



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
MENTION INGENIERIE MINIERE
PARCOURS GEO-ENERGIE**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
de Master d'Ingénierie en Géo-Energie**

**VALORISATION AGRO ENERGETIQUE
DES DECHETS DE FRUITS DE LA SOCIETE
SCRIMAD TAMATAVE**

Présenté par : ANDRIAMANDROSO Miary Maherisoa

Présenté le 09 juillet 2016



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE
MENTION INGÉNIERIE MINIERE
PARCOURS GEO-ENERGIE**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
de Master d'Ingénierie en Géo-Energie**

**VALORISATION AGRO ENERGETIQUE
DES DECHETS DE FRUITS DE LA SOCIETE
SCRIMAD TAMATAVE**

Présenté par : ANDRIAMANDROSO Miary Maherisoa

Présenté le 09 juillet 2016

Président : RANAIVOSON Léon Félix, Maître de conférences à l'ESPA

Examineurs : RAKOTONINDRAINY, Professeur titulaire à l'ESPA.

FABIEN Remis Roger, Maître de conférences à l'ESPA

Encadreurs : RAVONINJATOVO Achille Olivier, Professeur, Directeur de Recherche Associé
au Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT)

ANDRIANAIVO Lala, Professeur à l'ESPA

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, de m'avoir prêté oreilles attentives, de m'avoir conseillée et guidée, de m'avoir aidée à organiser mes activités, de m'avoir donné la persévérance.

Je tiens aussi à adresser mes vifs remerciement à :

- Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Professeur titulaire, Directeur de l'ESPA, qui a bien voulu m'autoriser à procéder à la soutenance de ce mémoire;
- Monsieur RANAIVOSON Léon Félix, Maître de conférences, Responsable de Mention Ingénierie Minière à l'ESPA qui assure le bon déroulement de notre parcours et nous fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire malgré ses multiples obligations ;
- Monsieur RAVONINJATOVO Achille Olivier, Professeur, Directeur de Recherche Associé au Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), qui a accepté d'être mon encadreur professionnel, et de m'avoir consacré de son temps si précieux et de ses grandes compétences techniques et pédagogiques.
- Monsieur ANDRIANAIVO Lala, Professeur, Responsable de Parcours Géo- Energie à l'ESPA, qui a accepté chaleureusement, malgré ses nombreuses responsabilités, de me guider, de me soutenir et de m'encourager durant la réalisation de ce mémoire ;
- Monsieur FABIEN Remis Roger, Maître de conférences, à l'ESPA, qui malgré ses occupations, a voulu siéger parmi les membres de jury et a fait aussi l'honneur d'examiner ce mémoire.
- Monsieur RAKOTONINDRAINNY, Professeur titulaire à l'ESPA qui, malgré ses multiples obligations, a fait l'honneur d'examiner de ce mémoire.

J'exprime également mes remerciements à :

- Tous les enseignants de l'ESPA, qui ont contribué à la réussite de ma formation par le partage de leurs connaissances, en particulier celle de la mention Géo-Energie ;
- Toute l'équipe du Centre National de Recherches Industrielles et Technologiques (CNRIT), qui m'a aimablement accueilli et m'a offert sa collaboration ayant facilité la réalisation de certains essais en laboratoire ;

- ma famille et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leurs contributions et qui m'a toujours soutenu dans mes études et dans la préparation de mon mémoire.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

Partie I : Etat des connaissances

- I.1. Situation et problématique des déchets dans le monde
- I.2. Système de gestion et valorisation des déchets à Madagascar
- I.3. Situation énergétique à Madagascar
- I.4. L'évolution de la filière fruit à Madagascar
- I.5. Zone d'études

Partie 2 : Matériels, Méthodes et résultats des essais de laboratoire

- II.1. Etudes bibliographiques
- II.2. Matériels de laboratoires utilisés
- II.3. Méthodologies d'étude
- II.4. Résultats des essais de laboratoires

Partie 3 : Perspectives d'application en milieu réel

- III.1. Evolution des ressources en déchets de fruits de la société pour les dix années à venir
- III.2. Conception et description des installations
- III.3. La conversion du biogaz en électricité

Partie 4 : Etude de préfaisabilité économique et rentabilité financière

- IV.1. Objectifs des études de préfaisabilité économique et financière
- IV.2. Etude de rentabilité du projet

Partie 5 : Impacts environnementaux du projet

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: les fruits cultivés à Madagascar	9
Tableau 2: Equivalence énergétique de 1 m3 de biogaz	19
Tableau 3: utilisation du biogaz	19
Tableau 4: formulation en laboratoire	33
Tableau 5: teneur en matière sèche	35
Tableau 6: teneur en carbone et azote	36
Tableau 7: ressources en déchets de fruits de la société pour la première année.....	39
Tableau 8: Evaluation du volume du réacteur pour le mélange de déchets de fruits.....	39
Tableau 9: Fiche technique du générateur électrique.....	43
Tableau 10: Production prévisionnelle en énergie électrique	43
Tableau 11: : Fiche technique du projet	46
Tableau 12: Investissement	53
Tableau 13: charge d'exploitation.....	54
Tableau 14: le chiffre d'affaires de l'exploitation.....	54
Tableau 15: compte d'exploitation.....	55
Tableau 16: récapitulation sur les indicateurs de rentabilité du projet.....	55
Tableau 17: investissement de conversion du biogaz	56
Tableau 18: charges d'exploitation de conversion de biogaz	56
Tableau 19: chiffre d'affaire de conversion du biogaz	57
Tableau 20: compte d'exploitation de la conversion de biogaz en électricité	57
Tableau 21: les indicateurs de rentabilité de la conversion.....	58
Tableau 22 : importance des impacts	66
Tableau 23: Matrice de présentation de l'importance des impacts négatifs du projet sur l'environnement	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1: digesteur à cloche flottante	22
Figure 2: digesteur de laboratoire.....	24
Figure 3: gazomètre.....	24
Figure 4: bac d'immersion	25
Figure 5: bac de récupération	25
Figure 6: régulateur de température	26
Figure 7: étuve Figure 8:balance de précision Figure 9:dessiccateur	26
Figure 10: étuve de séchage	27
Figure 11: broyeur.....	27
Figure 12: erlenmeyer	28
Figure 13: Appareil à distillation	28
Figure 14: agitateur magnétique.....	29
Figure 15: Hotte	29
Figure 16: formulation 2	33
Figure 17: vue générale de l'installation.....	34
Figure 18: résultat de la méthanisation de la formulation 2.....	36

LISTE DES ABREVIATIONS

Ar	Ariary
°C	Degré Celsius
CA	Chiffre d'Affaires
CH ₄	méthane
Cm	centimètre
CNRIT	Centre National des Recherches Industrielle et Technologique
CO ₂	gaz carbonique
CO	monoxyde de carbone
CUA	commune urbaine d'Antananarivo
DRCI	Durée de Récupération de Capital Investi
ESPA	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Gramme
h	heure
Ip	Indice de profitabilité
j	jour
J	Joule
JIRAMA	Jiro sy RAno MAlagasy
kg	kilogramme
km	kilomètre
kwh	kilowattheure
l	litre
MBA	Marge Brut d'Autofinancement
MS	matière sèche
Mw	Mégawatt
NaCl	chlorure de sodium
N ₂	azote

O2	oxygène
PET	polyéthylène Téréphtalate
Ph	potentiel hydrogène
PU	prix unitaire
PVC	polychlorure de vinyle
SCRIMAD	Société de Commerce, de Représentation et d'Investissement de MADagascar
t	tonne
tep	tonne équivalent pétrole
TPN	tôle Plane Noir
TRH	Temps de Rétention Hydraulique
TRI	Taux de Rentabilité Interne
V	voltes
VNA	Valeur Nette Actualisé

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Potentiel solaire et éolienne du littoral sud à Madagascar (NASA)

Annexe 2 : Ile de Madagascar par Codal Madagascar (potentiel en fruit)

Annexe 3 : compte d'exploitation prévisionnel de la conversion de biogaz en électricité

Annexe 4: Cash Flow

Annexe 5: Cash Flow actualisé

INTRODUCTION

La sauvegarde de l'environnement ne concerne pas seulement un continent, un pays, une municipalité mais à chaque citoyen de notre planète. Tout être vivant puise ses besoins dans le milieu qui l'entoure, fait des échanges avec les autres composantes de son environnement et donc engendre des problèmes de gestion de ses déchets.

Au cours des dernières décennies, les questions environnementales ont pris une place de plus en plus importante dans les débats sur le développement. Ce phénomène est lié à la conférence de Stockholm et au sommet de la terre de Rio.

Le terme environnement a trop longtemps considéré comme une donnée des pays riches. Il doit être désormais pris en compte par tous les pays quel que soit leur stade de développement. L'homme en même temps un élément capital de la vie est un grand pollueur et il se pose alors la question de la gestion et de l'élimination de tout ce qu'il rejette comme déchets.

En effet, la croissance démographique et le développement industriel (toujours à la recherche de nouveaux produits qui sont de plus en plus difficiles à biodégrader) s'accompagnent d'une multitude de problèmes dont la production de déchets (domestiques ou industriels) et lorsque ces déchets sont mal gérés, ils sont sources de nombreuses nuisances tant pour le milieu que pour l'homme producteur lui-même.

La société Scrimad sise à Toamasina intervient depuis l'année 1998 dans le domaine de la collecte, du traitement et de l'exportation du litchi. Afin de développer et diversifier l'activité de la société, elle envisage de créer une unité de transformation de fruits en purée surgelée (Madagascar Premium Exotica brand) dans l'optique d'exporter ses produits en Europe auprès de clients déjà identifiés.

Devant cette situation et face au problème de gestion des déchets issus de la transformation de fruit en purée surgelée, plusieurs questions se posent entre autres :

- les déchets de fruit sont-ils valorisables à des fins énergétiques et agronomiques ?
- Existents-ils des technologies fiables et faisables pour la valorisation agro-énergétique de ces déchets ?
- Quels sont les différents avantages que la Société Scrimad peut tirer de son nouveau projet sur le plan financier d'une part et d'autre part du point de vue environnemental ?

Le présent travail de recherche essaie d'apporter des réponses à ces questions et c'est pour cette raison qu'a été choisi le thème de ce mémoire intitulé : «Valorisation agro énergétique des déchets de fruit de la Société Scrimad Tamatave ».

Les démarches méthodologiques effectuées sont des recherches bibliographiques, des analyses au laboratoire, l'exploitation des données et la rédaction du manuscrit.

Ce travail comprend cinq parties :

- la première partie essaie d'apporter diverses informations sur la problématique du déchet à travers le monde et son mode de valorisation. Elle apporte aussi un petit aperçu respectivement sur la situation énergétique et l'évolution de la filière fruit à Madagascar ainsi que la zone d'étude de la recherche.

-La deuxième partie trace les matériels utilisés au laboratoire, la méthodologie adoptée pour la concrétisation de ce travail de recherche ainsi que les résultats issus des travaux de laboratoire relatifs à la technologie de valorisation énergétique des déchets de fruit.

-La troisième partie donne un aperçu sur les perspectives d'application des résultats de labo en milieu réel ;

-la quatrième partie met en exergue l'étude de préfaisabilité économique et la rentabilité financière du projet ;

Et enfin la dernière partie de ce travail de recherche informe sur l'étude d'impact environnemental du projet

PREMIERE PARTIE
ETAT DE CONNAISSANCE

I - PREMIERE PARTIE : ETAT DE CONNAISSANCE

I 1 - SITUATION ET PROBLEMATIQUE DES DECHETS DANS LE MONDE

Les déchets sont devenus actuellement une préoccupation pour tout pays du monde entier car le taux d'accroissement mondial des déchets urbains ménagers dépassera les 70% d'ici 2025 selon le rapport de la Banque Mondiale (6 juin 2012) où une personne génère chaque jour 1,2 kg de déchets.

Pour les pays du nord, les déchets sont devenus une ressource renouvelable car ils disposent des moyens financiers, de personnels qualifiés et des technologies de traitement et/ou de valorisation de déchets à divers fins et utiles à leur propre besoin quotidien. Par contre, pour les pays du sud, les moyens financiers et humains qualifiés dans le domaine du traitement et valorisation des déchets y font défaut et la gestion quotidienne des déchets au niveau des communes urbaine et rurale devient un problème crucial et difficile à gérer. La mauvaise gestion de ces déchets est une menace sérieuse pour l'environnement car c'est une source de germes pathogènes.

L'accroissement de déchets est fonction de la catégorie socio professionnelle de la population. C'est pourquoi les pays riches génèrent plus de déchets face aux pays pauvres.

De plus, selon le degré d'industrialisation d'un pays, les déchets présentent parfois des risques à court, moyen et long terme sur la santé de la population à cause de la technologie de traitement utilisée par l'industrie. C'est le cas de la société SHEERIT d'Ambatovy utilisant le soufre ou l'ammoniac pour le traitement chimique du Cobalt et du Nickel [8].

