (2010), *Jatropha*, wikipédia ; cité le 2 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- INCONNU, (2010), *Humus*, wikipédia ; cité le 12 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- INCONNU, (2010), *Jatropha*, wikipédia ; cité le 18 Février 2010 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- JEAN D. et ELSA P., (2009), *Jatropha Curcas, le meilleur des biocarburants*, Editions Favre, in GOLDMAN S., (2008), *Jatropha Plant Gains Steam in Global Rice for Biofuels*; cité le 24 Juillet 2009 sur <http://fr.wikipedia.org>.
- SEVERINE A, (2007), *Biocarburant : un arbuste va être une Révolution écologique* ; cité le 12 Février 2007 sur <http://ecologie.caradisiac.com>.
- TEMOIGNAGES, (2006), *Biocarburant : La culture de Jatropha gagne le Sud, Maison des Civilisations et de l'Unité Réunionnaise* ; cité le 2 Août 2006 sur <http://fr.temoignages.re>.

SUPPORTS DE COURS :

- ANDRIANAIVO B., (2007), *Fertilisation*, cours de 3^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- ANDRIANASOLO H., (2005), *Biologie Végétale*, cours de 1^{ère} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- BENOIT C., (2008), *Traitement des résultats et analyses statistiques, Analyse sensorielle*, LAS, cours de 4^{ème} Année, Département IAA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RABEHARISOA L., (2006), *Sciences du Sol*, cours de 2^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RAFALIMANANA H. J., (2007), *Agriculture Générale*, cours de 3^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RAFALIMANANA H. J., (2007), *Phytopathologie*, cours de 3^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RAKOTO B., (2007), *Machinisme Agricole*, cours de 3^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;

- RAKOTONDRAVELO J. C., (2006), Monographie Villageoise, cours de 2^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RANDRIAMBOAVONJY J. C., (2006), Pédologie Générale, cours de 2^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RANDRIAMIHANTA T. H., (2006), Biologie Végétale, cours de 2^{ème} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RAONIZAFINIMANANA B., (2009), Industries des Corps Gras, cours de 5^{ème} Année, Département IAA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RASOARAHONA J., (2007), Génie Industriel Alimentaire I, cours de 3^{ème} Année, Département IAA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RASOARAHONA J., (2008), Génie Industriel Alimentaire II, cours de 4^{ème} Année, Département IAA, Université d'Antananarivo, Madagascar ;
- RAZAFINDRAKOTO M. A., (2005), Géologie, cours de 1^{ère} Année, Tronc commun, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Parties expérimentales

Mode opératoire :

Cette expérimentation consiste à cultiver sur le même terrain des jeunes plants de *Jatropha* de même âge et provenant d'un même lot tout en faisant varier certains paramètres tels que quantité de fumier bovin frais (humide et non décomposé) versé dans chaque trou avant la plantation, ainsi que présence ou non de paille sur le fond des trous.

Date de semis des graines : mis Septembre 2009,

Date de sortie à la pépinière : 3 Février 2010,

Date de plantation : 4 Février 2010.

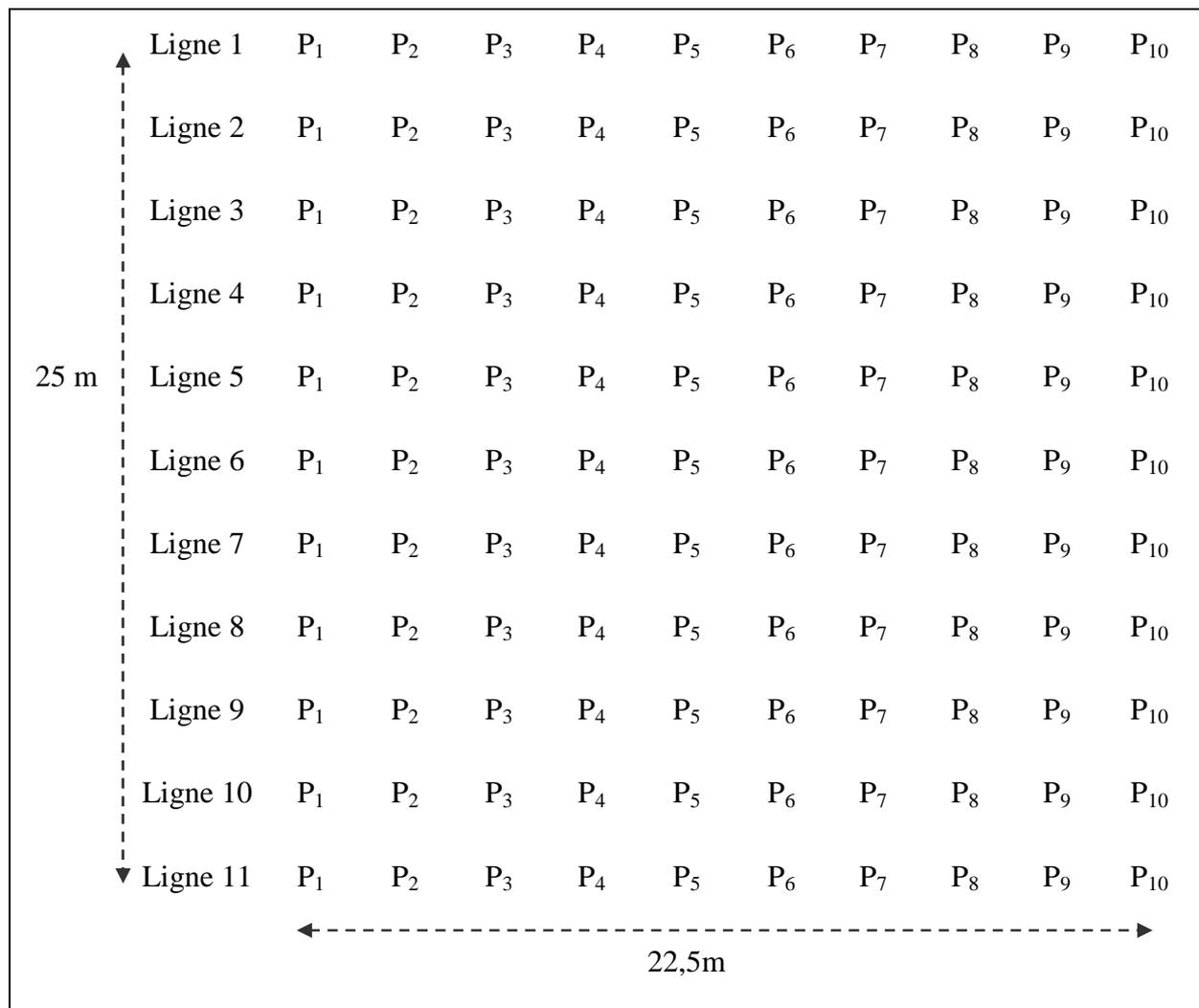
Pour cela, 110 trous de volume 30 cm x 30 cm x 30 cm et répartis sur 11 lignes ont été conçus. Sur chaque ligne comportant respectivement 10 trous, les jeunes plants sont cultivés suivant les mêmes conditions selon le tableau ci-après :

Tableau 10 : Conditions de culture appliquées sur chaque ligne de plantes de l'expérimentation.

Lignes	Quantité de fumier (zingues*)	Présence de paille sur le fond
1	0	Non
2	2	Non
3	2	Oui
4	3	Non
5	3	Oui
6	4	Non
7	4	Oui
8	6	Non
9	6	Oui
10	8	Non
11	8	Oui

Source : auteur, 2010.

*1 zingue de fumier organique : équivalent à 0,5 kg de matières sèches.



(P : pied)

Figure 20 : Schéma de disposition de la parcelle d'expérimentation (auteur, 2010).

Sur cet essai de plantation, un prélèvement périodique des évolutions est fait toutes les semaines jusqu'au quatrième mois. Les paramètres à retenir comprennent le nombre de feuilles, la hauteur de la plante, son état (vivant ou mort), sa situation phytosanitaire. C'est à partir de ces résultats que les conditions optimales sont tirées.

Le désherbage du milieu avait eu lieu le 10 Mars 2010 au 12 Mars 2010. Puis, trois traitements ont été menés sur la plantation entre Mars et Avril : les deux premiers utilisaient la Deltaméthrine et le dernier l'Anaconda EC. Les maladies rencontrées s'agissaient des parasites et du mildiou.

Les contrôles se déroulaient en une fois par semaine mais, puisque les plantes montrent une très lente modification, quatre dates sont considérées : 18 Février 2010 (date 1),

18 Mars 2010 (date 2), 18 Avril 2010 (date 3), 18 Mai 2010 (date 4). La date 1 est ici considérée comme la date de départ de l'analyse.

Conditions climatiques de l'expérimentation :

Comme les données météorologiques de cette année ne seront disponibles qu'à l'année prochaine, pour avoir une certaine précision, les variations de pluviométries et de températures pendant ces mêmes périodes (Février – Mai) pour les années précédentes les plus proches (2005 à 2009) sont prises comme références.

Tableau 11 : Variations de températures et de pluviométries entre 2005 à 2009.

	Année	Février	Mars	Avril	Mai
Pluie (mm)	2005	120,8	191,2	1	2
	2006	386	145,8	/	15,5
	2007	495,4	292,9	6,5	0
	2008	540,5	70,7	49,3	0
	2009	341,5	180,7	43,5	0
	Moyenne	376,84	176,26	25,075	3,5
Nombre de jours	2005	9	9	1	1
	2006	18	14	/	3
	2007	23	7	3	0
	2008	17	7	2	0
	2009	13	16	6	0
	Moyenne	16	10,6	3	0,8
Température maximale (°C)	2005	32	32,1	33,3	32,9
	2006	32,7	32,8	/	31,4
	2007	30,2	32,1	33,5	33,5
	2008	30,4	32,2	32,6	31,8
	2009	32,0	31,8	32,3	32,1
	Moyenne	31,46	32,2	32,925	32,34
Température minimale (°C)	2005	25,5	25,1	24,1	22
	2006	24,1	24,6	/	22,2
	2007	24,8	24,5	23,5	22,5
	2008	23,8	23,9	23,4	21,2

	2009	24,1	24,4	23,5	21,0
	Moyenne	24,46	24,5	23,625	21,78
Température moyenne (°C)	Moyenne	27,96	28,35	28,275	27,06

Source : Service météorologique, Département des pluies et température, 2010.

Résultats de l'expérimentation :

Tableau 12 : Ligne témoin (sans paille de fond et sans fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date 3	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1			4
1	8	4	4	10	62	62	62	62	bon	malade	bon	bon
2	30	22	22	31	76	76	76	76	bon	malade	bon	bon
3	6	8	10	14	62	62	62	62	bon	bon	malade	bon
4	6	5	8	15	65	65	65	65	bon	bon	bon	bon
5	19	22	22	28	63	63	63	63	bon	malade	bon	bon
6	21	22	22	30	70	70	70	70	bon	malade	bon	bon
7	13	13	17	25	69	69	69	69	bon	bon	bon	bon
8	16	20	19	24	67	67	67	67	bon	malade	malade	bon
9	10	17	20	27	73	73	73	73	bon	bon	bon	bon
10	10	15	21	28	71	71	71	71	bon	bon	bon	bon

Source : auteur, 2010.

Tableau 13 : Ligne 2 (sans paille de fond et avec 2 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1		3	4
1	10	3			63	63			bon	malade	mort	mort
2	15	9	17	40	70	70	70	70	bon	bon	bon	bon
3	6	4	12	42	63	63	63	63	bon	bon	bon	bon
4	19	9	20	50	64	64	64	64	bon	bon	bon	bon
5	22	8	20	45	67	67	67	67	bon	bon	bon	bon
6	25	9	18	46	68	68	68	68	bon	bon	bon	bon
7	12	7	21	40	67	67	67	67	bon	bon	bon	bon

8	14	6			65	65			bon	malade	mort	mort
9	17	9	17	43	69	69	69	69	bon	bon	bon	bon
10	16	5	20	48	70	70	70	70	bon	bon	bon	bon

Source : auteur, 2010.

Tableau 14 : Ligne 3 (avec paille de fond et avec 2 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1		3	4
1	10	7	13	32	66	66	66	66	bon	malade	bon	bon
2	12	10	18	39	70	70	70	70	bon	bon	bon	bon
3	23	19	20	44	67	67	67	67	bon	malade	bon	bon
4	17	15			67	67			bon	malade	mort	mort
5	22	20	20	50	72	72	72	72	bon	malade	bon	bon
6	11	9	13	35	66	66	66	66	bon	bon	bon	bon
7	18	10	16	40	68	68	68	68	bon	bon	bon	bon
8	16	14	19	39	72	72	72	72	bon	bon	bon	bon
9	25	18	20	48	71	71	71	71	bon	malade	bon	bon
10	24	16	20	42	68	68	68	68	bon	bon	bon	bon

Source : auteur, 2010.

Tableau 15 : Ligne 4 (sans paille de fond et avec 3 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1		3	4
1	22	10	10	42	60	60	60	60	bon	malade	bon	bon
2	35	30	32	59	68	68	68	68	bon	malade	bon	bon
3	17	11	15	43	69	69	69	69	bon	bon	bon	bon
4	32	27	29	52	65	65	65	65	bon	malade	bon	bon
5	29				61				bon	mort	mort	mort
6	33	30	28	50	62	62	62	62	bon	malade	bon	bon
7	33				68				bon	mort	mort	mort
8	30	26	32	61	63	63	63	63	bon	bon	bon	bon
9	18	12	24	45	66	66	66	66	bon	bon	bon	bon

10	35	32	32	62	70	70	70	70	bon	malade	bon	bon
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	--------	-----	-----

Source : auteur, 2010.

Tableau 16 : Ligne 5 (avec paille de fond et avec 3 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
1	15	12			60	60			bon	malade	mort	mort
2	20	16			72	72			bon	malade	mort	mort
3	15	12	12	32	70	70	70	70	bon	malade	bon	bon
4	19	18			66	66			bon	malade	mort	mort
5	22	14	18	46	60	60	60	60	bon	bon	bon	bon
6	17	12	18	37	67	67	67	67	bon	bon	bon	bon
7	16	13			65	65			bon	malade	mort	mort
8	21	15	18	49	72	72	72	72	bon	bon	bon	bon
9	26	14	17	47	64	64			bon	malade	mort	mort
10	17	13	16	31	68	68	68	68	bon	bon	bon	bon

Source : auteur, 2010.

Tableau 17 : Ligne 6 (sans paille de fond et avec 4 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
1	25	21	31	70	74	74	74	74	bon	bon	bon	bon
2	24	23	32	65	71	71	71	71	bon	bon	bon	bon
3	26	26			65	65			bon	malade	mort	mort
4	22	20	28	63	72	72	72	72	bon	bon	bon	bon
5	31	25			64	64			bon	bon	mort	mort
6	40	32	32	59	68	68	68	68	bon	malade	bon	bon
7	36	27	31	69	62	62	62	62	bon	bon	bon	bon
8	27	22			65	65			bon	malade	mort	mort
9	28	30			71	71			bon	malade	mort	mort
10	14	11	15	20	63	63	63	63	bon	bon	malade	bon

Source : auteur, 2010.

Tableau 18 : Ligne 7 (avec paille de fond et avec 4 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1		3	4
1	8	6	6	70	67	67	67	67	bon	malade	bon	bon
2	20	14			77	77			bon	malade	mort	mort
3	28	16	23	82	79	79	79	79	bon	bon	bon	bon
4	25	19			78	78			bon	malade	mort	mort
5	10	7			77	77			bon	malade	mort	mort
6	29	23			69	69			bon	malade	mort	mort
7	30	21			75	75			bon	malade	mort	mort
8	25	20			70	70			bon	malade	mort	mort
9	14	9			68	68			bon	malade	mort	mort
10	16	8			72	72			bon	malade	mort	mort

Source : auteur, 2010.

Tableau 19 : Ligne 8 (sans paille de fond et avec 6 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date	Date 2	Date 3	Date
	1	2	3	4	1	2	3	4	1			4
1	12	10			60	60			bon	malade	mort	mort
2	24	19			76	76			bon	malade	mort	mort
3	18	13	27	54	67	67	67	67	bon	bon	bon	bon
4	17	15			71	71			bon	malade	mort	mort
5	16	10	18	20	68	68	68	68	bon	bon	malade	bon
6	31	27	32	53	68	68	68	68	bon	bon	bon	bon
7	14	10	10	22	67	67	67	67	bon	malade	bon	bon
8	35	28			64	64			bon	malade	mort	mort
9	23	17			63	63			bon	malade	mort	mort
10	35	32			74	74			bon	malade	mort	mort

Source : auteur, 2010.

Tableau 20 : Ligne 9 (avec paille de fond et avec 6 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
1	17	8			67	67			bon	malade	mort	mort
2	23	20	20	42	71	71	71	71	bon	bon	bon	bon
3	25	18			68	68			bon	malade	mort	mort
4	18	15	20	46	62	62	62	62	bon	bon	bon	bon
5	28	19			70	70			bon	malade	mort	mort
6	26	14			63	63			bon	malade	mort	mort
7	10	3	3	14	60	60	60	60	bon	malade	bon	bon
8	16	12	18	50	62	62	62	62	bon	bon	bon	bon
9	16	6	11	10	66	66	66	66	bon	bon	malade	bon
10	19	15			65	65			bon	malade	mort	mort

Source : auteur, 2010.

Tableau 21 : Ligne 10 (sans paille de fond et avec 8 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
1	15	8	8	11	62	62	62	62	bon	malade	malade	bon
2	14	12			71	71			bon	malade	mort	mort
3	16	12			70	70			bon	malade	mort	mort
4	15	11	21	50	64	64	64	64	bon	bon	bon	bon
5	14	9			70	70			bon	malade	mort	mort
6	16	8			69	69			bon	malade	mort	mort
7	21	9			63	63			bon	malade	mort	mort
8	19	9			68	68			bon	malade	mort	mort
9	14	10	12	39	65	65	65	65	bon	malade	bon	bon
10	17	12			66	66			bon	malade	mort	mort

Source : auteur, 2010.

Tableau 22 : Ligne 11 (avec paille de fond et avec 8 zingues de fumier).

Pieds	Nombre de feuilles				Hauteur (cm)				Etat			
	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
1	14	9			62	62			bon	malade	mort	mort
2	37	30			65	65			bon	malade	mort	mort
3	25	19			63	63			bon	malade	mort	mort
4	17	11	23	32	65	65	68	72	bon	bon	bon	bon
5	31	24			63	63			bon	malade	mort	mort
6	35	27			62	62			bon	malade	mort	mort
7	21	13	9	33	66	66	69	70	bon	malade	bon	bon
8	28	20			62	62			bon	malade	mort	mort
9	27	22	30	40	63	63	64	66	bon	bon	bon	bon
10	23	16			64	64			bon	malade	mort	mort

Source : auteur, 2010.

Tableau 23 : Moyennes des nombres de feuilles des jeunes plants vivants.

Ligne	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
Ligne 1	14	15	17	23
Ligne 2	16	7	18	44
Ligne 3	18	14	18	41
Ligne 4	28	22	25	52
Ligne 5	19	14	17	40
Ligne 6	27	24	28	58
Ligne 7	21	14	15	76
Ligne 8	23	18	22	37
Ligne 9	20	13	14	32
Ligne 10	16	10	14	33
Ligne 11	26	19	21	35

Source : auteur, 2010.

Tableau 24 : Moyennes des hauteurs des jeunes plants vivants.

Ligne	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4
Ligne 1	67,80	67,80	67,80	67,80

Ligne 2	67,25	67,25	67,25	67,25
Ligne 3	84,00	84,00	84,00	84,00
Ligne 4	65,38	65,38	65,38	65,38
Ligne 5	67,40	67,40	67,40	67,40
Ligne 6	68,33	68,33	68,33	68,33
Ligne 7	73,00	73,00	73,00	73,00
Ligne 8	67,50	67,50	67,50	67,50
Ligne 9	64,20	64,20	64,20	64,20
Ligne 10	63,67	63,67	63,67	63,67
Ligne 11	64,67	64,67	67,00	69,33

Source : auteur, 2010.

Tableau 25 : Données de l'ACP.

Ligne	Quantité de fumier (zingues)	Paille sur le fond (cm)	Augmentation du nombre de feuilles (%)	Croissance (cm)	Nombre de pieds malades	Nombre de pieds morts
Ligne 1	0	0	64,29	0	6	0
Ligne 2	2	0	175,00	0	2	2
Ligne 3	2	3	127,78	0	5	1
Ligne 4	3	0	85,71	0	7	2
Ligne 5	3	3	110,53	0	6	5
Ligne 6	4	0	114,81	0	6	4
Ligne 7	4	3	261,90	0	9	8
Ligne 8	6	0	60,87	0	8	6
Ligne 9	6	0	60,00	0	7	5
Ligne 10	8	3	106,25	0	9	7
Ligne 11	8	0	34,62	4,66	8	7

Source : auteur, 2010.