I 2 - SYSTEME DE GESTION ET VALORISATION DE DECHETS A MADAGASCAR

Dans les pays en voie de développement, la gestion de déchets demande des moyens financiers et de ressources humaines qualifiées dans le domaine de traitement et de valorisation des déchets. Pour Madagascar, le budget de l'Etat assure juste la collecte des déchets au niveau des bacs secondaires et le transport par bennes vers la décharge finale à ciel ouvert. Le traitement ou la valorisation des déchets y fait défaut par manque de personnel qualifié dans le domaine. Le brûlage pur et simple des déchets est la seule technique adoptée pour éliminer le tassement de déchets au niveau de ces décharges finales.

I 2 1- Le système de gestion

A Madagascar, c'est la commune qui est en charge de la gestion des déchets urbains. Pour le cas de la commune urbaine d'Antananarivo, c'est le service autonome de maintenance de la ville d'Antananarivo (SAMVA) sous tutelle de la commune qui assure la collecte et le transport des déchets vers le site de décharge d'Andralanitra. Avant la collecte de la commune, chaque fokontany a ses systèmes de gestion comme utiliser des petits bacs en plastique.

I 2 2- Valorisation des déchets à Madagascar

I 2 2 1- La récupération et recyclage

Après la mise en décharge des déchets, la valorisation et le recyclage ne font pas l'objet d'un projet prioritaire pour le pays. La population vivant près du site de décharge essaie de trouver des moyens de subsistance pour améliorer leur source de revenu. Parmi ces moyens, la collecte des objets ou des produits utiles ou valorisables sont les plus pratiqués pour pouvoir les transformer ou les revendre auprès des entreprises pour être recyclés.

➤ Les matières organiques

La valorisation des matières organiques est faite par des groupements ou des associations qui essaient de vendre des terreaux à des prix dérisoires. Le compostage et la méthanisation restent envisageables mais ce sont des particuliers qui utilisent ces méthodes jusqu'à présent.

➤ Les charbons de bois

Les poudres de charbon sont recyclées en agglomérés

➤ Les matières en plastique

Plusieurs organismes utilisent les matières plastiques telles que :

- le Polyéthylène Tétraphthalate (PET) : qui est recyclé sous forme de bouteilles et acheté par des informels ou par la brasserie Star ;
- les plastiques durs ou plastiques injectés récupérés par les sociétés : SFOI ou Société de Fabrication de l'Océan Indien, la VITAPLAST et PLASTIK 2000 sise à Ankadimbahoaka au prix de 400 MGA/kg. (2011) ;
- les films servant d'emballage industriel qui sont recyclés sous forme de résine par la société SMTP après lavage, séchage et broyage ;
- les films de sacs de marché qui sont recyclés par des centres de tri privés dont le centre de Tri et Valorisation de Déchets (CTVD) à Fianarantsoa du projet FAKOFIA

➤ Les verres

Les verres sont très difficiles à être valorisés. Seule la Brasserie Star d'Antsirabe qui récupère les verres pour les envoyer à la société de cimenterie Holcim pour être utilisé comme adjuvant au ciment

➤ Les métaux

Les Aluminiums sont recyclés pour la fabrication des marmites (cocottes d'Ambatolampy) et des ustensiles de cuisine, les fers sont récupérés et seront vendus dans des fonderies.

➤ Les papiers et cartons

Ceux qui peuvent encore être recyclables sont récupérés par des usines de fabrication de papier ou de cahier et les autres sont transformés en papier hygiénique ; en briquette combustible ; en emballage ; ou en pot pour plante de pépinière.

➤ Les batteries

Le recyclage de batteries usées aboutit à la récupération de plomb, du polypropylène, du sulfate de sodium anhydre (sous forme de produit de qualité détergent pour être vendu aux fabricants de détergent et aux verreries à l'exportation).

➤ Les déchets électrique, électronique et informatique

Ce domaine est maintenant très exploité à Madagascar. Dans tous les coins de rue et même au cœur de la ville existe des petites activités artisanales comme: recharge de cartouches d'encre, récupération d'onduleurs et de batteries, recyclage d'ampoules incandescentes par incorporation de diodes et leds, réparation de téléviseurs, des téléphones et les réparations de matériels électroménagers.

I 2 2 2- La fertilisation à Madagascar

L'utilisation de fertilisant reste traditionnelle à Madagascar. La plupart des cultivateurs utilisent en général les fumiers des fermes (bovin, volailles, porcine,...) et les autres utilisent des engrais chimiques.

Cependant plusieurs technologies peuvent être adoptées pour accroître la productivité telle que l'utilisation des composts. Il existe maintenant des alternatives aux engrais chimiques dont :

- Le lombric-compost
- Le GUANOMAD
- L'engrais vert
- Et d'autre formulation par compostage

I 3 - SITUATION ENERGETIQUE A MADAGASCAR

L'énergie est un des moteurs de développement pour un pays. Madagascar possède des multiples ressources énergétiques qui sont encore sous exploitées.

I 3 1- Le potentiel énergétique exploitable à Madagascar

➤ L'énergie renouvelable

Le potentiel de l'énergie renouvelable reste encore peu valoriser dans le pays. Les énergies solaire, éolienne ou hydraulique sont disponibles à Madagascar. Le potentiel hydraulique est estimé à 7 800 MW, or seuls 105 MW sont pour le moment exploités (source : Fondation Energie pour le monde à Madagascar 2010).

L'île bénéficie d'un gisement solaire de 2 000 kWh/m².an et d'un ensoleillement supérieur à 2 800 heures par an sur toutes les régions du pays (*cf* annexe I). Le potentiel éolien est rationnel avec une vitesse de vent moyenne de 6 à 9 m/s à 50 mètres de hauteur. Il existe également quelques ressources d'énergie géothermique, et la valorisation de la biomasse issue des déchets agricoles et agro-industriels est possible.

Malgré la disponibilité des ressources en énergies renouvelables et un cadre législatif désormais clair et favorable, peu de programmes ont été mis en place pour leur exploitation. Faute du coût de production plus élevée que l'utilisation thermique et l'exploitation de la forêt et de ses dérivées, l'énergie renouvelable reste au stade de prototype.

➤ Le pétrole

Le pétrole est une principale ressource énergétique dans le monde et occupe une grande partie de la production d'électricité à Madagascar. Le pays dispose un grand potentiel de ressources non conventionnelles comme le schiste et le sable bitumineux à Bemolanga et le pétrole lourd à Tsimiroro. Pourtant, le pétrole du pays est exploité et exporté par des sociétés étrangères et l'Etat ne reçoit que des pourcentages et par conséquent subit toujours les impacts des fluctuations de l'instabilité et de la crainte de rupture d'approvisionnement.

➤ Le charbon

Madagascar possède plusieurs bassins riches en charbon dont ceux de Sakoa et d'Imaloto dans le sud ouest du pays.

I 3 2- La consommation d'énergie à Madagascar

Les industries consomment 45% des énergies à Madagascar et les ménages représentent 25% des dépenses. L'utilisation des énergies renouvelables reste seulement à 1% de l'ensemble de

l'énergie utilisée dans le pays et jusqu'à ce jour, 99% des ménages profitent l'exploitation des bois pour la cuisson, et 81% ont recours aux lampes en pétrole pour l'éclairage. (Diagnostic du secteur énergie à Madagascar, 2012).

I 3 3- Taux d'électrification

Le taux d'électrification au niveau national est actuellement estimé à 15% dont la majoritaire en milieu urbaine. La JIRAMA n'arrive pas encore à résoudre le problème d'électrification dans le pays. La production des centrales thermiques ne suffit pas et engendre même d'autres dépenses en devises pour l'achat des carburants. Les énergies renouvelables n'assurent que 30% de la production, malgré un potentiel hydroélectrique significatif. (Diagnostic du secteur énergie à Madagascar 2012)

I 4 - EVOLUTION DE LA FILIERE FRUIT A MADAGASCAR

I 4 1- Historique

À Madagascar, il n'y a que peu d'espèces de fruit endémique. La plupart ont été introduites des autres pays au cours du XIX^e siècle.

Jusqu'en 1970 : les travaux de recherche de l'ex-IRAM, poursuivis par FOFIFA jusqu'à une certaine période, en matière d'amélioration variétale (introduction, essais de comportement et d'adaptations variétaux surtout). Des Stations Agronomiques ont été adoptées spécialement aux cultures fruitières et légumières : Station Agricole de Nanisana Antananarivo (fruits et légumes tempérés), Ambohitsilaozana Alaotra (fruits semi-tropicaux), Ivoloina Toamasina (fruits tropicaux humides), Betanimena Toliara (fruits tropicaux secs), Antsirabe (fruits et légumes tempérés)... Ces stations ont possédé des pépinières de collection et produit des plantes fruitières, puis ont peu à peu disparu, faute de moyens financiers et par faible intérêt des responsables. (*Source* : MAEP UPDR – VALY Agri développement).

I 4 2- Potentialité

Grâce à ses potentialités agro-climatiques, Madagascar cultive la plupart des espèces fruitières tant tropicales que tempérées, même si elles ont toutes été introduites.

L'originalité de l'Ile de Madagascar, permet que les fruits, les épices, malgaches demeurent jusqu'à ce jour toujours cultivées naturellement, de manière traditionnelle, sans traitements chimiques ni pesticides, au sein de petites exploitations familiales. (Codal Madagascar)

Le tableau 1 représente les fruits cultivés à Madagascar :

Tableau 1: les fruits cultivés à Madagascar

Fruits	Saison de récolte	Zone
Climat tropical		
Litchi	Novembre- janvier	Toute la côte Est
Papaye	Presque pendant toute l'année	Tamatave Itasy Mahajanga
Mangue	Juillet- octobre	La côte Nord Ouest Les hautes terres
Caju	Juillet- octobre	Nord Est et nord Ouest
Citrus et orange	Janvier- avril	Presque dans toute l'île
Goyave	Avril-juin	Presque dans toute l'île
Avocat	Fevrier-mars	Cote orientale et sur le plateau
Ananas	Décembre –fevrier	Itasy
Banane	Presque toute l'année	Dans tout Madagascar
Climat tempéré		
Pêche et prune et abricot	Octobre-janvier	Imerina et betsileo
Poire	Janvier – avril	Antsirabe
Pomme	Janvier – avril	Hautes terres
Bibasse	Juin-aout	Tana et Antsirabe
Raisin	Octobre- janvier	Betsileo
Fraise	Juin- Aout	Tananarive
Kaki	Mars- Avril	Antananarivo- Antsirabe

Source : Auteur 2016

I 4 3- Les industries de transformation et d'exploitation de fruit à Madagascar

Dans le plan économique, les fruits tropicaux et tempérés jouent un rôle très important par l'importation ou par transformation. Plusieurs sociétés (anonyme ou non) de transformation et d'exportation profitent de la richesse en fruit dans le pays dont la liste suivant en fait partie :

- Fruit de Madagascar
- Codal (Antananarivo)
- SODEAM (Antananarivo)
- Scrimad (Tamatave) : litchi
- Dzama (Antananarivo) : canne à sucre
- Lazan'ny Betsileo (Fianarantsoa) : raisin
- Confiserie de l'arche de Noe (Talatamaty) : confiserie à base de fruit
- Fagnimbogna (Manakara) : vente et production de produit locaux : fruit tropicaux
- Agroman SA (Antananarivo) : litchi, banane, combavas, citron

I 5 - ZONE D'ETUDE

I 5 1- Présentation de la société SCRIMAD

SCRIMAD est une société créée en 1998 à Madagascar dont la principale activité consiste en la collecte, le traitement et l'exportation de litchi. La société est dirigée par son fondateur, Simon Rakotondrahova.

Afin de développer et diversifier l'activité de la société, le projet actuel de SCRIMAD est de créer une unité de transformation de fruits en purée surgelée (Madagascar Premium Exotica brand). L'entreprise se fournira en fruits frais auprès d'organisations paysannes partenaires qu'elle accompagnera, fera la transformation en purée de fruit surgelée au sein d'une unité de transformation à construire sur le site actuel de SCRIMAD et exportera ses produits d'abord en Europe auprès de clients déjà identifiés puis auprès d'autres clients suivant le résultat des prospections en cours.

I 5 2- Les produits et les processus

Les fruits qui seront exploités seront principalement l'ananas, le corossol, le fruit de la passion, la goyave, le lait de coco, le litchi, la mangue, le tamarin et la papaye. Les produits seront certifiés Global Gap, Fair Trade et BIO. Également appelée « pulpe », la purée de fruits est composée de fruits cueillis à maturité, broyés finement, auxquels sont ajoutés éventuellement du sucre (de l'ordre de 10%) pour retarder l'oxydation une fois la purée décongelée. Elle remplace le fruit frais, offrant ainsi praticité, gain de temps, sécurité alimentaire, maîtrise des coûts et qualité constante en toute saison.