Tableau 26 : Matrice de corrélation (au seuil alpha = 0,050)

	Quantité de fumier	Paille sur le fond	Augmentation du nombre de feuilles	Croissance	Nombre de pieds malades	Nombre de pieds morts
Quantité de fumier	1	0,021	-0,288	0,494	0,654	0,820
Paille sur le fond	0,021	1	0,525	-0,239	0,242	0,288
Augmentation du nombre de feuilles	-0,288	0,525	1	-0,387	-0,118	0,159

Croissance	0,494	-0,239	-0,387	1	0,225	0,337
Nombre de pieds malades	0,654	0,242	-0,118	0,225	1	0,723
Nombre de pieds morts	0,820	0,288	0,159	0,337	0,723	1

Source : auteur, 2010.

ANNEXE 2 : Méthodologie

Recherches bibliographiques :

Pour commencer l'étude, les recherches bibliographiques demeurent toujours les premiers travaux à faire puisqu'elles donnent les connaissances de base nécessaires sur l'étude, et qu'elles permettent de savoir comment diriger l'étude.

Mais elles ne restent pas au début du travail, elles se poursuivent jusqu'à la fin de l'étude pour compléter et confirmer les données. Les recherches bibliographiques comportent tout type de documentation tel que documentation sur des ouvrages, navigation sur internet, recueil de données sur des supports de cours.

Essai de plantation :

Pour parvenir à l'optimisation de l'implantation, un petit essai de plantation a été installé en même temps que l'installation de la première plantation industrielle de la Société. Il s'agit d'une expérimentation qui cherche à déterminer la condition appropriée pour la culture de *Jatropha curcas* sur le terrain en traitant les résultats obtenus à la fin de la période.

Observation de l'implantation actuelle :

Elle consiste à examiner les différentes pratiques culturales déjà mises sur place pour pouvoir intervenir dans le but d'améliorer celles qui causent un désavantage sur l'implantation. Des renseignements obtenus à partir des entretiens avec le responsable du site complètent cette observation étant donné que ce travail n'a commencé que trois mois après l'installation de la pépinière.

Etude du milieu :

L'étude du milieu forme une grande base de l'intervention parce que l'amélioration doit être conforme au milieu d'implantation c'est-à-dire que l'optimisation est très relative, variant d'un terrain à un autre. Cette étude comporte une monographie villageoise ainsi que communale, en particulier, une détermination de la géographie du local (relief, altitude, pluviométrie, température, climat, hydrographie), des analyses pédologiques et des observations de la végétation prédominante qui affecte la composition du fumier et celle du compost.

Cette étude se compose d'une observation personnelle, des entretiens avec le maire de la Commune et son adjoint, avec le responsable du site, des enquêtes auprès des villageois et auprès de la population communale, de la documentation sur le PCD d'Ankazomborona.

Proposition de la technique optimale pour l'extension de l'implantation :

La proposition sort du traitement des diverses données obtenues respectivement à partir des recherches bibliographiques, des résultats de l'essai de plantation, de l'observation sur l'implantation actuelle, de l'étude du milieu.

En d'autre terme, il s'agit de manipuler les résultats de l'expérimentation selon la correspondance de l'état du milieu avec les conditions favorables pour le développement de la plante tout en conservant les pratiques actuelles qui semblent adéquates, et ceci afin d'atteindre le maximum de rendement avec un minimum de travail et de dépenses. Ce qui aboutit au point optimal du procédé.

Chronogramme de réalisation :

Tableau 27 : Chronogramme de réalisation.

Activités	Périodes																
	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil									
Bibliographie	■				■												
Expérimentation					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Observation	■	■	■	■	■	■	■	■									
Etude du milieu									■	■							
Rédaction									■	■	■	■	■	■	■	■	■
Correction																	■

Communication :

Tous les trois opérateurs téléphoniques nationaux actuels (Orange, Zain et Telma) fonctionnent dans cette zone, c'est-à-dire que leurs réseaux y passent suffisamment.

Pour la relation avec les alentours, il y existe diverses coopératives interrégionales qui relient la Commune avec Marovoay, Ambondromamy, Maevatanàna et Mahajanga. De plus, les coopératives nationales y passent aussi en suivant la RN4.

Pour les audiovisuels, la Commune bénéficie des radiodiffusions suivantes : RFB, RFM et RNM ; ainsi que de la TVM. Pour cela, il faut noter qu'une Société privée nommée CASIELEC assure l'alimentation des deux centres villes de la Commune en énergie électrique.

Loisir :

Vu que le taux de scolarisation est assez faible et que les gens disposent assez de temps libres, la Commune/Fokontany organise des matchs de football et de basketball qui peuvent même aller jusqu'au niveau régionale. D'ailleurs, la Commune dispose de deux grands terrains. A part cela, les jeunes organisent entre eux-mêmes des matchs.

Scolarisation :

Le taux/niveau de scolarisation dans cette région demeure assez faible. Les analphabètes dont les femmes forment la majorité, constituent 70% de la population. Pour l'école primaire de Miadanasoa, les élèves comptent 65 dont 38 garçons et 27 filles.

Tableau 28 : Centres d'enseignement avec leurs nombres d'élèves et leurs taux de réussite respectifs (PCD, 2006 ; auteur, 2010).

Centres d'enseignement	Nombre d'élèves	Taux de réussite
3 Préscolaires privées	81 garçons et 66 filles	
26 Ecoles publiques	1.963 garçons et 1.195 filles	29%
3 Ecoles privées	458 garçons et 292 filles	45%
1 Collège public	341 garçons et 158 filles	73%
1 Collège privé	18 garçons et 10 filles	73%

ANNEXE 4 : Jatropha curcas

Caractéristiques du Jatropha curcas :

L'arbre est capable de se développer même sur les sols impropres aux cultures vivrières. Mais, bien entendu, il aura un meilleur rendement sur de bonnes terres. Le *Jatropha curcas* n'a besoin d'aucun intrant chimique. Il s'agit d'une plante sauvage buissonnante : son rendement varie fortement d'une plante à l'autre, et l'amélioration peut se faire par la sélection et les techniques culturales. En effet, l'apport supplémentaire en éléments nutritifs quels que soient les engrais (organiques ou minéraux) entraîne une meilleure croissance, un bon rendement en graines et une concentration plus élevée en huile.

Ensuite, la plante est relativement rustique, elle peut résister à des périodes de sécheresse prolongée grâce à ses racines fortes et profondes, ainsi que son tronc qui lui constitue un réservoir d'eau. Cependant, ces périodes diminuent son rendement. Les fluctuations de la pluie et de la température/lumière induisent sa dormance. Et d'après une étude publiée récemment, il a un besoin en eau largement supérieur par rapport à d'autres plantes énergétiques. Par unité d'énergie extraite, il demande cinq fois plus d'eau que la canne à sucre et le maïs. Dans les conditions de faible précipitation, il est préférable de planter dans les sols plus lourds. Par contre, le sol influe davantage le rendement que le taux de précipitation.

Enfin, même s'il existe des variétés résistantes au gel provenant de l'Amérique du Sud, les variétés existantes à Madagascar sont très sensibles au froid et au gel.

Groupes de Jatropha :

Parmi les espèces de *Jatropha*, les plus connues au niveau mondial sont : *J. curcas* ; *J. gossypifolia* dont l'huile est purgative et la racine utilisée contre la lèpre ; *J. integerrima*, épicar, à floraison rouge décorative ; *J. multifida*, l'arbre corail dont les feuilles sont consommées au Mexique ; *J. podagrica* (Heller, 1996), plante ornementale très prisée ; *J. phyllacantha*, plante du Brésil, aussi appelée *favela* qui donna son nom aux quartiers déshérités de la plupart des villes du pays. Mais trois variétés sauvages sont reportées : celle du Cap Vert qui se répand dans le monde entier, celle de Nicaragua qui donne moins de fruits, mais plus volumineux et celle de Mexique, sans ester phorbélique (D1, 2008).

Autres noms vernaculaires du *Jatropha curcas* : (D1, 2008).

Purgueira (Portugal), *fagiola d'India* (Italie), *dand barri* ou *habel meluk* (Arabie), *parvataranda* (Sanskrit), *kadam* (Népal), *yu-lu-tzu* (Chine), *purgeernoot* (Pays-Bas), *sabudam* (Thaïland), *tubang-bakod* (Phillipines), *jarak budeg* (Indonésie), *bagani*, *frofro baka* ou *apromprom* (Côte d'Ivoire), *kpoti* (Togo), *tabanani* (Sénégal), *mupuluka* (Angola), *butuje* (Nigeria), *makain* (Tanzanie), *pinoncillo* (Mexique), *coquille*, *tempare* (Costa Rica), *tartago* (Porto Rico), *pinhao manso* ou *mendubi-assu* (Brésil), *pinol* (Pérou), *pinon* (Guatemala), et *Gwo Medsiyen* (Haïti).

ANNEXE 5 : Marché mondial

Production mondiale :

➤ L'Inde a déjà produit de l'huile avec 10.000 ha de culture (HELLER J., 1996), et TNAU y a planté 3.000 ha. Aussi, TNAU a pris en charge 0,7 million ha de terre non arable. Le gouvernement indien a investi 300 millions US\$ dans des programmes de biocarburant. En 2003, la Commission de Planning a recommandé une mission nationale de biocarburant ; la première phase de la mission vise une culture de *Jatropha* sur 500.000 ha. Actuellement, l'Inde est en train de lancer un programme de plantation de 40 millions ha.

➤ En 2008, les biocarburants mélangés aux produits pétroliers ont substitué 5,71% des carburants consommés en France (Les Echos, 2009).

➤ En Europe, les agrocarburants (biodiesel et bioéthanol) consommés ont atteint 10 Mtep : 3,3% des carburants consommés (Actu-environnement.com, 2009).

➤ En 1910, Cap Vert avait exporté 5.622 t de graines et 4.457 t en 1955 (HELLER J., 1996). Vers 1933, Cap Vert possédait 8.700 ha de *Jatropha* ; en 1934, Silveira a planté 8.000 ha. Mais en 2007, cette surface devient 3.500 ha.

➤ En Nicaragua, il y a établissement de 1.200 ha de plantation.

➤ Actuellement, le Mali a environ 10.000 km de haies de *Jatropha* avec une extension de 2.000 km/an, ce qui représente un potentiel de production de 1,7 millions l/an (HENNING K. R., 2002).

➤ En Février 2007, la Chine qui possède déjà 2 millions ha de culture de *Jatropha* annonce son nouveau plan de plantation sur 11 millions ha jusqu'en 2010.

➤ Birmanie veut installer plusieurs millions d'ha.

- Chhattisgarh a distribué 380 millions de graines de *Jatropha* aux agriculteurs pour couvrir 150.000 ha de terre.
- En 2008, l'industrie Jain Irrigation commença à produire 10.000 l de biodiesel/j (HENNING K. R. et al., 2007).
- En Sichuan, les producteurs ont établi 5.000 t de biodiesel/an.
- En Burkina Faso, SN CITEC (Dagris Group) construit un site de 10.000 t/an.
- Le gouvernement de la Mozambique veut atteindre 20 millions l de biodiesel. Par ailleurs, la compagnie « state oil company Petromoc » estime sa production à 185 millions l (JULIO F. M., 2007).
- En Tanzanie, l'ensemble des installations envisage un rendement de 12.000 t/an.
- A Madagascar, les plantes tutrices de vanille dans la Région SAVA peuvent donner au moins 3.400 t/an, avec un rendement de 0,1 kg/pied/an sur 33,6 millions de pieds, et avec un taux d'estimation de 70%. En plus, en estimant le nombre de plantes non tutrices de vanille à 5% des plantes tutrices (1.680.000), avec un rendement de 0,5 kg/pied/an, la production atteint 840 t. Dans la Région SAVA, l'estimation totale compte sur 4.200 t/an (HENNING K. R. et al., 2007). En 1986, la partie Sud a produit 1.000 t de graines par an (D1, 2008).

Problèmes du prix à Madagascar :

Les problèmes du prix à Madagascar sont : il reste peu connu par le monde rural et aussi mal défini par rapport aux prix internationaux ; ensuite, il existe une grande variation de prix entre graines, huile, et tourteaux ; enfin, le prix semble non incitatif, donc il y a concurrence de la filière *Jatropha* avec les autres spéculations agricoles. En général, 1 ha de *Jatropha* vaut 1,5 million Ar à Manakara et 2,5 millions Ar à Ambalavao (Témoignages, 2006).

Marché mondial :

- En Inde, des scientifiques préparent un *Jatropha* génétiquement modifié en cherchant à identifier les gènes responsables de la production d'huile (Wikipédia, 2010). Archer Daniels Midland Company, Bayer CropScience AG et Daimler AG ont un projet conjoint visant à développer le *Jatropha* comme biocarburant (Wikipédia, 2009). L'Inde a procédé à des tests intensifs du biocarburant : 3 Mercedes alimentées en diester de l'huile de

Jatropha ont parcouru 30.000 km ; en Décembre 2008, un boeing 747 de Air New Zealand a réussi un vol test en utilisant, pour l'un de ses moteurs, l'huile de Jatropha (Wikipédia, 2010) ;

- Le gouvernement indonésien a décidé d'encourager la plantation à grande échelle de Jatropha en Egypte, à Madagascar et au Guatemala (SEVERINE A, 2007) ;

- Au Brésil, la compagnie pétrolière Petrobras prépare un projet pilote avec 5.000 familles d'agriculteurs pour la plantation (SEVERINE A, 2007) ;

- L'Institut de l'énergie et des ressources (TERI) de New Delhi, un centre de recherche spécialisé dans les biotechnologies, a lancé un programme de 9,4 millions US\$ sur 10 ans pour faire passer cette culture de type artisanal à une production massive (SEVERINE A, 2007). Le docteur Alok Adholeya a réuni 25 chercheurs. Jusqu'en Mars 2008, ces chercheurs essayaient de convaincre des milliers d'agriculteurs de participer à un test grandeur nature sur 8.000 ha dans l'Andhra Pradesh, et de leur apprendre à gérer leur exploitation de manière optimale en vue de mobiliser sur la prochaine décennie 20.000 – 30.000 agriculteurs.

- Malheureusement, en 2010, après quelques années de tests de culture en Inde et en Tanzanie, certains exploitants ont renoncé à la culture de Jatropha puisque la production n'a pas atteint les quantités espérées (Wikipédia, 2010).

Législations : (Wikipédia, 2010).

• **En France** : vers la fin 2005, la CCV a adopté l'utilisation de l'HVB. La production d'HVP ainsi que son utilisation (seulement pour les agriculteurs, les pêcheurs et les collectivités territoriales sous protocole) sont aussi autorisées, même en l'absence d'autorisation interministérielle mais soumis à une taxe.

• **En Allemagne** : l'huile végétale est utilisable, elle applique la directive européenne de 2003 concernant les biocarburants. Certains kits adaptateurs du moteur sont certifiés. Elle a alors défini des normes standards de qualité d'huile.

• **En Espagne** : nombreuses stations services vendent du biodiesel (en Catalogne).

• **En Suisse** : l'huile est autorisée sous toutes les formes.

• **En Belgique** : depuis le 3 Avril 2006, l'huile végétale est défiscalisée. Des « producteurs agréés » assurent son distribution.

Analyse du marché local : (ÜLLENBERG A., 2007).

❖ L'enquête menée à Tolongoina a permis d'établir les correspondances suivantes :

Tableau 29 : Demandes en divers produits d'un ménage moyen de 4 individus (ÜLLENBERG A., 2007).

Demandes hebdomadaire en divers produits	Correspondances en huile de Jatropha
Environ 150 g de savon par semaine	6 l/an (avec un rendement de 1,4 kg/l)
Environ 14 bougies par semaine (36 g)	46 l/an (avec un rendement de 40,70 g/l)
Environ 350 ml de pétrole lampant par semaine	270 ml/semaine ou bien 14 l/an

En remplaçant les différents produits par l'huile de Jatropha, le total vaut 66 l/an. Ainsi, avec 18 millions d'habitants (en 2007) dont 75% constituent la population rurale, il existe 3,4 millions de ménages ruraux (à 4 têtes). En supposant que seule la moitié adopte la substitution par l'huile de Jatropha, la demande annuelle sera égale à 118.000 t d'huile.

❖ En 2008, Madagascar a consommé 416.000 t de gazole et 62.000 t de fuel lourd dont JIRAMA utilisait 58.000 t de gazole et 41.000 t de fuel lourd. Si JIRAMA remplace ses besoins (99.000 t) par l'huile de Jatropha et si le fuel lourd restant (21.000 t) ainsi que 10% (ou bien 35.800 t) du gazole utilisé dans le transport routier sont substitués par cette huile végétale, il y aura un potentiel de marché de 155.800 t d'huile.

Utilisations du Jatropha à Madagascar :

- Tuteur des plants de vanille et de poivre au Nord-Est et au Sud-Est,
- Protection contre l'érosion par le vent et l'eau, contre les feux de brousse,
- Engrais de haute teneur en azote (3 – 4,5%) et en phosphore (0,65 – 1,2%) (PATOLIA J. S. et *al.*, 2002) : 1 t de tourteau de *Jatropha curcas* équivaut à 200 kg de fertilisant minéral (HENNING K. R. et *al.*, 2005),
- Haie de clôture des fermes, des champs (droits fonciers) ou des « parcs à bœufs » :



Figure 21 : Clôture d'une ferme à Soavina (Cliché : ÜLLENBERG A., 2007).

- Fabrication d'huile lampant ou de lubrifiant (huile pressée) :



Figure 22 : Lampe fonctionnant avec l'huile de *Jatropha* (Cliché : RANAIVOARISON A. et *al.*, 2006).

- Lutte contre les nématodes grâce aux esters phorbéliques de l'huile,
- Production de savon de haute qualité (huile pressée, saponifiée avec des bases) :



Figure 23 : Savon fabriqué à partir de l'huile de *Jatropha* (Cliché : D1, 2005).

- Production de carburant des moteurs diesels à chambres de précombustion,



Figure 24 : Moteur diesel fonctionnant avec l'huile de *Jatropha* (Cliché : ÜLLENBERG A., 2009).

- Production de biodiesel pour les moteurs diesels de haute qualité (huile transestérifiée, additionnée de substances réagissantes puis réchauffée à 60°C) :



Figure 25 : Voiture fonctionnant avec l'huile de *Jatropha* (Cliché : RANAIVOARISON A. et *al.*, 2006).

- Fabrication de combustible pour cuisinières (Bosch-Siemens-Haushaltsgeräte) :

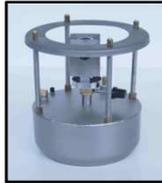


Figure 26 : Foyer testé par Bosch-Siemens en Tanzanie et Philippines (Cliché : RANAIVOARISON A. et *al.*, 2006).

- Produit de soins capillaires (fins cosmétiques), dans la région d'Ambalavao, où l'huile est traditionnellement produite par cuisson des graines,
- Utilisation médicale des feuilles, des racines et du jus (comme laxatif, contre les maladies cutanées, contre la toux, contre les maux de dents, comme antiseptique, etc.),
- «épées» de graines de *Jatropha* (sans écorce) comme bougie :



Figure 27 : Graines de *Jatropha* sur une tige de rafia (Cliché : HENNING K. R. et *al.*, 2007).

ANNEXE 6 : ZONES PRODUCTRICES A MADAGASCAR

1) Les grands investisseurs : (ÜLLENBERG A., 2009 ; HENNING K. R. et *al.*, 2007).

a) Fuelstock Madagascar :

b) GEM :

L'entreprise britannique GEM S.A.R.L. veut produire du biodiesel sur les marchés internationaux avec 452.500 ha cultivée en *Jatropha mahafalensis* (sur terrains rocheux) et en *Jatropha curcas* au Sud (de Tuléar à Fort-Dauphin), depuis 2005. Environ 20.000 ha ont été plantées lors de la campagne 2007-2008 ; 7.500 ha dans la Région Atsimo Andrefana (Toliara II) pour 2008-2009. Malheureusement, les plantations ont causé des pertes.

c) JatroGreen S.A.R.L. :

Cette Joint venture entre la Société allemande JatroSolutions et la Société malgache Green Island Madagascar prévoit une plantation sur 4.000 ha et va commencer dans la Région Haute Matsiatra, à l'ouest d'Ambalavao. Jusqu'à présent, environ 1.000 ha ont été plantées.

d) JSL Biofuels S.A.R.L.:

Etant une Joint venture germano-malgache et une entreprise commerciale engendrée par l'ONG britannique GEXSI, son plan prévoit une installation sur 30.000 ha. Elle a appuyé un projet de plantation de 300 ha à Analavory (Région Bongolava). Dans la Région Boeny, au nord du Parc National Ankarafantsika, après avoir planté sur 20 ha en Mai 2008, elle a réalisé en 2009 une plantation sur 50 ha.

e) PDJM :

C'est un projet de la Société italienne Delta Petroli en PPP avec l'église catholique. Ce projet a à atteindre une plantation de *Jatropha* sur 50.000 ha dans la Région Sofia. Jusqu'à présent, seulement 100 ha ont été plantés.

f) DMG-DEG/KfW :

La Société germano-malgache et la Société allemande d'investissement et de développement installent une entreprise germano-malgache appelée NEED-Technologies, dans le cadre d'un PPP, au sud-ouest d'Antsiranana pour approvisionner le marché allemand.

g) SOAVOANIO S.A. :

Cette Société s'intéresse à la production d'huile de *Jatropha* dans le Nord pour couvrir ses propres besoins de 130.000 l de diesel/an.

h) Madarail :

Madarail est en train de réaliser une plantation de 100 ha/an le long de la voie ferrée de la côte Est en collaborant avec la firme allemande « Prignitzer Eisenbahn ».

i) Société Colmar :

D'après M. Lempelius, la Société va planter 16.000 ha à l'ouest d'Antananarivo.

j) Green Island Association :

En collaboration avec l'Allemagne, elle dispose de 3 sites de plantation : Ankazobe et Asambotsy (Antananarivo), Fenoarivo (Ambalavao Fianarantsoa) et Tsiroanomandidy.

k) C3 :

C'est une organisation, dans la Région SAVA, qui achète des graines à 160 Ar/kg dont des commerçants sont des intermédiaires et payent 140 Ar/kg aux paysans. Aussi, C3 envisage de planter 25.000 ha de *Jatropha* dans le Nord.