La purée de fruits, contrairement à la purée de légumes, n'est pas cuite : il s'agit de purée de fruits crus. Elle se distingue ainsi de la compote. Le processus industriel à mettre en œuvre dans l'unité de transformation comporte les caractéristiques suivantes :

- Les processus techniques sont les suivants : lavage, décorticage, extraction, préchauffage, affinage, pasteurisation, conditionnement et surgélation.
- Pour la production de chaleur (chaudière), la puissance prévue sera de 200 KW : elle sera en mesure de fournir la chaleur nécessaire au blanchisseur, au préchauffeur et au pasteurisateur. Afin d'économiser du gaz, un boiler chauffé avec des capteurs solaires est prévu, avec un circuit fermé.
- Pour l'électricité, le pic de consommation de l'unité sera de 25 kW. (Un onduleur assurera la tension régulière d'alimentation et un générateur de puissance suffisante sera installé afin de pallier aux ruptures fréquentes d'alimentation électrique.)

Le besoin énergétique pour la surgélation est estimé à 6 kW de puissance, ce qui demande à être confirmé par un spécialiste frigoriste en fonction des débits, type de chambre de stockage, manutention

I 5 3- Identification des sources d'efficacité énergétique et des possibilités en matière d'énergie renouvelable

Au sein de l'unité de transformation seront installés de nombreux systèmes consommateurs d'énergie (chaudière par exemple). Afin d'améliorer la performance énergétique de la future installation, SCRIMAD souhaite identifier les possibilités en matière d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable.

Les objectifs spécifiques sont :

- Une vérification de la prise en compte des enjeux d'économie d'énergie dans la sélection des équipements
- identification des gisements additionnels en matière d'économies d'énergie et d'énergie renouvelable, notamment sur les processus et équipements suivants : chauffage (possibilité d'utiliser des capteurs solaires) et récupération de chaleur, production de froid (surgélation des produits), générateur d'électricité (hybride solaire/diesel), production éventuelle de biogaz à partir des déchets de fruits, conception des bâtiments, éclairage et climatisation et des autres procès/ équipements : air comprimé, moteurs, etc.

CONCLUSION PARTIELLE I

La valorisation des déchets reste encore autour des recyclages et de récupération pour Madagascar alors que plusieurs autres moyens sont possibles.

Les alternatives comprenant la valorisation en termes d'énergies et d'agronomie sont en cours pour leur élaboration. Ces techniques s'avèrent très intéressantes parce qu'ils contribuent à la production d'une source d'énergie renouvelable ainsi que la production de fertilisant.

Cette première partie permet de réunir l'information sur la potentialité en terme de production de fruits, d'énergie et de fertilisant à Madagascar. Elle permet aussi de caractériser la gestion et la valorisation des déchets au niveau du site du projet.

Afin de résoudre les problèmes de gestion de déchets, la deuxième partie sera orientée sur la technique de valorisation des déchets de fruits. Ainsi, les matériels, les méthodes et les résultats d'une étude en laboratoire comprendront cette partie.

DEUXIEME PARTIE
MATERIELS, METHODES ET RESULTATS
DES ESSAIS DE LABORATOIRE

II - DEUXIEME PARTIE : MATERIELS, METHODES ET RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

II 1 - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

II 1 1- Quelques définitions

II 1 1 1- Déchets

Selon l'Article 1 de la loi du 15 juillet 1975, modifiée par la loi n°92-646 du 13 juillet 1992 : Est un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit... que son détenteur destine à l'abandon.

Selon la directive européenne du 18 mars 1991 :

Toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire.

II 1 1 2- Digesteur

Nom donné au réacteur chimique où se déroule la fermentation des déchets à forte teneur en matière organique. Ce réacteur est composé d'une cuve cylindrique étanche au gaz et isolée thermiquement. (Dictionnaire environnement)

II 1 1 3- Digestats

Ce sont les résidus, ou déchets « digérés », issus de la méthanisation des déchets organiques. Le digestat est constitué de bactéries excédentaires, matières organiques non dégradées et matières minéralisées. Après traitement il peut être utilisé comme compost. (Dictionnaire environnement)

II 1 1 4- Méthanisation

Traitement naturel des déchets organiques qui conduit à une production combinée de gaz convertible en énergie (biogaz), provenant de la décomposition biologique des matières organiques dans un milieu en raréfaction d'air (appelée « fermentation anaérobie » car sans oxygène. La méthanisation concerne plus particulièrement les déchets organiques riches en eau et à fort pouvoir fermentescible (fraction fermentescible des ordures ménagères, boues de station d'épuration, graisses et matières de vidange, certains déchets des industries agroalimentaires, certains déchets agricoles). (Dictionnaire environnement)

II 1 1 5- Biogaz

Gaz résultant du processus de dégradation biologique des matières organiques en l'absence d'oxygène. Il contient une forte proportion de méthane (50 %) et possède donc un fort potentiel calorifique et énergétique.

II 1 1 6- Compost

Produit issu du compostage des déchets. Il peut être utilisé comme amendement organique, améliorant la structure des sols, ou comme engrais nourrissant les plantes.

II 1 2- Classification des déchets

II 1 2 1- Déchets biodégradables

Ce sont des déchets compostables (résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires...), qui s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour une partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc., selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, compostage, amendements, engrais...) (RECORD, 2003).

II 1 2 2- Déchets recyclables

Les déchets recyclables (matériaux de construction, métaux, matières plastiques...) : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible... (RECORD 2003).

II 1 2 3- Déchets ultimes

Les déchets ultimes qui « ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge (RECORD 2003)

II 1 2 4- Déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux (DIS), à la différence du déchet banal peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment. Les déchets radioactifs en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. On les classe aussi selon leur durée de vie (RECORD).

II 1 2 5- Déchets municipaux

Les déchets municipaux regroupent les ordures ménagères définies comme étant les résidus de la vie domestique auxquels s'ajoutent divers types de déchets selon les modes de collecte : déchets de la voie publique, déchets encombrant de ménages, déchets verts, déchets de bureaux, déchets de certaines petites et moyennes entreprises et petites et moyennes industries (RECORD).

II 1 2 6- Déchets dangereux

Les déchets dangereux englobent les produits chimiques toxiques et les substances inflammables, radioactifs ou biologiques. Ces déchets peuvent se présenter sous la forme de boue, de liquide, de gaz ou de solide. Les substances radioactives sont dangereuses car une exposition prolongée, leur rayonnement ionisant provoque souvent des lésions chez les organismes vivants et ces substances restent actives très longtemps. La gestion des déchets radioactifs dangereux est soumise à une réglementation stricte.

II 1 3- Les déchets de la société

Les déchets et effluents souvent fortement chargés sont produits au cours des processus suivants:

- eaux de lavage des fruits avant pressurage;
- pulpes fraîches après pressurage;
- refus de filtration et clarification durant le traitement du moût;
- sous-produits de productions spéciales.
- produits avariés ou imparfaits.

II 1 4- Système de valorisation agro énergétique des déchets de fruits

Les déchets de fruits peuvent être valorisés de façons agronomique et énergétique en utilisant le processus de la méthanisation et en récupérant le digestat en tant que fertilisant agricole ou en tant qu'activateur de compostage pour produire du compost.

II 1 4 1- La méthanisation et la production de biogaz

a- Définitions

➤ Méthanisation par fermentation sèche et liquide

La méthanisation en voie liquide permet de prendre en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche est inférieure à 18% tandis que la méthanisation en voie sèche prend en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche est supérieure à 18%.

30%. Les techniques adoptées pour ces différentes matières sont très différentes mais le principe biologique est le même. [9]

➤ **Méthanisation continue ou discontinue**

Pour le système discontinu, le digesteur est chargé de matière puis fermé hermétiquement. Les matières se dégradent pendant une durée de fermentation de 2 à 4 semaines. Ensuite le digesteur est vidé. Le volume de biogaz produit et sa composition dans le temps ne sont donc pas constants. Alors que pour le système continu, le digesteur est chargé quotidiennement de matière fraîche. [9]

b- Principes de méthanisation

- la méthanisation doit être réalisée dans des conditions anaérobies.
- la digestion anaérobie est un processus biologique de dégradation qui permet de transformer des substrats organiques complexes en molécules contenant un seul carbone, telles que le méthane (CH₄) et le dioxyde de carbone (CO₂).
- le processus se déroule en quatre phases distinctes, chacune se développe en absence d'oxygène.

Etape 1 et 2 : Hydrolyse et acidogénèse

Dégradation des polymères en monomères puis acides gras volatiles. C'est une étape qui peut être améliorée par un prétraitement, mais les blocages sont assez rares en pratique.

Etape 3 : Acétogénèse

Transformation de l'hydrogène et du dioxyde de carbone en acide acétique. Cette étape est très rapide par rapport aux autres.

Etape 4 : Méthanogénèse

Formation de méthane soit par dégradation de l'acide acétique (70 % de la production), soit par réduction du CO₂ par l'hydrogène (30 % de la production).

c- Les facteurs théoriques influençant la digestion

Les facteurs théoriques influençant la digestion, résultant de la considération de la biomasse face au substrat à digérer, sont les suivants : la charge, le pH, le couple température - temps de séjour.

➤ La charge

La charge d'un digesteur s'obtient en rapportant le poids des matières volatiles introduites au volume du digesteur. Elle s'exprime en kg de MV/m³ et permet d'apprécier la quantité de

matières nutritives introduites par rapport à la biomasse présente. Toute variation importante de charge perturbe la digestion et peut entraîner son blocage.

➤ Le pH

C'est l'un des plus importants facteurs d'adaptation des populations bactériennes. Les bactéries acétogènes restent actives jusqu'à un pH de 5, mais les bactéries responsables de la méthanisation sont inhibées dès que le pH descend en-dessous de 6,2. C'est pourquoi la zone théorique optimale de pH à respecter s'étend de 6,8 à 7,2.

➤ La température

La digestion anaérobie se décline sous trois types différents suivant la température :

- si la température inférieure à 15°C, la digestion est de type psychrophile,
- si la température est comprise entre 28 et 40°C, la digestion est de type mésophile,
- si la température est supérieure à 45°C, la digestion est thermophile.

Les procédés mésophiles sont les plus répandus.

➤ Le couple température – temps de séjour

Le temps de séjour (ou temps de rétention hydraulique TRH) est la durée théorique pendant laquelle le volume de déchets de fruit séjourne dans le digesteur. Il s'obtient en divisant le débit de déchets entrant en digestion par le volume du digesteur.

La température doit être gardée constante pour éviter une perturbation de la digestion. En effet, les bactéries méthanogènes sont particulièrement sensibles à toute variation de température, même de l'ordre de 1°C par jour.

Température et temps de séjour sont deux facteurs liés. En effet, une élévation de température entraîne une activation des réactions d'acétogénèse, de méthanisation et de croissance des bactéries. Il en découle une diminution du temps de séjour nécessaire à la stabilisation et une augmentation de la production de gaz.

d- La composition chimique de biogaz

L'intérêt lors de l'étude de la composition chimique de biogaz porte essentiellement sur les constituants principaux : le CO₂, l'O₂, le N₂ et en particulier le CH₄ dont la combustion produit de la chaleur 9400 kcal/m³.

e- Pouvoir calorifique et équivalence énergétique

Le tableau 2 représente l'équivalence énergétique de 1m³ de biogaz

Tableau 2: Equivalence énergétique de 1 m³ de biogaz

Sources d'énergie	Equivalence 1 m ³ de gaz brut (5 500 kcal)	Equivalence de 1 m ³ de gaz épuré (8 500 kcal)
Essence	0,730 l	1,100 l
Alcool	1,100 l	1,700 l
Carbure de CaCO ₃	1,700 kg	2,700 kg
Gasoil ou FOD	0,650 l	1,000 l
Gaz naturel	0,610 l	0,930 m ³
Charbon de bois	1,240 kg	1,900 kg
Energie électrique	6,200 kWh	9,400 kWh
Charbon	0,820 kg	1,250 kg

Source: HUU ANG DUO, 1974 in RAMAMPIHERIKA, 1997

f- Utilisation de biogaz

Le biogaz peut être utilisé comme source d'énergie pour des usages familiaux, agricoles ou même industriels. Il peut être utilisé soit directement comme combustible, soit comme source d'autres types d'énergie, mécanique ou électrique selon les besoins (tableau 3).

Tableau 3:utilisation du biogaz

Cuisson	L'utilisation du biogaz comme combustible pour la cuisson nécessite des brûleurs spécialement conçus à cet effet, ou bien des brûleurs fonctionnant au propane et au butane mais adaptés, en jouant sur le diamètre du gicleur et sur l'entrée d'air.
Éclairage	L'utilisation du biogaz pour l'éclairage nécessite des lampes à manchon avec une lumière douce. Le gaz qui brûle au bout d'un diffuseur sur lequel est appliqué un manchon, produit la chaleur nécessaire pour porter ce dernier à incandescence, et le faire rayonner.
Réfrigération	Le biogaz peut être utilisé par le réfrigérateur à absorption moyennant un brûleur à basse pression.

Source : auteur 2016

g- Stockage

Pour stocker le biogaz, il doit d'abord être injecté dans le réseau de gaz naturel. Il doit donc passer par de nombreux traitements préalables pour obtenir une qualité équivalente au gaz naturel (biométhane, taux de méthane jusqu'à 98 %). (renewable-made in Germany). Ce traitement reste encore très coûteux que pour les petites installations à des utilisations domestiques, le gazomètre (le dôme) est le seul moyen de stockage.