Il existe aussi les investisseurs suivants dont certains n'entrent pas directement dans la plantation : SNGF (il achète des graines à 600 – 800 Ar/kg et les vend à 5.000 Ar/kg), GREEN, BAMEX, BCI, Cercle des amis du Vonizongo.

2) **Culture de *Jatropha* dans le cadre d'un développement rural : (ÜLLENBERG A., 2009).**

A. ERI :

Ce programme, financé par USAID, intervient dans la plantation de *Jatropha* le long du corridor forestier Andringitra-Ranomafana, et du corridor Andasibe/Mantadia-Zahamena, pour améliorer la situation socio-économique des régions, leur système de culture, et de réduire le risque d'érosion.

a) **ERI Fianarantsoa** : plantation sur 600 ha. A Tolongoina, en 2008, 80 l d'huile ont été extraits et vendus à ERI ;

b) **ERI Toamasina** : 80 ha ont été plantés.

B. PLAE :

Financé par la KfW et le MAEP, il a commencé depuis 2008 sur 5 sites. A Marovoay, 5.000 pieds ont été cultivés en 2006, et plus de 10.000 en 2007. De même, à Soavina (Région Amoron'i Mania), la plantation est environ la double de celle de Marovoay. A Bezaha (Toliara), la culture a débuté en 2006. En 2008, deux nouvelles stations ont été établies à Andapa et Ambanja.



Figure 28 : PLAE à Marovoay (Cliché : ÜLLENBERG A., 2007).

C. Association Koloharena :

Elle possède 170 ha de *Jatropha* dans la Commune Ikelilalina, Région Vatovavy Fitovinany dans le but de protéger l'environnement et de produire du biocarburant ainsi que du savon. Elle travaille aussi dans la Région Haute Matsiatra. Ces deux Régions comptent 9 fédérations de Koloharena.

3) **Entreprises et projets en gestation :** (ÜLLENBERG A., 2009).

a) BEL :

Cette entreprise australienne prévoit une plantation sur 120.000 ha à Sofia.

b) NEO :

Cette entreprise française envisage en 2 années une plantation de 30.000 ha dans la Région Bongolava. En 2008, 4 ha ont été plantés.

c) NOTS Renewable Energy B.V. :

Cette firme néerlandaise envisage la plantation de 15.000 ha dans la Région Betsiboka. En 2008, 50 ha ont été plantés. La production est destinée aux marchés locaux.

d) J-Oils :

C'est une entreprise française qui prévoit la culture de 10.000 ha dans la Région DIANA. 20 ha ont été plantés pour 2008-2009.

e) Avana Group :

Cette Société malgache en coopération avec PROJER prévoit de lancer une plantation de 5.000 – 10.000 ha dans la Région Bongolava.

f) Bio Energy Invest :

Cette firme a déjà planté 130 ha dans la Région Boeny. Mais celle-ci a totalement échoué. Avec 2.000 ha de terrain, le Directeur cherche un investisseur pour y planter.

g) Global Biofuel :

Cette entreprise libanaise veut installer 100.000 ha dans les Régions Boeny et Sofia.

h) TRE :

Cette Société italienne envisage 100.000 ha dans la Région Atsimo Andrefanana.

4) Les projets abandonnés : (ÜLLENBERG A., 2009).

a) D1 BP Fuel Crop Limited :

Cette Joint venture anglo-britannique envisageait la plantation de 20.000 ha au moyen d'un « contract farming ». Mais la Direction a abandonné ses activités en Juin 2009.

b) Flora Ecopower Holding AG munichois :

Il voulait planter dans la Région Boeny. Ses activités ont été stoppées en 2009.

c) Oji Paper Group :

Celle-ci a abandonné son plan de plantation de *Jatropha* sur 30.000 ha.

d) TOM Investment :

Il s'agit d'une filiale du groupement de sociétés minières israéliennes qui voulait planter du *Jatropha*. En 2006, 500 ha ont été cultivés dans la Région Atsimo Andrefana. Cependant, en 2008, elle avisait, sans donner les raisons, de retirer le projet.

ANNEXE 7 : Caractéristiques de la graine de *Jatropha curcas*

Les graines de *Jatropha curcas* sont constituées de 33 – 37,5% de téguments et 62 – 66% d'amandes. Leur teneur en huile se différencie selon les zones : elle varie de 48 à 59% du poids des amandes (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

- Selon DROIT (1932), les amandes des graines d'Afrique possèdent des teneurs en huile de 50 – 58% (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

- D'après GRIMM (1932), les graines sont composées de 33 – 39% de téguments (matières très riches en cellulose 59,30%) et 62 – 68% d'amandes (riches en huile 48,16%) (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

• Selon AMMANN (1962), sur différentes régions de Côte d'Ivoire, les graines se composent de 34 – 36% de téguments et 64 – 66% d'amandes. Les teneurs en huile varient de 31,83 – 37,83% du poids des graines, les amandes en contiennent 49,2 – 59,38% d'huile (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Tableau 30 : Variation des caractéristiques des graines de *Jatropha curcas* (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Provenance	Poids d'1l de graines (g)	Poids d'une graine (g)	Composition massique (%)		Teneur en huile des amandes (%)
			Téguments	Amandes	
Portugal	470	0,671	37,5	62,5	50
Dahomey	495	0,722	33,3	66,6	54,5
Dahomey	-	0,865	-	-	-
Cameroun	442	0,658	37	63	58
Cameroun	479	0,688	-	-	-
Madagascar	489	0,669	32	68	55
Madagascar	-	0,709	-	-	-
Soudan	510	0,713	-	-	-

Tableau 31 : Composition chimique (%) des diverses parties de la graines de *Jatropha curcas* (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

	Graines entières	Téguments	Amandes	Tourteaux
Teneur en eau	6,65	7,32	6,25	6,31
Matière organique	88,87	87,93	89,29	83,13
Matière protéique brute	15,42	5,03	24,79	48,30
Matière grasse brute	30,80	2,40	48,16	0,18
Cendres	4,48	4,55	4,44	8,64
Cellulose	20,93	59,30	1,46	2,71
Autres substances	21,80	21,12	14,90	34,00

Source : GRIMM, 1932.

Tableau 32 : Teneur en différentes parties de la graine (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Origine des graines	Petit Alépé	Bingerville	Cercle d'Agboville	
	N°1	N°2	Graines récoltées humides	Graines récoltées mûres et sèches
Caractéristiques				
Poids de 1000 graines	663,2	687,8	795,1	797,3
Amandes ^a	66,05	63,72	64,27	64,52
Téguments ^a	33,95	36,28	35,73	35,48
Humidité ^b	5,48	4,04	6,22	5,84
Cendres ^b	3,90	4,26	4,34	4,36
Matière grasse ^b	56,32	59,38	49,54	51,96
Matière grasse dans la graine utile	36,19	37,83	31,83	33,52

a : pour 100 de graines b : pour 100 d'amandes

Tableau 33 : Caractéristiques des graines d'Ikalamavony et de Lokomby (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Origine des graines	Ikalamavony	Lokomby
Caractéristiques		
Composition massique (%)		
Amandes	63,32	59,41
Téguments	35,4	42,15
Humidité (%)	7,24	7,18
Ecart-type	2,18	1,69
Teneur en huile (% Matière sèche)	65,95	59,53
Ecart-type	4,65	2,14

ANNEXE 8 : Caractéristique de l'huile de *Jatropha curcas*

Caractéristiques physico-chimiques de l'huile et du biodiesel obtenu :



Figure 29 : Huile de *Jatropha* après extraction et filtration (Cliché : D1, 2008).

Le biodiesel est un ester alcoolique ou biocarburant. Des biodiesels plus oxydatives (indice d'iode plus faible) dérivent des acides gras plus saturés. Le point de froid se réduit avec l'augmentation du niveau d'insaturation dans l'huile et pour les chaînes d'acides gras plus courts. En climat tempéré, CFPP et l'indice de cétane sont élevés. En zones plus tropicales, CFPP est moins pertinent mais l'indice d'iode devient plus élevé (D1, 2008).