II 1 4 2- Traitement des digestats par compostage

La matière découlant du processus de méthanisation est nommée « digestat ». Bien souvent, le digestat est considéré comme un déchet. Et pourtant, le fait d'être enfermé dans une fosse pendant quelques jours, le digestat subit le processus de compostage anaérobie. Il est donc considéré comme un compost grâce à une décomposition lente dans le digesteur. Les qualités des digestats : absence de plastiques, verre, ..., absence de toxicité vis-à-vis des cultures (phytopathologie) et efficacité agronomique aux champs.

a- Les différents types de compostage

➤ Le compostage en tas

Ayant comme matière première les déchets provenant de la préparation des légumes, les pailles, et les fumiers... Le principe c'est de mettre 20 à 40 cm de couche en superposé ou latérale. Le compostage en tas peut être en couche superposée ou en couche latérale.

➤ Le compostage en surface

Au lieu d'être composté en tas, les matières organiques telles que les résidus de récolte en maraîchage, les engrais verts subissent une dégradation sur place. La technique de compostage en surface: consiste à broyer les matières premières sur place avant de les incorporer à la couche superficielle du sol. Un séchage de résidus broyés doit être effectué avant l'incorporation. Il est recommandé d'assurer entre l'incorporation et la mise en place de la nouvelle culture un délai dont la durée dépend de la température, le type de sol, la rotation de culture et le type de matières premières

➤ Le Mulching

Le mulching consiste à laisser les matières premières en surface et non incorporées à la couche superficielle du sol comme le compostage en surface. Les avantages de cette technologie sont:

- Régulation de la température du sol;

- Régulation de l'humidité;
- Réduction de l'érosion;
- Amélioration de l'activité des sols, donc des besoins en engrais;
- Inhibition de la germination des mauvaises herbes voire même dans certains cas: effet herbicide;
- Amélioration de la structure du sol

b- Le processus de compostage

➤ **Processus Anaérobie**

Elle consiste à poser dans la fosse de 1 m de profondeur couche par couche de 20 cm d'épaisseur des déchets végétaux et des excréments d'animaux alternativement et les couvrir avec de la terre.

La condition anaérobie est obtenue par le fait d'ajouter assez d'eau. C'est une décomposition lente. Le compost prêt à l'utilisation après 6 mois.

➤ **Processus Aérobie**

Processus aérobie consiste à ranger toutes les matières premières à composter dans la compostière.

La condition aérobie est obtenue par le fait d'utiliser plusieurs retournements des tas ainsi que des arrosages fréquents suivant le degré d'humidité des tas de compost. Le processus aérobie peut être divisé en trois phases: phase de dégradation, de transformation et de maturation

Phase de dégradation : la température au centre du tas de compost peut atteindre jusqu'à 70°C (nécessaire pour la destruction des germes pathogènes et des graines des mauvaises herbes). Les activités microbiennes sont assurées par les décomposeurs primaires tels que: les champignons, les bactéries et les actinomycètes.

Phase de transformation : la température s'abaisse considérablement. Les activités microbiennes sont assurées par d'autres bactéries ou champignons autres que les décomposeurs primaires (assurant la décomposition)

Phase de maturation: la température se stabilise aux environs de la température ambiante. Les matières organiques deviennent stables et il y a ensuite une apparition : des vers de terre, des ascaris et des collemboles. Rapport C/N = 10 (selon la FAO).

II 1 5- Les technologies des biodigesteurs

Les digesteurs peuvent être de type expérimental de laboratoire ou digesteur d'exploitation selon leur dimension. Selon leur style de conception et le type des substrats, les digesteurs peuvent être à chargement discontinu, semi-continu et/ou continu ou aussi des digesteurs liquides et des digesteurs solides.

Il existe plusieurs types d'installations de digesteurs, selon le type et l'abondance des substrats : digesteurs à cloche flottante, digesteurs à dôme fixe, digesteurs Borda...etc

II 1 5 1- Digesteurs à cloche flottante

C'est un modèle de digesteur dont le réservoir de stockage de gaz est une cloche se situant à la partie supérieure et flotte grâce à l'anneau d'eau d'étanchéité (figure 1). La chambre de digestion est en dessous, la construction est simple et ne nécessite pas de main d'œuvre spécialisée.

Le contrôle de la digestion est facile, la pression de gaz stable, l'alimentation en matière organique et la sortie des résidus de la fermentation ne requiert pas de manutention. L'unique inconvénient de ce type de digesteurs réside dans le coût élevé du réservoir de gaz.



Figure 1: digesteur à cloche flottante

II 1 5 2- Digesteurs à dôme fixe

Pour les digesteurs à dôme fixe, le gaz est emmagasiné à la partie supérieure hémisphérique de la chambre de digestion. Le dôme doit être hermétique au gaz, ainsi il peut être revêtu d'un enduit mortier et d'un enduit à base de silicate de sodium.

L'un des principaux problèmes des digesteurs à dôme fixe est la fuite de gaz. Par contre, la simplicité est son principal avantage qui fait essentiellement appel à des matériaux de construction généralement disponibles localement même dans les pays les plus démunis.

Un autre inconvénient également réside dans la nécessité d'alimenter manuellement le digesteur en matière organique fraîche de même pour le transfert des boues fermentées.

II 1 5 3- Le digesteur Borda

Il s'agit d'un digesteur combinant les avantages des digesteurs indiens cylindriques à cloche flottante et des digesteurs à dôme fixe. La chambre de digestion est sphérique avec une partie cylindrique au sommet du dôme renfermant un réservoir de stockage de gaz flottant.

II 1 5 4- Autres types de digesteurs

D'autres types de digesteurs existent également et sont utilisés au même titre que ceux cités précédemment :

- Digesteurs à dôme fixe améliorés ;
- Digesteurs type canal " breadloaf " ;
- Digesteurs type lagon avec couvercle plastique ;
- Digesteurs type sac plastique ;
- Digesteurs à ballons séparés ;

Il existe encore d'autres modèles de digesteurs qui n'y sont pas mentionnés sur cette liste.

II 2 - LES MATERIELS DE LABORATOIRE UTILISEES

II 2 1- Matériels utilisé pour la production de biogaz en laboratoire

Le dispositif expérimental est constitué des parties suivantes :

- Le digesteur de laboratoire (figure2):

Il est d'une capacité de 5 litres. Le digesteur est muni d'un tuyau qui va conduire le gaz dans le gazomètre.



Figure 2: digesteur de laboratoire

➤ Le gazomètre (figure3):

Il permet de récupérer les gaz provenant du digesteur par l'intermédiaire d'un tuyau. Il est aussi muni d'un tuyau d'alimentation et d'un tuyau de sortie d'eau pour pouvoir mesurer le volume du gaz récupéré.



Figure 3: gazomètre

- Resistance chauffante en spirale : elle est immergée dans l'eau dans laquelle sont placés les digesteurs. Elle assure le chauffage de l'eau et règle la température
- Bac d'immersion des digesteurs (figure 4) : une grande cuve capable de contenir environ 8 digesteur de laboratoire, remplie d'eau jusqu'au 2/3 de sa capacité eau et chauffée par la résistance afin de réguler la température à l'intérieur des digesteurs.



Figure 4: bac d'immersion

- Bac de récupération (figure 5): c'est une grande cuve de forme cubique, de capacité d'environ 30 litres, et muni d'une ouverture en dessous lui permettant de se connecter aux gazomètres à l'aide de tuyaux de sortie d'eau.



Figure 5: bac de récupération

- Enregistreur de température (figure 6) : elle permet de régulariser la température entre 32 à 35 °C



Figure 6: régulateur de température

1.1.1. Les matériels utilisés pour l'analyse de teneur en matière sèche

Pour l'analyse de teneur en matière sèche, les matériels utilisés sont : une étuve qui permet le séchage des substrats pendant l'analyse de teneur en matière sèche, une balance de précision et un dessiccateur (figure 7, 8, 9).



Figure 7: étuve



Figure 8:balance de précision



Figure 9:dessiccateur

II 2 2- Les matériels utilisés pour l'analyse C/N

- Etuve pour le séchage (figure 10)



Figure 10: étuve de séchage

- Un broyeur (figure 11): il sert à broyer les déchets de fruits après le séchage.



Figure 11: broyeur

- Un erlenmeyer(figure 12) : récipient en verre constitué d'un col cylindrique étroit et d'une base conique.



Figure 12:erlenmeyer

- Une balance de précision
- Appareil à distillation (figure 13) : il permet de séparer les mélanges homogènes de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes.



Figure 13:Appareil à distillation

- Agitateur magnétique (figure 14) : cet appareil permet de remuer la solution dans le récipient, il est constitué d'un barreau magnétique en association ou non avec une plaque chauffante et d'un aimant mis en rotation par un moteur à vitesse variable.



Figure 14: agitateur magnétique

- Hotte (figure 15) : un dispositif qui permet l'extraction des vapeurs toxiques des produits utilisés lors de manipulation en laboratoire



Figure 15: Hotte

II 3 - METHODOLOGIE D'ETUDE

La méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail de recherche est à la fois qualitative et quantitative. Sa concrétisation à terme nécessite à priori par le passage à travers les différentes étapes d'activités suivantes :

- La recherche des documents bibliographique et webographique concernant les déchets de fruits, le biogaz et la valorisation des déchets de fruit à des fins énergétique et agronomique.
- Le choix et l'analyse des échantillons de déchets de fruits ;
- Les essais de valorisation des échantillons de déchets de fruits au laboratoire Energétique du CNRIT
- La détermination du dimensionnement du biodigesteur et prospection en milieu réel
- L'Etude financière du projet ;
- La rédaction du mémoire

II 3 1- Traitement biologique en laboratoire des déchets de fruits

Tout déchet peut être valorisé si le rapport Carbone sur Azote (C/N) et la teneur en Matière Sèche (MS) sont connus

II 3 1 1- Analyse carbone/ azote

L'analyse de Carbone sur Azote (C/N) permet de savoir si le déchet est valorisables. Si C/N supérieur à 10 le déchet est valorisable.

a- Azote KJELDAHL

Principe : chauffer la substance avec de l'acide sulfurique concentré qui à ébullition, détruit les matières organiques azotées. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO_2 et H_2O . L'azote transformé en ammoniaque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. K_2SO_4 permet d'élever la température d'ébullition de H_2SO_4 jusqu'à 430°C . CuSO_4 sert de catalyseur. NH_3 est ensuite déplacé par une solution d'hydroxyde de sodium entraîné à la vapeur et fixé à l'état de borate, lequel est dosé par une solution titrée d'acide sulfurique.

Mode opératoire :

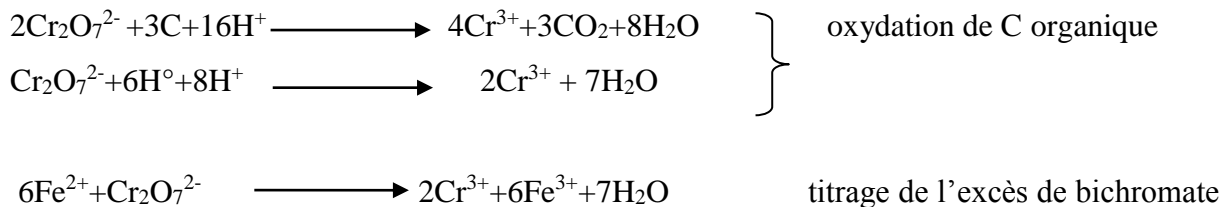
Minéralisation de l'azote organique : dans une tube de digestion, introduire successivement 0,1g de la substance, le catalyseur de minéralisation et 10ml d'acide sulfurique concentré. Chauffer fortement (environ 430°) pendant 30 minutes. Après refroidissement, transvaser le

contenu du tube de digestion dans une fiole de 50ml. Ajuster au trait de la jauge avec de l'eau distillée.

Distillation de l'azote : dans l'appareil à distillation, introduire 10ml de la prise d'essai et 10ml de la solution de soude. Recueillir le distillat dans un erlenmeyer de 125ml contenant 20ml de la solution d'acide borique. Effectuer le dosage avec une solution d'acide sulfurique. Un témoin est préparé dans les mêmes conditions.

b- Carbone organique : méthode de Walkley et Black

Principe : les carbones organiques sont oxydés par un excès d'une solution de bichromate de potassium en milieu acide. L'excès sera ensuite déterminé à l'aide d'une solution de sulfate ferreux. Les réactions correspondantes seront les suivantes :



Mode opératoire:

Peser à peu près 0.5g d'échantillons et le mettre dans un erlenmeyer de 250ml ; ajouter 10ml de bichromate de potassium 1N (normal) et faire tourner l'erlenmeyer pour faire disperser les échantillons dans la solution. Ensuite ajouter rapidement 20ml de H₂SO₄ concentré. Tourner puis agiter vigoureusement pendant 1minute. Laisser reposer pendant 30mn ; ajouter 200ml d'eau distillée ; ajouter 4 gouttes d'orthophénantroline (indicateur coloré) et titrer la solution avec FeSO₄ 0,5N (agitateur magnétique). La fin de la réaction s'observe par le virage d'une coloration verte intense au rouge violacé. Faire un essai en blanc dans les mêmes conditions.

II 3 1 2- Détermination de la teneur en Matière sèche(M.S)

La teneur en matière sèche permet de savoir si les déchets sont valorisables ou pas. Si la teneur est supérieure à 2%, le déchet est valorisable.

Le principe :

Les échantillons sont séchés jusqu'à masse constante à (105 ± 5) °C. La différence de masse avant et après séchage sert de mesure pour la teneur en matière sèche. Ces teneurs sont exprimées en pourcentage de masse.

Mode opératoire:

Peser le récipient m_0 et peser le récipient avec échantillons m_1 . Mettre l'échantillon sur un récipient à 105 ± 5 °C dans une étuve pendant 16 à 24 heures. A la sortie, le mettre dans le dessiccateur et le laisser refroidir durant 45 minutes minimum; peser le après refroidissement m_2 .

II 3 2- Formulation dans les digesteurs de laboratoire**II 3 2 1- Préparation des substrats (déchets de fruits)**

Avant la mise en place des substrats dans le digesteur de laboratoire, les déchets de fruit sont découpés en petits morceaux pour faciliter non seulement la dégradation par les bactéries des substrats mais aussi d'accélérer le processus de production de gaz.

II 3 2 2- Le temps de rétention hydraulique (TRH)

Le temps de rétention hydraulique est le temps de séjour du substrat dans le digesteur. pour ce travail de recherche, le TRH a été fixe a 30 jours.

II 3 2 3- Les formulations

Pour ce travail de recherche, quatre formulations différentes ont été effectuées au laboratoire du CNRIT :

- Formulation n°1 : elle est constituée par 750 grammes des mélanges de déchets dont 40% de papaye, 20% de litchi, 30% d'ananas et de 10% de corossol
- Formulation n°2 : elle est constituée par 1000 grammes des mélanges de déchets dont 45% de papaye, 40% d'ananas et de 15% de corossol.
- Formulation n°3 : elle est formée par des déchets de papaye
- Formulation n°4 : constituée par des déchets d'ananas

L'objectif de ces quatre formulations est de déterminer celle fournissant un meilleur rendement de production de gaz. Le tableau 4 récapitule les caractéristiques techniques de chaque formulation.

Tableau 4: formulation en laboratoire

Digesteur	Substrats	Poids(g)	Eau(l)
N°1	Mélange (papaye, litchi, ananas, corossol)	750	3
N°2	Mélange (papaye, ananas, corossol)	1000	3
N°3	Déchets de papaye	1000	3
N°4	Déchet d'ananas	750	3

Source : auteur 2016

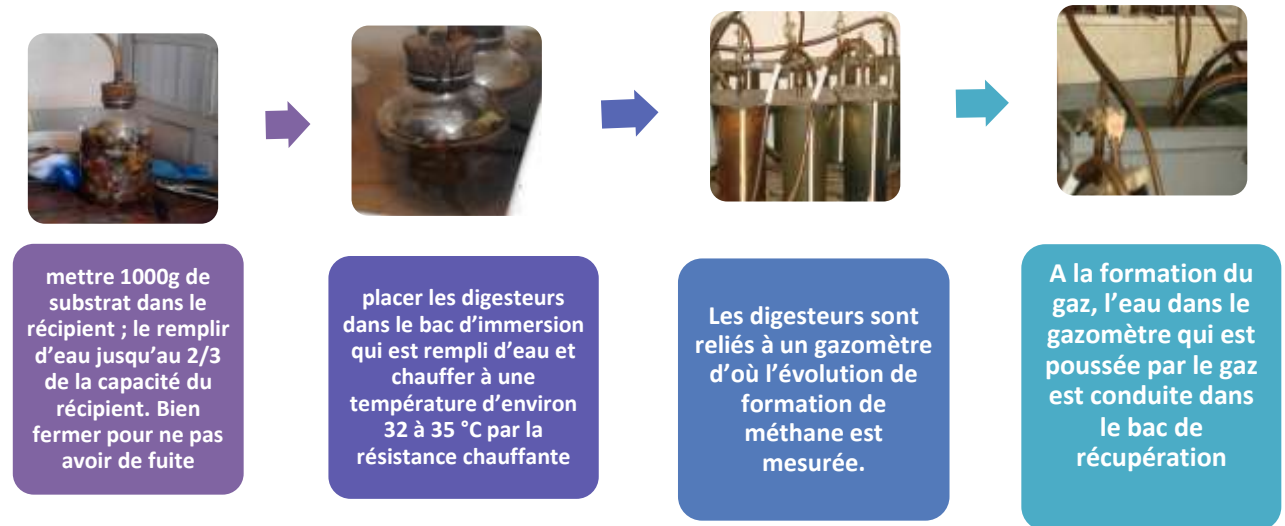
La figure16 représente la formulation n°2 constituée par 1kg de mélange de déchet d'ananas, de papaye et de corossol qui a fourni le meilleur rendement parmi les quatre formulations. La suite de notre étude sera donc à partir de cette formulation n°2.



Figure 16: formulation 2

II 3 3- Suivi de l'évolution de la méthanisation

La suivie de l'évolution de la méthanisation s'est effectuée pendant 30 jours pour chaque digesteur.



La figures 17 représente une vue générale de l'installation



Figure 17: vue générale de l'installation

II 3 4- Valorisation de digestat

Après 30 jours de fermentation anaérobie, les substrats ont presque subit un compostage dans le digesteur. Ils possèdent donc une valeur fertilisante très intéressante. Un épandage direct est possible mais le compostage et mélange avec d'autre matière organiques sont aussi réalisables

II 4 - RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

II 4 1- Les caractéristiques des matières premières

II 4 1 1- La teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche des substrats est un paramètre important pour justifier si le déchet est valorisable ou non. Quatre échantillons de fruit choisis par la société Scrimad ont été étudiés dans le laboratoire et ont donné le résultat de l'analyse récapitulé dans le tableau 5

Tableau 5: teneur en matière sèche

Echantillon	Matière sèche (%)
Corossol	30
Ananas	14
Litchi	24
Papaye	15

Source : auteur 2016

D'après ces résultats, chaque échantillon possède un taux de matière sèche supérieur à 2%. Ils sont donc tous valorisables c'est-à-dire que la production de biogaz est possible. Il reste donc à déterminer le rapport Carbone sur Azote (C/N) des ces échantillons.

II 4 1 2- La teneur en carbone, en azote et le rapport C/N des matières premières

La composition en carbone, en azote ainsi que leur rapport pour chaque échantillon de déchet de fruit est donnée dans le tableau 6:

Tableau 6: teneur en carbone et azote

Déchet de fruit	Carbone C(%)	Azote N (%)	Rapport C/N (%)
Corossol	39,1	0,931	41,9
Ananas	45,4	0,61	74
Litchi	47,6	1,14	41,7
Mélange	46,9	1,75	26,8

Source : auteur 2016

Compte tenu du résultat du rapport C/N du mélange compris entre 10 et 40, on peut confirmer que la valorisation du mélange est très intéressante.

II 4 2- La production de biogaz par les différents échantillons

Le résultat de la formulation 2, mélange de 1000 g de déchets de fruit est donné par le figure 17 et représente la production de biogaz en fonction du TRH, pendant 30 jours dans le digesteur, elle produit environ 0,13 litre de gaz par jour.

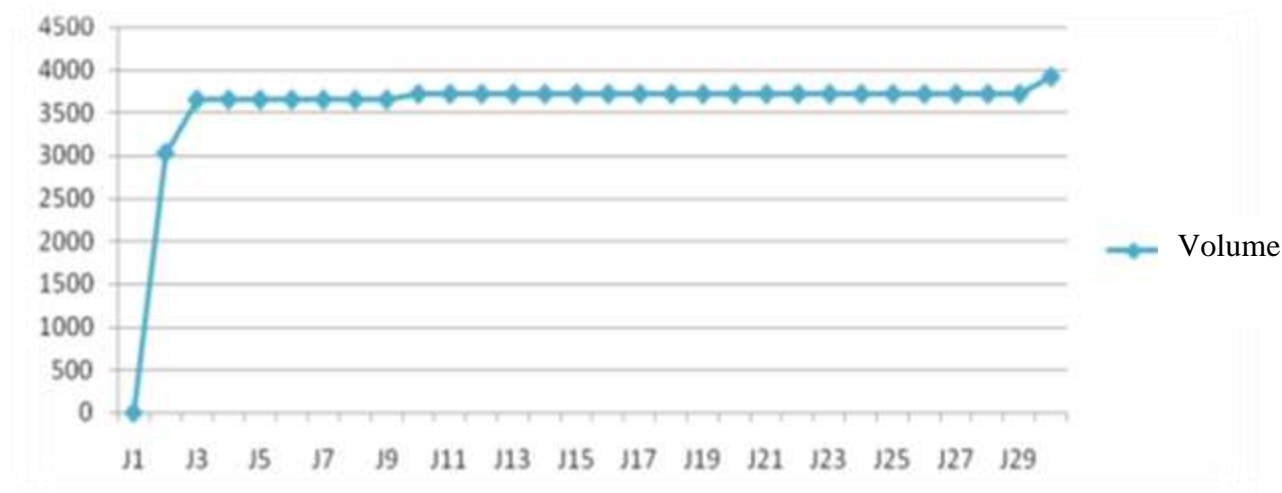


Figure 18: résultat de la méthanisation de la formulation 2

II 4 3- Les caractéristiques des digestats

Après le TRH de 30 jours, les digestats sont récupérés et l'analyse auprès du laboratoire a donné les résultats suivants : Ph= 5,75, l'azote est de N% : 1,25, le phosphore est de P%= 0,196, le potasse est de K%=1,75 et enfin de l'hydrogène H %= 86,75

CONCLUSION PARTIELLE II

Les déchets de fruits de la société sont fermentescibles. La production de biogaz et d'engrais est alors possible à partir de ces déchets à partir de la méthanisation. Les analyses de laboratoire des déchets de fruits ont montré que les paramètres de fermentations sont favorables et le digestat constitue un engrais organique riche dont : 1,25% d'Azote, 0,196% de phosphore et de 1,75% de potassium.

Ainsi pour la troisième partie se portera sur la perspective d'application en milieu réel de cette technologie au sein de l'usine de la société SCRIMAD.

TROISIEME PARTIE :
PERSPECTIVE D'APPLICATION EN
MILIEU REEL

III - PERSPECTIVE EN MILIEU REEL

III 1 - EVOLUTION DES RESSOURCES EN DECHETS DE FRUIT DE LA SOCIETE POUR LES DIX ANS A VENIR

III 1 1- Ressources en déchets de fruit de la société pour la première année

La société SCRIMAD est une société qui exploite essentiellement le litchi à Madagascar. Elle s'occupe de la collecte du litchi jusqu'à l'exportation. Pour la production de purée de fruits surgelés, les données de base de production et des déchets sont présentées le tableau 7:

Tableau 7: ressources en déchets de fruit de la société pour la première année

Fruit traité (kg/j)	700
Déchets (kg/j)	233
Déchets (kg/mois)	7000
Déchets (kg/an)	84000

Source : auteur 2016

III 1 2-Dimensionnement de l'installation

Le dimensionnement du réacteur est fonction du résultat des essais de laboratoire de formulation de mélange de déchets de fruits. La détermination du volume du réacteur moyennant le résultat de laboratoire correspondant à la quantité totale de déchets disponibles chaque jour. La totalité de déchets disponible par jour est de 233kg. Le tableau 8 suivant présente l'évaluation du volume du réacteur pour le mélange de déchets de fruit.

Tableau 8: Evaluation du volume du réacteur pour le mélange de déchets de fruit

Désignation	Résultat de l'expérimentation (labo)	Résultat de l'exploitation en milieu réel (l)
Mélange de déchets fruits (kg/j)	0,75	233
ferment (10%) (kg)	0,075	23
Eau (m3)	0,003	1
Volume de réacteur (m3)	0,005	9
Production prévisionnelle de biogaz (l)		
En un cycle de 30 j (m3)	0,106	33
En une année :(12 cycles de 30 j) (l)	1,272	395

Source : auteur 2016

Ce tableau à montré que le volume de réacteur suffisant pour la valorisation des déchets de fruit est d'environ 10m³.

Pendant les dix ans à venir, les ressources en déchet de fruit de la société évolue respectivement avec la production de purée de fruit.