L'huile de *Jatropha* possède le même potentiel que le pétrole et le charbon. L'huile a un effet moindre sur l'environnement : pauvre en Soufre. Ce qui la rend plus adaptée aux moteurs. Elle présente une grande viscosité (0,375 à 35°C et 0,0677 à 100°C) qui se réduit après chauffage (au delà de 110°C) pour devenir semblable au diesel. Cette viscosité révèle ses propriétés lubrifiantes. Aussi, son bas point de solidification (-13 à -15°C) la rend intéressante pour l'utilisation en tant que carburant. Cette huile est non siccative : elle a une densité de 0,91 – 0,92 et son indice de réfraction varie de 1,4682 à 1,4697. L'indice d'acide se situe entre 1,67 – 6,18 selon les graines et le mode de conservation de l'huile. L'huile de *Jatropha* est moyennement saponifiable avec une indice de saponification allant de 189 à 199, et une teneur en insaponifiables de 4,36 – 7,73%. L'huile de *Jatropha* fraîche et extraite à froid est à peu près incolore, puis elle vire au jaune après exposition à l'air et au jaune rougeâtre pour une longue exposition (oxydation) (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Tableau 34 : Caractères physico-chimiques de l'huile de *Jatropha curcas* (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Origine Caractéristiques	Portugal	Colonies françaises
Densité à 15°C	0,9205	0,9168
Indice de réfraction à 15°C	1,4728	1,472 – 1,473
Viscosité à 35°C	0,375	-
Viscosité à 100°C	0,0677	-
Point de solidification (°C)	-13	-13 à -15
Pouvoir calorifique	9,169	9,240 – 9,480
Point feu (°C)	247	-
Point éclair (°C)	395	-
Acidité en acide oléique	4,2	0,40 – 0,60
Indice de saponification	190	176 – 180
Indice d'iode	98	97 – 98
Indice d'acétyle	9,6	4 – 8

Tableau 35 : Caractéristiques physico-chimiques des huiles brutes de *Jatropha curcas* (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Origine des graines Caractéristiques	Ikalamavony	Lokomby
Densité à 20°C	0,91	0,91
Indice de réfraction à 20°C	1,4682	1,4689
Indice d'acide (mg)	1,95	1,67
Acidité	0,195	0,167
Indice de saponification	197	199
Teneur en insaponifiable (%)	5,04	4,36
Teneur en acides gras	94,96	95,64

Les huiles démulcinées ont une densité égale à 0,91 et un indice de réfraction entre 1,4698 et 1,4708.

Tableau 36 : Caractéristiques physico-chimiques des huiles démuliginées (ANDRIANARIDIMBY R. A., (2007).

Caractéristiques	Origine des graines	
	Ikalamavony	Lokomby
Densité à 20°C	0,91	0,91
Indice de réfraction à 20°C	1,4708	1,4698
Teneur en insaponifiable (%)	3,04	3,70
Teneur en acides gras	96,96	96,30
Teneur en insaponifiable de l'huile brute (%)	5,04	4,36
Variation de teneur en insaponifiables après démuligination	-2,00	- 0,66

Sous une température de 0°C (winterisation), l'huile se sépare en deux parties : une masse cristalline (5%) de point de fusion égal à 30°C se dépose au fond du récipient et un liquide clair surnage, ce liquide résiste au froid et ne se prend en masse qu'à partir de -10°C (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Tableau 37 : Séparation de l'huile par action ménagée du froid (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Fraction	Quantité (%)	Densité	Indice d'acide	Indice de saponification	Indice d'iode	Indice d'acétyle	Point de fusion (°C)
Huile primitive	100	0,9201	0,55	177	97	4	-
Huile résiduelle	95	0,9188	0,55	176	99	4	-
Masse cristalline	5		0,6	189	61	-	30

Tableau 38 : Evolution des caractéristiques de l'huile chauffée pendant 18 h (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

	Densité	Viscosité		Indice d'acide	Indice de saponification	Indice d'iode	Indice d'acétyle
		à 35°C	à 100°C				
Huile crue	0,9201	0,352	0,0623	0,5	177	97	4
Huile chauffée pendant 18h	0,9336	0,680	0,0972	2,0	195	88	0,5

Après une pyrolyse à 340 – 380°C, l'huile de *Jatropha* donne naissance à de l'oxyde de carbone, à des anhydrides d'acide, à des acidylacroléines, à des composés plus ou moins légers et à d'autres plus ou moins stables (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Tableau 39 : Quantité de produits obtenus par la pyrolyse de 1 t d'huile de *Jatropha* (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Quantité pour 1 t	Types de produits
70	Carburant raffiné
40	Gasol léger
40	Gasol ordinaire
35	Brai sec
270	Semi coke
270	Eau ammoniacale, gaz, etc.

Composition en acides gras :

Comme l'huile de *Jatropha* est non siccatrice, elle est constituée de glycérides d'acides stéariques, palmitiques, myristiques, oléiques et linoléiques, d'une résine amorphe et d'un stérol, d'un mucilage composé de xylose, rhamnose, acide galacturique et enfin de curcine. Les acides gras des huiles de *Jatropha curcas* se composent de 68,22 – 75,44% d'acides gras insaturés. Les autres composants (acide curcanoléique, etc.) représentent 7,02 – 11,16% (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Tableau 40 : Composition en acides gras des huiles d'amandes de *Jatropha curcas* (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Acides gras	Ikalavony	Lokomby
14 : 0	/	/
16 : 0	12,37	14,22
16 : 1 ω 7	0,85	0,92
18 : 0	4,44	4,33
18 : 1 ω 9	34,19	32,34
18 : 2 ω 6	34,38	30,76
18 : 3 ω 3	3,97	4,08
20 : 0	trace	5,50
Non identifiés	7,98	7,40

Composition en acides gras des huiles démuliginées :

Tableau 41 : Composition en acides gras des huiles démuliginées de *Jatropha curcas* (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Acides gras	Ikalamavony	Lokomby
16 : 0	14,03	13,45
16 : 1 ω 7	1,07	0,94
18 : 0	5,97	6,17
18 : 1 ω 9	42,48	41,94
18 : 2 ω 6	35,27	32,11
18 : 3 ω 3	0,48	0,64
20 : 0	trace	trace
Non identifiés	0,69	3,21

Taux en mucilages des huiles :

Le taux en mucilages des huiles se situe entre 3,41 et 13,27%.

Tableau 42 : Taux en mucilages des huiles (ANDRIANARIDIMBY R. A., 2007).

Origine des huiles	Taux en mucilages (%)
Ikalamavony	9,06
Lokomby	13,27

Toxicité :

Le *Jatropha curcas* produit, en situation de stress (problème hydrique, blessure), une toxalbumine très active appelée curcine ou curcasine. Il s'agit d'une substance très toxique proche de la ricine, bloquant l'activité de synthèse ribonucléique (détruit partiellement les codons messagers de l'ARN), ce qui conduit au blocage complet de l'activité cellulaire puis à sa mort rapide ; la médecine utilise cette propriété comme agent antitumoral. L'huile est donc impropre à la consommation humaine ou animale. Le préparateur de l'huile ou du diester s'expose aussi à ce produit toxique (D1, 2005).

Comme méthode traditionnelle, il faut concasser, broyer les graines, puis brasser en pâte épaisse dans l'eau et presser pour extraire la toxine.

ANNEXE 9 : Tourteaux de *Jatropha curcas*

Les tourteaux de *Jatropha* peuvent être utilisés comme combustible, fertilisant, ou être exploités dans la fabrication de bougies, de biogaz et de savon, ou bien servir dans l'alimentation du bétail après un certain traitement. En moyenne, ils contiennent : 3,0 - 4,5% d'azote (N) ; 0,65 – 1,2% de phosphore (P) et 0,2 – 0,4% de potassium (K) (PATOLIA J. S. et *al.*, 2002).

Tableau 43 : Composition des tourteaux de *Jatropha* (RAKOTONIAINA P. M., 1989).

Composants	Teneur (% de tourteaux)	Teneur (% de cendres de tourteaux)
Cendres	5,60	100,00
Azote total	3,20	57,14
Phosphore (P ₂ O ₅)	1,40	25,70
Potasse (K ₂ O)	1,20	20,70
Soude (Na ₂ O)	0,21	3,80
Chlore (Cl)	0,13	2,40
Sulfate (SO ₂)	0,08	1,50

Tableau 44 : Composition des tourteaux de *Jatropha* issus de la presse chinoise (ANDRIAMAMPIANINA A. R., 2008).

Constituants	Teneur pour 100g de tourteaux (g)
Eau	9,72
Matière organique	84,48
Huile	10,98
Cendres brutes	5,8
Azote (N)	2,0
Phosphore (P)	0,8
Potassium (K)	1,7

ANNEXE 10 : Maladies et insectes nuisibles à la culture

Maladies du *Jatropha* (D1, 2008) :

Ce sont : mildiou (*Oidium* sp.), fanaison (*Fusarium* sp.), pourriture du collet (*Macrophomina phaseolina*), feuilles brisées (*Alternaria* sp.), feuilles tachées ou

boutonnées (*Cercospora jatrophae*), nématodes, maladies de la pépinière ou fonte de semis (*Pythium/Phytophthora/Fusarium sp.*), mosaïque (virus de la Mosaïque du manioc et du concombre). L'espèce peut être aussi attaquée par *Lagocheirus undatus*, *Panthomorus femoratus*, *Leptoglossus zonatus*, *Pachycoris torridus* et *Nezara viridula*.

Insectes nuisibles au *Jatropha* (D1, 2008) :

Borer (*Salebria/Pempelia morsalis*), Mite (*Polyphagotarsonemus latus*), Scutellaria bug (*Chrysocoris stollii*), Mineuses de feuilles (*Stomphosistis thaurastica*), Thrips (*Rhipiphorothrips cruentatus* ou grape thrips et *Scirtothrips dorsalis* ou Chilli thrips), Cochenille (*Ferrisia virgata*), Terme, Flea Beetle, Scarabée dorée (*Raphidopalpa foenicollis*).

ANNEXE 11 : Espèces de mauvaises herbes à Madagascar

Tableau 45 : Espèces de mauvaises herbes à Madagascar (D1, 2008).

Famille	Nom scientifique	Nom Malagasy	Nom anglais
Graminées	<i>Aristida</i>	Paipaika	-
Graminées	<i>Heteropogon contortus</i>	Ahidambo, Danga	-
Graminées	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Vero	-
Asteraceae	<i>Acanthospermum hispidum</i> DC	Karepoka	Upright Starbur
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L	Tsipolotra	Black Jack
Solaneceae	<i>Datura stramonium</i> L	Seva	Jimson Weed
Solaneceae	<i>Solanum nigrum</i> L	Anamamy dia	Black Nightshade
Verbernaceae	<i>Lantana camara</i> L	Taindelon-tsinoa, voamason'omby	Lantana

ANNEXE 12 : Compostage (GNU-GFDL, 2009).

Méthodes de compostage :

Il faut choisir un endroit à l'abri des vents froids et pas trop ensoleillé. L'arrosage de la masse permet de maintenir le taux d'humidité entre 50 à 70%. Une couverture, toiture ou bâche peut être utilisée. Le compost ne doit pas être en contact avec le sol en couvrant le fond par une couche de petites branches pour faciliter la circulation de l'air et le drainage. Il faut mélanger entre eux les déchets ou bien alterner les résidus humides et les résidus secs, les

produits riches en azote et ceux riche en carbone, avec du compost fini ou de la terre. Les couches auront au plus 5 cm d'épaisseur.