III 2 - CONCEPTION ET DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

Une installation d'un digesteur à cloche flottante sera faite pour la société. Le digesteur est composé de :

- Bassin d'alimentation :
- Compartiment d'introduction des substrats
- Chambre de digestion : compartiment où s'effectue la fermentation anaérobie ;
- Réservoir à gaz : gazomètre en forme de cloche ;
- Tuyauterie pour acheminer les gaz vers les utilisateurs : sortie du biogaz pour l'utilisation;
- Compartiment de sortie et de stockage des résidus

La figure 20 représente cette installation

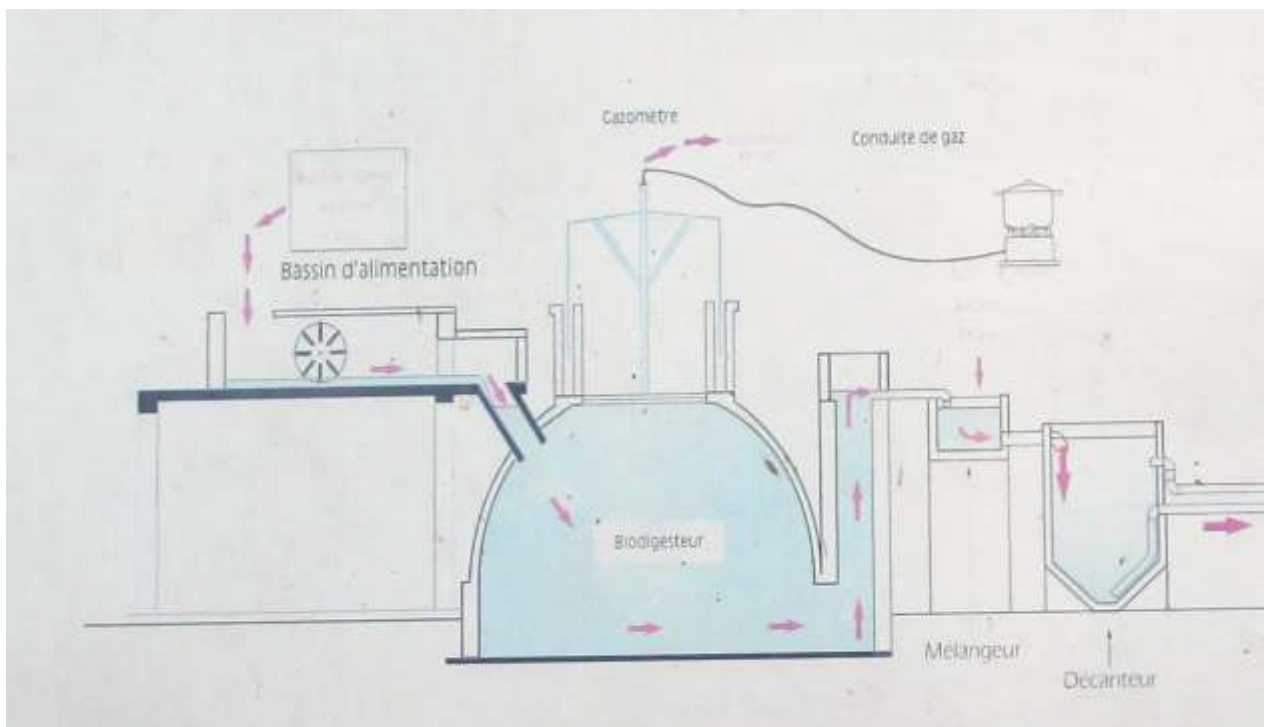


Figure 20 : installation de biodigester (source CNRIT)

III 2 1- Les différents compartiments

Le digesteur à biogaz comprend trois compartiments principaux, à savoir la chambre de digestion, le gazomètre ou réservoir à gaz et les parties de circulation des substrats. Il est également muni d'un bassin d'alimentation

III 2 1 1- Chambre de digestion

La chambre de digestion est la partie la plus importante du biodigesteur, elle est le siège des réactions de digestion anaérobie convertissant les déchets fermentescibles, substrats, en biogaz à base de méthane. Ainsi, elle doit être hermétique et étanche.

La chambre de digestion est habituellement enfoncée sous le sol, de forme cylindrique et comportant un fond rond permettant de faciliter la circulation des substrats. Elle est faite en maçonnerie.

III 2 1 2- La cloche gazométrique

Plus précisément le réservoir à gaz ou gazomètre. Elle est en forme de cloche se situant sur la partie supérieure de la chambre de digestion. Elle joue alors le rôle de réservoir à gaz.

III 2 1 3- Bassin d'alimentation

Ce compartiment représente la fosse de chargement des substrats, il comporte un bassin de mélange qui servira de chambre de mélange avant son déversement vers le digesteur, une trémie d'alimentation qui est un système ressemblant à un entonnoir pour faciliter le déversement des déchets dans le bassin de mélange, une vanne de mélange, pour séparer les deux chambres du bassin de mélange et une vanne d'alimentation qui a pour rôle d'alimenter le digesteur, un trou d'homme permettant de faciliter l'écoulement vers le digesteur et un malaxeur manuel.

III 2 1 4- Sortie de gaz

La sortie du gaz vers l'utilisateur est assurée par des tuyauteries. Le biogaz sorti est encore saturé d'eau, un purgeur est donc mis en place à la sortie pour éliminer l'eau.

III 2 1 5- Déchargement

Une fosse de déchargement récupère les digestats après la digestion. Ces derniers seront ensuite conduits dans le bassin de stockage.

III 3 -CONVERSION DE BIOGAZ EN ELECTRICITE

La production d'électricité par l'intermédiaire de la transformation de l'énergie du biogaz est une étape très importante pour la valorisation des déchets.

III 3 1-Principe de la conversion

III 3 1 1- Théorie de la conversion énergétique

La conversion énergétique de l'énergie du biogaz est une application d'un principe de la thermodynamique dont les diverses formes d'énergies sont inter-convertibles.

III 3 1 2- Caractéristiques de la conversion

Un biogaz moyen de 60% de méthane a une potentialité de production en énergie électrique d'environ 6kWh /m³. Mais en pratique, on obtient environ 2 kWh / m³ selon le rendement du générateur, le reste de l'énergie est perdu et dissipé sous forme de chaleur dont la récupération est possible.

III 3 2-Matériels utilisés

Le générateur adéquat pour la production d'énergie électrique dans le présent cas est un groupe électrogène carburé au biogaz (Figure 21). Ce générateur produit 2,7 kWh par 1m³ de biogaz consommé.



Figure 21 : un générateur électrique à biogaz (SAMVA Manjakaray)

III 3 3- Caractéristiques et fonctionnement du matériel

Les caractéristiques de ce générateur et son rendement de production sont récapitulées dans le tableau 9 ci-après

Tableau 9: Fiche technique du générateur électrique

Groupe électrogène	Caractéristiques	Valeurs
Groupe à moteur en simple cylindre, à quatre temps	Poids brut	24,3 kg
	Tension / fréquence de rendement	220 V / 50 Hz
	Maximum de puissance de sortie	0,7 KW
	Consommation de biogaz par kWh d'électricité	0,36 m ³

3.1.1. Résultats prévisionnels de la conversion de production

La conversion en totalité du biogaz produit, en tenant compte de la disponibilité du biogaz à convertir, donne un bilan en énergie électrique affiché dans le tableau 10.

Tableau 10: Production prévisionnelle en énergie électrique

Cas étudié	Biogaz converti (m3)		Electricité (kWh)	
	Par cycle	Par an	Par Jour	Par an
Mélange de déchet de fruit	33	395	89	1067

Source : auteur 2016

CONCLUSION PARTIELLE III

Les essais de méthanisation des déchets de fruit en laboratoire permettent de prouver qu'une réalisation à grande échelle est possible et de faire un dimensionnement prévisionnel de l'installation en milieu réel. Une production totale 0,106 m³ pendant un cycle de 30jours a été constatée, ceci pour un poids total de substrat et ferment de 750grammes. Etant donné ces résultats, la production prévisionnelle annuelle est respectivement de 36907 kg de fertilisant, 395m³ de biogaz et 1067 kWh d'électricité et le volume du digesteur sera environ 10m³, ces résultats mène à faire une intéressante étude de préfaisabilité économique et rentabilité financière de l'unité dans cette quatrième partie.

QUATRIEME PARTIE :
ETUDE DE PREFESABILITE
ECONOMIQUE ET RENTABILITE

IV - ETUDE DE PREFESABILITE ET DE RENTABILITE FINANCIERE

Les études de préfaisabilité économique et les calculs de rentabilité financière, consistent d'une part à déterminer et à mettre au point la possibilité de réalisation et de concrétisation du projet, et d'autre part à constituer sa viabilité financière dans le temps. Dans une telle étude, une méthode fiable, fondée et précise est nécessaire pour pouvoir atteindre les objectifs initialement fixés. Concrètement, il faut donc définir les objectifs réels des études à réaliser, mettre au point les différentes étapes de la méthodologie adoptée, avant de procéder enfin aux calculs de rentabilité proprement dites, ceci à travers l'application des méthodes soulevées. Il faut aussi souligner que ces études économiques et financières se basent sur les résultats et les prévisions des études techniques précédentes, sur le contexte socio-économique existant et sur les données statistiques officielles. [4]

IV 1 - LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet faisant l'objet de la présente étude est un projet d'infrastructure annexe, rattaché à une installation d'usine de production de purée de fruit. Autrement dit, pour être réalisable, le projet développé dans le présent document nécessite au préalable l'existence des déchets de fruit.

IV 1 1- Description du projet

Le projet a pour objet la valorisation des déchets de fruits en biogaz, ensuite en électricité et parallèlement en fertilisants. Le but étant de pouvoir assurer les besoins en matière d'énergie de l'exploitation tout en visant également l'autonomie énergétique, à un prix moins cher et plus avantageux sur divers aspects que les habituelles sources d'énergie non renouvelable.

Quelques caractéristiques du projet et un aperçu des démarches relatives à une perspective de réalisation figurent dans le tableau 11.

Tableau 11 : Fiche technique du projet

Eléments	Objectifs et démarches
Contexte et Objet du projet	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Produire du biogaz et/ou d'électricité par valorisation de déchets de fruits
Raison et objectifs du projet	<p>Sur le plan économique</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Produire de l'énergie renouvelable et moins cher ou du moins de prix comparable à celle fournie par les compagnies distributrices habituelles et les sources énergétiques courantes. ➤ Créer de nouvelles valeurs ajoutées. <p>Sur le plan technique et autre</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Valoriser les déchets de l'usine en nouvelle ressource pour l'exploitation. ➤ Se centrer vers l'autonomie énergétique ➤ Contribuer à la protection de l'environnement pour un développement durable
Réalisation Technique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulation expérimentale de la fermentation en laboratoire ➤ Etudes techniques de réalisation ➤ Evaluation des ressources budgétaires requises
Maitre d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le projet est réalisable par tout entrepreneur intéressé d'investir dans l'industrie de transformation de fruit et légumes et la production de biogaz
Période et chronologie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ce projet est réalisable à l'issue de la mise en opération de l'usine de transformation qui est l'exploitation principale et source de substrats de fermentation pour la production d'énergie
Budget	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coût du projet (devis estimatif) ➤ Mode de financement : Capitaux et fonds de roulement (laissé à La société) ➤ Echancier des crédits de paiement (laissé à la société)

IV 1 2- Objectifs des études de préfaisabilité économique et financière

L'objectif ultime des études économiques et financières est de déterminer et/ou la mettre en œuvre la possibilité de réalisation effective du projet ainsi que la viabilité de son fonctionnement dans le temps, à l'issue de son instauration.

IV 1 2 1- Mise en œuvre de la possibilité de concrétisation du projet

La concrétisation du projet réclame que deux conditions soient satisfaites, d'abord la rentabilité économique du point de vue de l'investisseur, ensuite il faut que le projet apporte des intérêts à la collectivité.

En effet, L'étude de la rentabilité financière d'un projet de production commence toujours par l'évaluation du point de vue de l'entrepreneur (WIENER *et* CHERVEL, 1985), qui définit le choix de l'investissement en incitant celui-ci dans la décision d'investir ou non.

IV 1 2 2- Constitution de la viabilité et de la pérennisation du projet

La mise en œuvre de la viabilité de fonctionnement du projet dans le temps après son instauration implique une mise en place d'un plan de gestion rationnelle fiable afin de pouvoir s'extraire des décisions arbitraires et mieux s'adapter aux conditions futures.

IV 2 - LA METHODOLOGIE DES EVALUATIONS

Le calcul économique reste l'outil principalement utilisé lors de la réalisation des études de préfaisabilité. En effet, il conduit les décisions en particulier en matière d'investissement, que ce soit au début ou tout au long de son exécution. Enfin, le calcul économique permet de déterminer les éléments d'évaluation de l'état financier d'un projet et de mesure de performance comptable, à tout moment de la période de son existence.

IV 2 1- Méthode d'études de l'opportunité économique du projet

L'étude de l'opportunité économique d'un projet nécessite un recours à l'emploi de la méthode de Capitalisation et/ou d'Actualisation des sommes investies et des gains ultérieurs pour prévoir et anticiper les résultats futurs du projet.

IV 2 1 1- Justification et fondement de la méthode

Un processus économique est influencé par divers facteurs qui interfèrent dans les calculs et les rendent complexes. Lors des études, il est ainsi nécessaire de les prendre en

compte afin d'obtenir des résultats fiables, sur lesquels on pourrait se baser, dans la conduite du projet et les prises des décisions importantes. Un de ces facteurs est l'effet du temps qui s'écoule entre la dépense initiale et les rentrées ultérieures résultant de cet investissement (CNEEMA, 1968), au cours duquel, les montants correspondants ne se situent pas sur un même plan et appartiennent à des mondes différents. Par conséquent, ils ne sont pas comparables entre eux bien qu'exprimés dans la même unité monétaire.

IV 2 1 2- Mécanisme de la Capitalisation et de l'Actualisation

Il est alors absolument indispensable de savoir s'extraire du temps et de l'évolution monétaire pour pouvoir juger convenablement. Le mécanisme de la capitalisation et de l'actualisation permet de ramener au choix, dans le futur ou dans le présent, différentes valeurs échelonnées dans le temps, dans le passé comme dans le futur, de manière à ce que ces valeurs deviennent comparables entre elles et rendent possible une décision objective.

a- Capitalisation

La capitalisation est définie comme étant la valeur future capitalisée, après placement et fructification pendant une période déterminée, d'un montant actuel d'un fonds.

La valeur future C_f d'un capital actuel C_a placé à intérêts composés est donnée par la formule classique :

$$C_f = C_a (1 + i)^n$$

i : est le taux constant d'intérêt annuel admis, exprimé en valeur décimale (en pourcentage, le taux d'intérêt est égal à $100 i$) ;

n : est la durée totale du placement, en année (plus exactement en période de 12 mois à dater du jour du placement) ;

C_f : est la valeur qui sera acquise par le capital C_a , à la fin des n années, du fait des intérêts accumulés.

b- Actualisation

L'actualisation est simplement définie comme étant la valeur actuelle d'un montant futur d'un fonds.

La valeur actuelle C_a d'un montant futur C_f attendu à la fin de n années, en considérant que la somme correspondant à cette valeur actuelle pourrait être placée à intérêt composé au taux annuel de $(100 i) \%$ est donnée par la formule :

$$C_a = C_f (1 + i)^{-n}$$

Dans laquelle i est le taux annuel d'intérêt exprimé en valeur décimale et n la durée de la période considérée, en années de 12 mois.

IV 2 2-Système comptable de mesure de performance de rentabilité

Ce système a recours à l'utilisation des traditionnels indicateurs de rentabilité, dont les valeurs, déterminées essentiellement par calculs, sont comparées à une valeur de référence donnée, comme le taux de placement bancaire par exemple qui est actuellement de 20 %. Les différentes valeurs respectives prises par ses éléments comptables indiquent la situation financière du projet, qui peut être ainsi favorable, stagnante ou au contraire défavorable.

Ces indicateurs de rentabilité invoqués dans le présent cas sont : Marge Brute d'Autofinancement (MBA), Valeur Nette Actualisée (VNA), Taux de Rentabilité Interne (TRI), Indice de Profitabilité (IP) et Durée de Récupération des Capitaux Investis (DRCI).

IV 2 2 1- Marge Brute d'Autofinancement (MBA)

La Marge Brute d'Autofinancement (MBA) représente le flux net dégagé par l'exploitation d'un investissement et qui va permettre de rentabiliser les capitaux investis.

Le calcul de ces flux dégagés, ou Marge Brute d'Autofinancement, est ainsi fonction des éléments de l'exploitation : durée prévue, recettes envisagées, charges estimées et amortissement des biens acquis.

IV 2 2 2- Valeur Nette Actualisée (VNA)

La Valeur Nette Actualisée d'un investissement est la valeur actuelle, à une date donnée et à un taux d'actualisation choisi, des flux de trésorerie annuels liés à un projet, c'est-à-dire la somme des flux de trésorerie actualisés.

$$VNA = \sum_{n=1}^{n=p} MBA_n (1 + t)^{-n}$$

IV 2 2 3- Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) est la valeur du taux d'actualisation pour laquelle le bénéfice actualisé est nul (M. TERNIER, 1968), ou un indice de profitabilité égal à 1.

$$0 = \sum_{n=1}^{n=p} \text{MBA}_n (1+i)^{-n} - C$$

IV 2 2 4- Indice de Profitabilité (Ip)

L'indice de profitabilité (Ip) d'un investissement est défini comme étant le quotient de la somme des cashs – flows (flux générés) actualisés par le montant du capital investi (D Franck, 2010)

$$\text{Ip} = \sum_{n=1}^{n=p} \text{MBA}_n (1+t)^{-n} / C$$

IV 2 2 5- Durée de Récupération des Capitaux Investis (DRCI)

La Durée de Récupération des Capitaux Investis (DRCI) est définie concrètement comme étant le temps nécessaire, comptabilisé à partir du début des activités de production, pour que la somme investie pour la conception de l'activité retourne au profit de l'investisseur à partir des bénéfices qu'elle génère.

En science économique et comptable, elle est définie comme étant la durée nécessaire pour que le cumul des Marges Brutes d'Autofinancement soit égal à la valeur des capitaux investis.

$$\sum_{n=1}^{n=p} \text{MBA}_n - C = 0$$

IV 2 3-Définition des éléments d'évaluation financière du projet

Afin d'avoir une bonne indication sur l'état financier du projet, il faut connaître avec certitude la valeur de ses flux circulants et immobilisés. Il est possible ensuite d'en déduire un bilan financier fiable, relatif à la performance comptable du projet. Pour obtenir ces résultats, il faut comparer les emplois de fonctionnement et les ressources résultant des activités.

IV 2 3 1- Emplois débiteurs du projet

La valeur des flux monétaires débiteurs du projet est fonction de son importance et celui des infrastructures de production, ensuite des objectifs initialement visés et enfin du pourcentage d'accomplissement des prévisions. Ces flux monétaires débiteurs sont représentés par les capitaux initialement investis et les charges de fonctionnement.

a- Investissement ou Capitaux investis

Dans ce projet, le capital est investi à trois types d'affectations différentes, achats des matériels et équipements, coût des études et assistance technique ainsi que les frais d'installation des infrastructures.

b- Charges de l'exploitation

On a deux types de charges : les charges décaissées et les charges calculées, ces dernières étant essentiellement représentées par les amortissements des actifs immobilisés.

➤ Charges décaissées

Les charges décaissées sont les frais déboursés nécessaires au fonctionnement des activités d'exploitation des infrastructures : coûts d'acquisition des substrats de la digestion, des ferments, des eaux de digestion, ainsi que les frais de main d'œuvre du personnel responsable du suivi et de l'entretien des installations, y compris les impôts.

➤ Charges Calculées

Les charges Calculées de l'exploitation correspondent aux dotations aux amortissements résultant de la dépréciation de valeurs des actifs immobilisés.

IV 2 3 2- Ressources du projet

Les flux monétaires créditeurs par contre sont représentés essentiellement par les recettes globales réalisées, représentées par la valeur numéraire du biogaz, des fertilisants organiques, et le cas échéant, de l'énergie électrique.

a- Chiffre d’Affaire (CA)

➤ Valeur des biogaz produits

La valeur numéraire du biogaz correspond au prix du volume total (en m³) de biogaz produit annuellement. Le prix d’une unité de volume de biogaz étant évalué à 1703 Ar (18/05/16). Il est déduit de l’équivalence énergétique de 1 m³ de biogaz qui est égale à 0,6 l de gasoil.

➤ Valeur des fertilisants organiques

La valeur des fertilisants organiques correspond au prix total des fertilisants produits annuellement. Le prix unitaire d’un kilogramme étant fixé à 400 Ar, en considérant sa composition biochimique et le prix des fertilisants organiques en général sur le commerce.

➤ Valeur de l’énergie électrique

Pour une application débouchant carrément à une conversion énergétique, l’énergie électrique vaut 645Ar / kWh, en se basant sur le tarif de la JIRAMA.

IV 2 3 3- Hypothèses de calcul

Les évaluations concernent les cinq premières années d’exercice, on détermine le montant des flux monétaires et les indicateurs de rentabilité avec les hypothèses suivantes :

- La valeur de l’impôt sur les bénéfices variable. Elle est de 100 000 MGA additionné à 15 ‰ du chiffre d’affaires (Madagascar news, 2010) ;
- Le taux de placement bancaire exigé étant actuellement de 20 % pour une année ;
- Le personnel nécessaire pour faire fonctionner et entretenir les installations correspond à deux employés, leur rémunération mensuelle augmente de 10 % tous les ans.

IV 3 - ETUDE DE RENTABILITE DU PROJET

La détermination de la rentabilité du projet du projet est basée sur les méthodes mentionnées dans les paragraphes ci-dessus.

IV 3 1-Calcul économique pour la production de biogaz à partir des déchets de fruit

IV 3 1 1- Le Capital investit

La mise en place d'une unité de valorisation de déchets par méthanisation nécessite un investissement de 7 647 000 Ar. Le tableau 12 ci-dessous représente le détail de cet investissement.

Tableau 12: Investissement

Désignations	Unité	Quantité	PU(Ar)	Total (Ar)
Préparation du chantier				850000
- Coffrage en bois		22	4 500	99 000
- fer pour armatures		10	18 000	180 000
- Fil de fer	Kg	2	3 800	5 000
- Briques cuites Epaisseur 0,11 m		3 300	120	396 000
- Clapet anti-retour		2	40 000	
- Sikalite	Kg	20	12 000	240 000
- Tuyau PVC Ø21/25 mm de 10 m	M	2	7 800	15 600
- Coudes		4	8 000	24 000
- Colles et adhésifs		2	3 200	6 400
- Robinet tournant		2	16 000	32 000
- Ciments Holcim	Sacs	20	24 000	480 000
- Sable	m ³	8	18 000	144 000
- Gravier	m ³	8	35 000	200 000
- Buse en béton Ø200mm	M	5	60 000	300 000
- Anti-rouille	Kg	2	17 500	35 000
- Tôle métallique	m ²	15	47 000	705 000
Conception du Gazomètre				425 000
Main d'œuvre de construction de l'unité		5		2 980 000
Etude et assistance technique				450 000
			Total	7 647 000

Source : auteur 2016

IV 3 1 2- Charge d'exploitation

La charge d'exploitation est donnée par le tableau 13 suivant :

Tableau 13:charge d'exploitation

Désignations	Quantité par cycle	Quantité annuelle (kg)	Pu (Ar)	Total (Ar)
Déchets de fruits	233	83880	15	1258200
ferments (10% des déchets de fruits)	23,3	8388	15	125 820
Eau (m3)	1	360	360	129 600
Frais du personnel	2	24	100 000	2400000
Charges décaissées =				3913620
Amortissements annuels				509 800
Charges calculées =				509 800
Total des Charges				4423420

Source : auteur 2016

IV 3 1 3- Le chiffre d'affaire

Les résultats des activités de production de biogaz et de fertilisants représentent la valeur du chiffre d'affaires annuel de l'exploitation. Le tableau 14 suivant résume le chiffre d'affaires de l'exploitation.

Tableau 14: le chiffre d'affaires de l'exploitation

Produits	Production Annuelle dans les CNTP (en m3 et en kg)	Pu (Ar)	Montant (Ar)
Biogaz (m3)	395	1 703	672971
Fertilisants (kg)	36907	450	16608240
		CA =	17281211

Source : auteur 2016

IV 3 1 4- Compte d'exploitation prévisionnel

Le compte d'exploitation constitue les éléments importants pour tous les calculs économiques et financiers en matière de détermination de la rentabilité d'un projet d'investissement. C'est à partir de ce compte que les valeurs annuelles de la Marge Brute d'Autofinancement qui sont déduit. Le compte d'exploitation des activités de production de biogaz est détaillé dans le tableau 15 suivant :

Tableau 15: compte d'exploitation

Désignations	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Valeur du biogaz	672971	740268	814295	895725	985297
Valeur des fertilisants	16608240	18269064	20095970	22105567	24316124
Valeur Ajoutée brute	17281211	19009332	20910265	23001292	25301421
Déchets fruits	1258200	1384020	1522422	1674664	1842131
Ferment	125 820	138 402	152 242	167 466	184 213
Eaux de digestion	129 600	142 560	156 816	172 498	189 747
Main d'œuvre	2400000	2640000	2904000	3194400	3513840
Charges décaissées	3913620	4304982	4735480	5209028	5729931
Amortissement	509 800	509 800	509 800	509 800	509 800
Charges calculées	509 800	509 800	509 800	509 800	509 800
Total des charges	4423420	4 814 782	5 245 280	5 718 828	6 239 731
Résultats Imposables	12857791	14194550	15664985	17282464	19061690
Impôts	2 700 136	2 980 856	3 289 647	3 629 317	4 002 955
Résultats nets	10157655	11213695	12375338	13653146	15058735
MBA	10157655	11213695	12375338	13653146	15058735
MBA cumulées	10157655	21371350	33746688	47399834	62458570

Source : auteur 2016

IV 3 1 5- Les indicateurs de rentabilité du projet

La durée joue un très grand rôle pour indiquer la rentabilité du projet. Il est alors indispensable de mesurer les indicateurs de rentabilité pendant la première année. Les résultats de calcul des valeurs de ces indicateurs de rentabilité sont représentés dans le tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16: récapitulation sur les indicateurs de rentabilité du projet

Valeur Actuelle Nette (VAN)	1404800
Taux de Rentabilité Interne (TRI) (%)	32,83
Indice de Profitabilité (Ip)	1,11
Durée de Retour du Capital Investi (DRCI)	8 mois 2 jours

Source : auteur 2016

D'après ce tableau, tous les résultats montrent une très intéressante possibilité de faisabilité économique et de rentabilité financière.