Les matières à composter sont séchées et broyées pour les rendre plus perméables à l'humidité et aux microorganismes responsables de la fermentation. Le broyage augmente la surface de contact entre les déchets et la microflore, ce qui accroît le taux de décomposition mais il y a risque d'anaérobiose. Il faudrait veiller sur l'humidité, aérer et brasser le mélange pour favoriser l'action des microorganismes tout en homogénéisant le produit. Les différents modes de compostages sont :

- A l'air libre : en protégeant le compost contre les pluies, le vent et le soleil.
- En fosse : ceci conduit rapidement à des conditions anaérobies. Les produits sont recouverts d'une épaisse couche de paille puis d'une couche de terre de 10 cm d'épaisseur. Cette méthode est lente et partiellement anaérobie, aucun apport n'est effectué.
- En tas : ce compostage est facile et demande moins d'entretien, mais lent. La hauteur dépend à la fois de la porosité à l'air du compost, de la fréquence et méthode d'aération. L'arrosage naturel et la large surface (oxygénation) seront des avantages. Cela requière un endroit éloigné et discret.
- En couloir : cette méthode admet l'installation d'un système d'aération mais elle coûte cher.
- En enceinte close ou digesteur : cette méthode dépend du séjour. Le digesteur est une enceinte fermée au sein de laquelle le brassage et l'aération s'effectuent en continu.
- Silo vertical (tour) : le compostage en bac (composteur ou silo à compost) réduit l'encombrement en privilégiant la hauteur. Des tuyaux permettent d'aérer le produit.
- Biostabilisateur : La rotation du digesteur (cylindre) disposé horizontalement permet le brassage, l'aération et la progression du produit vers l'extrémité. Le séjour varie de 4 – 6 j.

Mode d'aération :

🚧 Aération passive et méthode chinoise : les Chinois ont perfectionné le dispositif en installant des faisceaux de bambous lors de la constitution du tas. Ces bambous sont ensuite retirés après 1 ou 2 j, laissant libres des orifices plongeant jusqu'au milieu du tas.

🚧 Brassage des matériaux : selon sa fréquence et sa qualité, le brassage (à la fourche, au moyen d'un engin ou de machines) permet une fermentation aérée et homogène.

✚ Aération active par soufflerie : apport continu d'oxygène grâce à un réseau de tuyauteries perforées sur toute leur longueur et reliées à un surpresseur.

✚ Aération active par aspiration (méthode Beltsville) : un aspirateur remplace le surpresseur. La ventilation peut être combinée avec le brassage des matériaux.

Résidus organiques compostables :

Il s'agit des déchets azotés et des déchets carbonés : branches, fleurs et feuilles saines, pailles, coquilles d'œufs, fumiers/litières d'animaux herbivores, papiers non imprimés, cartons, morceaux de tissus en laine/coton, déchets ménagers périssables, cendres, sciures ou copeaux de bois, plantes saines, tontes de gazon ou de mauvaises herbes, coques de noisettes, orties, aiguilles de conifères, algues marines dessalés.... Les *mulchs* (paillages) ou substrats de culture sont parfois des déchets végétaux à demi-compostés. Il faut des matières à valeur agronomique élevée, mais absence d'impuretés (plastique, verre, etc.) et de produits toxiques (métaux lourds). Le broyage permet la dispersion des polluants (surtout métaux) au sein du compost mais n'élimine pas la pollution.

Cependant, il ne faut pas composter les plantes malades, la viande, le poisson, l'os, les produits laitiers, les excréments d'animaux domestiques carnivores (chien, chat), les mauvaises herbes montées à graines, les déchets inorganiques (plastique, verre, métaux...), les matières (les marcs de café, etc.) qui se décomposent lentement.

Description du procédé :

Il faut 3 à 5 mois pour assurer la décomposition de l'humus. Les organismes responsables ont besoin de 3 éléments : nourriture équilibrée (mélange de matières carbonées et de matières azotées), humidité et air. Deux phénomènes se succèdent dans un compostage : le premier est une dégradation aérobie intense qui amène les résidus à l'état frais, c'est la décomposition de la matière organique à une température de 50 à 70 °C ; le deuxième phénomène transforme le compost frais en un compost riche en humus, c'est la maturation qui se passe à une température de 35 à 45 °C et qui conduit à la biosynthèse de composés humiques.

Pourtant, l'évolution de la température durant le processus s'effectue en 3 phases :

- elle monte rapidement jusqu'à 40 – 45 °C suite à la consommation des composés plus dégradables (sucre et amidon). Cette phase ne s'observe que quand le mélange contient une forte proportion de tissus frais.

- la température s'élève jusqu'à 60 – 70 °C grâce à la respiration des microorganismes.

- les microorganismes épuisent l'oxygène de la masse et rendent le milieu anaérobie, il y a alors développement des germes anaérobies responsables des composés volatils nauséabonds (méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré...), d'où abaissement de la température. Le maintien des conditions aérobies du milieu par une oxygénation ou la prolongation de la fermentation à haute température permettent d'éviter cette putréfaction.

Dès que la température n'augmente plus après aération, la dégradation est terminée. En se multipliant, les microorganismes changent leur environnement et le rendent impropre à leur développement. La quantité de matière utilisable se raréfie et la synthèse de composés humiques prédomine : disparition des microorganismes thermophiles au profit des espèces mésophiles au fur et à mesure que la température décroît jusqu'à la température ambiante. Cependant, la dégradation continue encore après la fermentation. Et si le compost sera utilisé comme substrat de culture, il doit subir une longue période de maturation. La conversion de la matière organique vers l'humus dépend de :

- ⊕ Aération : l'air devrait occuper au moins 50% du volume du tas. L'anaérobiose débute quand le taux d'oxygène devient inférieur à 10%.

- ⊕ Humidité : un excès d'eau diminue la quantité d'air disponible car l'aération et l'humidité sont liées. La chaleur libérée par la fermentation provoque une évaporation d'eau. De plus, l'évaporation excessive par le soleil ralentit le processus.

- ⊕ Dimension des particules : elle permet la porosité à l'air et la rétention en eau.

- ⊕ Température : comme les microorganismes dégagent une chaleur (80 °C et même plus de 90 °C dans un tas bien isolé), l'optimisation consiste à ne pas dépasser 70 °C.

- ⊕ pH : le pH acceptable pour les matières à composter se situe entre 5 et 7. Le pH s'abaisse pendant les premiers jours puis devient neutre ou peu alcalin. Le pH final est de 8.

- ⊕ Forme du carbone : certaines molécules sont facilement dégradables. La cellulose, polymère plus volumineux, est plus résistante. La lignine et les autres polymères aromatiques, extrêmement solides, seront dégradés plus tardivement et partiellement.

- ⊕ Rapport C/N : la microflore consomme du carbone organique et libère de CO₂, d'où diminution du rapport C/N. Un C/N trop faible (inférieur à 15) conduit à des pertes

d'azote ; un C/N trop élevé ralentit la décomposition. Il faut avoir un C/N de 20 à 40 en fin de maturation.

⊕ Rapport C/P : le phosphore entre aux réactions énergétiques des microorganismes (Adénosine Tri-Phosphate) et aussi dans la composition de nombreuses macromolécules. Un C/P voisin de celui de la microflore (75 à 150) conduit à une dégradation plus rapide et une grande production d'humus.

⊕ Autres éléments minéraux : le carbone assimilable reste le facteur limitant. Les autres éléments sont généralement suffisants dans les matières organiques.

⊕ Conditions biologiques : il faut créer un milieu favorable au développement des spores de microorganismes de la nature.

⊕ Aptitude au compostage (CNFP) : il représente les 4 aspects fondamentaux à réunir pour réaliser un bon compost : 'C' ou 'c' pour carbone, 'N' ou 'n' pour azote, 'F' ou 'f' pour le degré de fermentescibilité, et 'P' ou 'p' pour la porosité totale. La lettre minuscule indique un apport correct et la lettre majuscule indique des propriétés perfectionnantes. L'absence d'une lettre ('—') veut dire un manque qui doit être complété par un produit ayant des propriétés perfectionnantes pour le même facteur.

ANNEXE 13 : Fumier

Le fumier est une matière organique, il est utilisé comme fertilisant dans l'agriculture. Le fumier enrichit la terre en matières organiques et nutriments comme l'azote. Mais les matières organiques en dégradation ont des conséquences allélopathiques se traduisant par des effets anti-germination et /ou des inhibitions de croissance. La décomposition du fumier génère de la chaleur ; stocké en tas massif, il y a risque important de combustion spontanée (GNU-GFDL, 2009).

Il existe 4 catégories de fumiers de fertilisation : les fumiers végétaux, les fumiers animaux, le contenu de la panse des ruminants abattus et les déchets de houblon dans les industries de la bière.

Fumiers végétaux :

Il en existe le compost qui est le reste de la décomposition des matières organiques, il contient ainsi du fumier. Les engrais verts sont aussi des fumiers végétaux car ils donnent des matières organiques au sol (GNU-GFDL, 2009).

Fumiers animaux :

Les caractéristiques des fumiers animaux changent en fonction de l'animal, des systèmes d'alimentation et de litière. Les engrais animaux se trouvent dans les matières fécales, dans les litières qui se mélangent à leurs matières fécales ainsi qu'à leurs urines. Pourtant, le fumier animal frais risque de pourrir les plantes en brûlant les racines. Il faut donc le composter avant son emploi, pendant 6 mois, dans de bonnes conditions (GNU-GFDL, 2009).

Les fumiers de bovins laitiers et de volailles correspondent à un amendement calcaire. Le fumier de bovins laitiers renferme 13% de matière sèche. Suite à la décomposition, environ 25% de cette quantité sera ajoutée au sol. Les fumiers de cheval ou d'ovins sont des « fumiers chauds » destinés pour des terres argileuses : ils « chauffent le sol » ou bien ils constituent des « couches chaudes ». Par contre, les fumiers de porc et de bovin sont des « fumiers froids » utilisables sur des sols siliceux et calcaires. Ils se dégradent lentement : 25% en année 1 et 50% en année 2. Les bovins fournissent un fumier d'odeur plus douce que celle du fumier issu des carnivores. Les fumiers de volailles agissent rapidement. Quand ils sont frais, ils nuisent aux plantes, mais, après une fermentation, ils deviennent des engrais de valeur élevée (GNU-GFDL, 2009).

Tableau 46 : Fumier - % du contenu en matière sèche (ADAM H., 2003).

Type de fumier	Bovins laitiers	Bovins de boucherie	Volailles (pondeuses)	Porcs
Solide	20	28	20	9
Liquide	6	6	10	6

Humus : (Wikipédia, 2009).

L'humus, appelé aussi terre végétale, désigne la couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition continue de la matière organique. En d'autre terme, l'humus est la matière organique qui se minéralise par voie biologique et chimique et enrichit ainsi la fraction minérale du sol en engendrant des liens physico-chimiques. C'est la partie la plus active biologiquement. Ainsi, il possède de multiples fonctions : un grand rôle dans les propriétés physico-chimiques du sol. Son origine est différente de celle du compost malgré qu'ils possèdent certaines propriétés identiques (capacité de rétention d'eau et de nutriments). Mais il comprend aussi les résidus d'origine végétale, peu transformés et incomplètement minéralisés. Il est absent dans les zones désertiques et dans tout milieu dépourvu de végétation.

L'humus est une matière brune peu soluble dans l'eau, soluble dans les alcalis, provenant de la décomposition et de la combustion lente des substances organiques dans le sol ou à sa surface. Il a une couleur foncée (brunâtre à noir), ce qui explique sa richesse en carbone organique. C'est une matière souple et aérée, de pH variable, à odeur caractéristique variable. Il absorbe et retient bien l'eau.

Il existe deux processus antagonistes d'évolution de la matière organique dans le sol : la minéralisation, ou décomposition rapide de la matière organique fraîche avec libération de composés minéraux ; l'humification, ou élaboration plus lente, à partir de certains de ces composés minéraux et de la matière organique non encore minéralisée, de « composés humiques » qui résistent à l'action microbienne. La matière organique de l'humus est d'origine végétale, microbienne et animale. Cette matière évolue en composés organiques complexes, électronégatifs et relativement stables : des composés insolubles (humine) et des colloïdes (acides humiques et fulviques). La présence considérable de cations métalliques insolubilise les acides humiques et fulviques et ce qui aboutit à des sols bruns. En quantité faible de ces cations, il y a formation de podzols. Certains milieux accumulent énormément de matière organique humifiée, et constituent ensuite des tourbières.

Le rapport C/N constitue l'un des indices de la qualité du sol : un C/N bas (inférieur à 10) correspond à une bonne activité biologique du sol, un C/N élevé (supérieur à 20) montre un ralentissement de cette activité. L'humus libre est une fraction légère à C/N élevé, facilement biodégradable ; l'humus lié (humine d'insolubilisation) est l'humus le plus stable, c'est le plus intéressant sur le plan agronomique.

L'humus se classe en deux catégories :

Humus formés en aérobiose : le mull, le moder (avec une couche superficielle de matière organique non incorporée), le mor (avec une couche superficielle de matière organique non ou peu humifiée).

Humus formés en anaérobiose : la tourbe, l'anmoor (avec une grande quantité de matière organique humifiée), les complexes argilo-humiques (ou CAH : association d'argile et d'humus).

Le labour (en l'enfouissant), les apports de biocides, de pesticides et d'engrais peuvent dégrader ou tuer les humus. Cependant, il existe actuellement plusieurs méthodes qui permettent de cultiver sans détruire l'humus, ce sont : agriculture biologique, technique culturale simplifiée, utilisation du bois raméal fragmenté, agriculture naturelle, etc.

ANNEXE 14 : Equipements d'extraction

Presse de Bielenberg :

La presse de Bielenberg a une capacité de 5 kg/h et permet un taux d'extraction égal à 17 – 18 %. Ce matériel coûte 500.000 Ar.



Figure 30 : Presse de Bielenberg (Cliché : ÜLLENBERG A., 2007).

Presses motorisées :

- Presse TinyTech : avec une capacité de 100 – 125 kg/h, elle possède un très bon rendement d'extraction qui vaut 25% en utilisant des graines de *Jatropha* non chauffées. S'il y a chauffage préalable des graines, ce taux d'extraction atteint jusqu'à 30%. La presse complète, munie d'un dispositif de décorticage, de chauffage et d'un filtre, coûte 10.000 US\$ ou 20.500.000 Ar. Avec un poids de 500 kg et un volume de 1,6 m³, la presse TinyTech est une machine compacte, rustique, facile à installer et à manipuler, déplaçable. Elle fonctionne avec un moteur électrique (10HP) ou un moteur diesel (12HP).

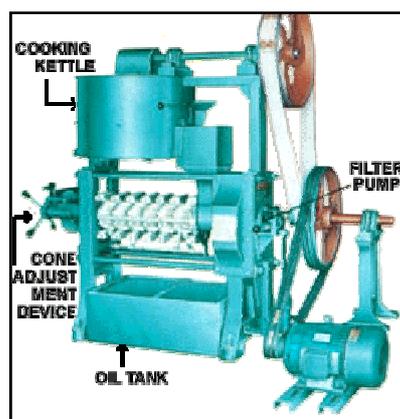


Figure 31 : Presse TinyTech (Cliché : ÜLLENBERG A., 2007).

- Hongyuan Machinery Co. : il en existe 3 tailles différentes dont les prix se trouvent entre 5 à 10 millions Ar. Cette presse donne le même résultat que la presse TinyTech.

- Presse allemande : elle est construite par Reinartz GmbH et/ou Harburg-Freudenberger Maschinenfabrik GmbH. Elle arrive à diminuer le taux d'huile résiduelle du tourteau jusqu'à moins de 5%. Fonctionnant avec un moteur électrique, elle a une vitesse jusqu'à 300 kg de graine par heure, un volume de 0.30 m³ et un poids de 65 kg. Son prix vaut 530 US\$ ou bien 1.086.500 Ar.

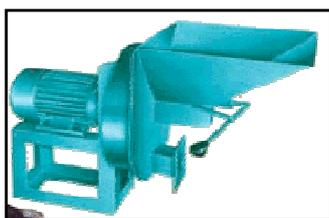


Figure 32 : Casseur de graines (Cliché : BAMEX).

Autres appareils :

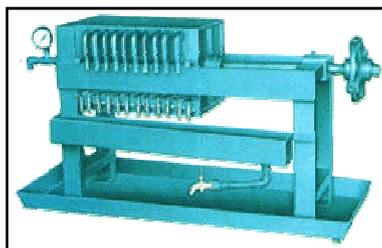


Figure 33 : Filtre à presse TinyTech-plants (Cliché : BAMEX).

Ce filtre permet de rendre l'huile parfaitement claire, limpide. Il a un poids de 450 kg et un volume de 0,80 m³. Il a une vitesse jusqu'à 200 l/h et son prix se situe à 1.065 US\$ ou 2.183.250 Ar.



Figure 34 : Décortiqueur d'arachide TinyTech-plants (Cliché : BAMEX).

Ce décortiqueur d'arachide, rustique et solide, peut traiter également les graines de *Jatropha*. Il fonctionne avec un moteur électrique et a une capacité de traitement égale à 300 kg/h. Ce décortiqueur est vendu à 1.065US\$ ou 2.183.250 Ar.



Figure 35 : Moulin broyeur à 3 rouleaux (Cliché : RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 36 : Extrudeuse pré-raffinage (Cliché : RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 37 : Broyeur sous vide Duplex Mazzoni b "m-300" (Cliché : RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 38 : Broyeur sous vide Duplex Binacchi "Tm 280-2" (Cliché: RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 39 : Mélangeur-raffineur Simplex "SAS" MR-300 (Cliché: RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 40 : Moulin broyeur à 3 rouleaux 200 x 500 mm (Cliché : RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).



Figure 41 : Moulin broyeur à 3 rouleaux “Weber & Selander” (Cliché: RAZAKAMAHEFA A. B., 2009).

FAMINTINANA

Ny orinasa « Fuelstock Madagascar S.A. » ao Miadanasoa-Ankazomborona dia manana tanjona hamokatra menaka valavelona mitentina 50.000 t isan-taona mba havadika « biocarburant ». Koa 30.000 ha no velaran-tany hovoleny amin'izany. Na dia fantatra aza fa tsy sarotiny loatra ny valavelona, ity fandalinana ity dia nikaroka izay hanatsaràna ny faniriny eo amin'ity faritra tsy mahavokatra ity, zavatra telo arỳ noho izany no nampifandraisina : ny toetr'ilay zava-maniry, ny momba ilay toerana hambolena azy ary ny vokatry ny fanadramana.

Ireo no nanome fa ny dingana rehetra ao anatin'ny famokarana dia samy manan-danja ka tokony hatao tsara avokoa : famokarana zana-kazo, fanetsàna, fikarakaràna, fiotazana, ary koa fakàna menaka sy « transestérification ». Mba hahazoana antoka ny fahombiazana dia tokony ho tohanana ara-pitaovana, ara-bola, ara-pandaminana ary ara-pratika ireo fanavaozana aratekinika ireo.

Teny fototra: valavelona, « biocarburant », « Fuelstock Madagascar », zana-kazo, fanetsàna, fikarakarana, fiotazana, fakàna menaka, « transestérification ».

RESUME

La Société Fuelstock Madagascar S.A. située à Miadanasoa-Ankazomborona veut produire 50.000 t d'huile de *Jatropha curcas* par an pour participer dans la production de biocarburant. Pour cela, elle va y installer 30.000 ha de plantation. Malgré que la plante soit considérée comme peu exigeante, cette étude a cherché d'améliorer son développement sur ce milieu infertile en compilant trois données : caractéristiques du végétal, propriétés de la zone d'implantation et résultats de l'expérimentation.

Ainsi, l'optimisation consiste à intervenir dans toutes les étapes de la production : préparations de la pépinière, transplantation, entretiens, récolte, mais aussi extraction et transestérification. Pour bien réussir, ces modifications techniques seraient complétées par des appuis logistiques, financiers, organisationnels et pratiques.

Mots – clés: *Jatropha curcas*, biocarburant, Fuelstock Madagascar, pépinière, transplantation, entretiens, récolte, extraction, transestérification.

ABSTRACT

The Fuelstock Madagascar S.A. Society at Miadanasoa-Ankazomborona would like to produce per year 50.000 t of *Jatropha curcas*'s oil to support the biofuel's production. So, it wants to plant on 30.000 ha of area. In spite of the fact that this plant was considered like less demanding, this study looked for improve his development on this environment unfertile. And three statements/data were exploited: *Jatropha*'s characteristics, property of the environment and experimentation's result.

So, the optimisation concerns all the production's stages: works in nursery, transplantation, upkeep, harvesting, extraction, and tranesterification. The success needs to complete there technicals modifications by the supports in logistics, in financials, in organizations and in practices.

Keywords: *Jatropha curcas*, biofuel, Fuelstock Madagascar, tree nursery, transplantation, upkeep, harvesting, extraction, transesterification.