IV 3 2- Calcul économique pour la conversion du biogaz en électricité

La conversion du biogaz en électricité nécessite plus d'investissement initial par rapport à son utilisation directe.

IV 3 2 1- Le capital investi

La conversion de 395 m³ par an de biogaz permettra d'obtenir 1067 kWh d'électricité. Elle nécessite alors un investissement de 12097000Ar représenté en détail dans ce tableau 17.

Tableau 17: investissement de conversion du biogaz

Designations	Unité	Quantité		
		Quantité	PU (Ar)	Montant (Ar)
Investissement de production de Biogaz		1	7647000	7647000
Matériels de conversion du biogaz en électricité		1	4450000	4450000
Total (Ar)				12097000

IV 3 2 2- Charge d'exploitation

Le démarrage de ce projet de production d'électricité à partir des déchets fermentescibles nécessite une charge d'exploitation donnée dans le tableau 18

Tableau 18: charges d'exploitation de conversion de biogaz

Désignations	Quantité par cycle (kg)	Quantité Annuelle (Kg)	PU (Ar)	Total (Ar)
Déchets de fruits	233	83 880	15	1 258 200
ferments	23	8 388	15	125 820
Eau	1	360	360	129 600
Salaires du personnel	2	24	100 000	2 400 000
Poteau électrique	5	5	100 000	500 000
Fil électrique (m)	1500	1500	1 200	1 800 000
Transformateur	2	2	400 000	800 000
Compteur	25	25	25 000	625 000
charges décaissées				7 638 620
Amortissement annuel				806 467
Charges calculées				806 467
Total des charges				8 445 087

Source : auteur 2016

IV 3 2 3- Chiffre d'affaires

La valeur du chiffre d'affaires annuel est l'équivalent en numéraire des résultats des activités de production d'électricité. Elle est présentée dans le tableau 19 suivant :

Tableau 19: chiffre d'affaire de conversion du biogaz

	Electricité (kWh/an)	PU (Ar)	Montant
Produits	Par an		
Electricité	1 067	600	640172
Fertilisant	180 907	160	28945152
C.A			29585324

Source : Auteur 2016

IV 3 2 4- Compte d'exploitation

Par rapport à la production de biogaz, la conversion du biogaz en électricité nécessite plusieurs équipements dont des poteaux électriques, des fils électriques, les transformateurs, les compteurs électriques. Le compte d'exploitation de la conversion du biogaz en électricité est donc donné dans le tableau 20 suivant :

Tableau 20: compte d'exploitation de la conversion de biogaz en électricité

Désignation	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Valeur de l'électricité	640 172	704189	774 608	852 069	937 276
Valeur des fertilisants	28 945 152	31 839 667	35 023 634	38 525 997	42 378 597
Valeur Ajoutée brute	29 585 324	32 543 857	35 798 242	39 378 066	43 315 873
Déchets de fruits	1 258 200	1 384 020	1 522 422	1 674 664	1 842 131
Ferment	125 820	138 402	152 242	167 466	184 213
Eaux de digestion	129 600	142 560	156 816	172 498	189 747
Salaires du personnel	2 400 000	2 640 000	2 904 000	3 194 400	3 513 840
Poteau électrique	500 000	500 000	500 000	500 000	550000
Fil électrique	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1980000
Transformateur	800 000	800 000	800 000	800 000	880000
Compteur électrique	625 000	625 000	625 000	625 000	687500
Charges décaissées	7 638 620	8 029 982	8 460 480	8 934 028	9 827 431
Amortissement	806 467	806 467	806 467	806 467	806 467
Charges calculées	806 467	806 467	806 467	806 467	806 467
Total des charges	8 445 087	8 836 449	9 266 947	9 740 495	10 633 898
Résultats Imposables	21 140 237	23 707 408	26 531 295	29 637 572	32 681 975
Impôts (21%)	4 439 450	4 978 556	5 571 572	6 223 890	6 863 215
Résultats nets	16 700 788	18 728 852	20 959 723	23 413 682	25 818 761
MBA	16 700 788	18 728 852	20 959 723	23 413 682	25 818 761
MBA cumulées	16 700 788	35 429 640	56 389 363	79 803 045	105 621 805

Source : Auteur 2016

IV 3 2 5- Les indicateurs de rentabilité du projet

Les indicateurs de rentabilité du projet sont représentés par le tableau 21

Tableau 21: les indicateurs de rentabilité de la conversion

VAN	2 492 516
TRI (%)	38,1
Ip	1,15
DRCI	7 mois 23 jours

Source : auteur 2016

CONCLUSION PARTIELLE IV

L'étude de préfaisabilité économique et rentabilité financière est une partie très importante pour prévoir la situation financière future du projet. Suite à l'étude économique pour la valorisation agro- énergétique des déchets de fruit de la société, les résultats obtenus sont tous satisfaisants et le prix de vente des produits peut concurrencer les autres sources d'énergies. Le projet est rentable, sa réalisation est donc possible.

CINQUIEME PARTIE :
ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

V - ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

V 1 - IDENTIFICATION ET ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET

V 1 1- Démarche méthodologique

V 1 1 1- Identification et analyse des impacts environnementaux

Les impacts générés par le projet sur l'environnement sont pris en compte à travers deux grandes étapes. La première concerne l'identification et l'analyse des impacts environnementaux. La deuxième l'évaluation de l'importance des impacts environnementaux identifiés. L'identification et l'analyse des impacts environnementaux porteront sur les paramètres ci-dessous :

- les phases du projet ;
- les composantes du milieu récepteur ;
- les sources d'impact ;
- la nature de l'impact.

Les trois phases du projet sont : la construction, l'exploitation et la fermeture. Les composantes du milieu récepteur analysées au cours de l'étude sont les composantes physiques et socio-économiques de l'environnement. Les sources d'impacts comprennent toutes les activités susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect sur les composantes du milieu récepteur. La nature de l'impact représente l'effet de l'impact sur la composante du milieu.

V 1 1 2- Présentation des impacts environnementaux et analyse

L'identification des sources d'impact consiste à déterminer les activités du projet susceptibles d'entraîner des modifications du milieu physique ou des impacts sur les composantes du milieu naturel et humain. Cette identification résulte de la description technique du projet et de la connaissance du milieu naturel.

a- Impacts positifs du projet

➤ Impacts positifs en phase d'aménagement et de construction

Les impacts positifs de ce projet en phase d'aménagement porte essentiellement sur la composante humaine de l'environnement.

Opportunités d'affaires pour des opérateurs économiques privés

Les investissements prévus prennent en compte les achats de matériaux de construction et des équipements à installer ainsi que les opérations d'aménagement du site, de construction du digesteur et d'installation des équipements pour la conversion du gaz en énergie. Ainsi, le

démarrage du projet demeure une opportunité d'affaires pour les entreprises du BTP, de contrôle technique.

Opportunités d'emplois

Les travaux de construction du digesteur nécessitent un besoin en personnel. C'est une opportunité d'emploi pour les jeunes de la ville. Ce projet permettra la création d'emplois directs et indirects. Ces emplois seront occupés dans la mesure du possible par la main d'œuvre locale dans le cas de la sous-traitance (construction, nettoyage, gardiennage, etc.).

Pendant la phase de construction, la grande partie de cette main d'œuvre viendra certainement des environs immédiats.

➤ Impacts positifs en phase d'exploitation

Les impacts positifs de ce projet en phase d'exploitation sont liés au milieu humain et à l'environnement socio-économique.

Augmentation de la ressource en énergie de la société

Opportunités d'emplois

Au niveau de l'emploi, le projet contribuera à la création d'emplois stables.

Le fonctionnement de l'installation est une occasion de recrutement d'au moins 2 personnes. Ces emplois vont non seulement réduire le nombre de chômeurs mais également procurer des revenus stables à ces employés.

Versement de taxes fiscales

L'existence légale du digesteur et son fonctionnement obligent le versement d'impôts. Ces opérations fiscales aideront à renforcer les caisses de l'Etat Malagasy.

V 1 1 3- Impacts négatifs de projet

a- Phase de construction

La construction est une phase exceptionnelle du projet car elle engendre des impacts environnementaux et sociaux qu'il convient de considérer.

➤ Impacts sur l'environnement physique et biologique

Impact négatif sur l'air : pendant cette phase, des camions vont amener les matériels pour la construction, ces camions sont des sources d'émission de gaz à effet de serre (GES). Par ailleurs, lors du travail de construction, le transport des gravillons et de sables et de ciment sur le site peut engendrer une production considérable de poussière et des grosses particules se retrouvent dans l'air parce qu'elles sont dispersées par le vent.

Impact négatif sur le sol : des modifications de la structure et de la texture du sol sont considérables ainsi que des excavations de terrain, les déchets pendant la construction (ciment,...) vont se retrouver sur le sol et vont polluer la couche superficielle du sol.

Impact négatif sur les eaux : En cas de pluie, les eaux de ruissellement issues des travaux sont chargées de polluants. La nappe phréatique de Tamatave est très près de la surface du sol ; il est donc fort probable que les eaux souterraines soient polluées.

➤ **Impact sur l'environnement humain :**

Un risque de chute pendant la construction et risque de blessure à cause de l'utilisation des matériels

Nuisances sonores : Sur un chantier de construction, le bruit est souvent causé par le matériel (grue, matériel de battage, installations de sciage, générateur, transport...)

b- Phase d'exploitation

➤ **impacts sur le milieu physique**

Impact sur l'air : Pollution de l'air, odeurs. Les sources d'odeurs sont identifiées au regard de leur mode d'émission (diffusée, ponctuelle, continue) : transport des déchets, transport et du digestat, entretien de l'aire de travail de la plate forme du digesteur. Le démarrage du procédé de méthanisation peut aussi être à l'origine de dégagements d'odeur passagers, les émissions de certains gaz pendant cette phase peuvent être dues à la combustion (dioxyde de carbone...).

Impacts sur l'environnement humain

Impacts liés à l'hygiène sanitaire : un mauvais entretien des locaux peut générer un foyer de prolifération de bactéries sources d'impacts graves (intoxication alimentaire). La pollution de la qualité de l'air intérieur de l'usine est source d'affections respiratoires dont l'asthme, les allergies respiratoires, les maux de tête et la nausée.

Risques électrique et explosion : pendant l'entretien des installations électriques et aussi pendant le conduit du gaz dans le générateur.

c- Phase de fermeture

La fermeture ou l'arrêt des activités du projet engendrera des impacts observables sur le milieu humain. Il s'agit de la:

- perte d'emploi, source d'augmentation de la pauvreté,
- perte de recettes fiscales pour l'Etat Malagasy,

- perte d'opportunités d'affaires ;
- perte d'une ressource en énergie de l'usine ;

V 2 - EVALUATION DE L'IMPORTANCE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTALE DU PROJET

L'évaluation de l'importance des impacts résulte de l'interaction de la nature, de l'intensité, de la durée et de la portée des perturbations imposées aux composantes significatives du milieu. Elle comporte plusieurs étapes, à savoir :

- Établir la liste des sources d'impact et déterminer les composantes environnementales susceptibles d'être affectées par celles-ci.
- Déterminer la valeur environnementale et le degré de perturbation des composantes des milieux physique, biologique et humain susceptibles d'être affectées.
- Évaluer l'intensité de la perturbation imposée à chaque composante et déterminer la durée et la portée des effets générés par chaque activité.
- Déterminer, à l'aide du réseau d'estimation, la signification de chaque impact.
- Consigner les résultats de l'analyse dans la grille de synthèse d'évaluation des impacts et déterminer les composantes affectées ou non par le projet de même que l'ampleur des impacts cumulatifs ainsi que ceux où une incertitude persiste quant à leur nature et à leur signification.

Il est donc nécessaire de déterminer par les critères d'intensité, de portée et de durée, l'importance de l'impact sur le milieu social et biophysique. Les impacts environnementaux sont évalués et analysés suivant les trois phases. Pendant ces phases, l'on peut caractériser les modifications du milieu social et environnemental.

V 2 1- L'intensité

L'intensité de la source d'impact est soit forte, moyenne ou faible selon le degré de modification de l'élément du milieu social ou environnemental étudié. Les éléments suivants sont utilisés pour définir l'intensité :

- **Changement de forte intensité (Fo)** : la source d'impact affecte de façon importante les éléments du milieu (disparition d'une population végétale, perte d'une ressource économique ou social). La source d'impact améliore grandement les éléments
- **Changements d'intensité moyenne (Mo)** : la source d'impact modifie le caractère particulier ou la qualité d'un élément essentiel et en rétréci l'utilisation (ex. perte ou modification d'une portion d'un habitat, d'une ressource ou d'une activité), sans modifier de façon importante l'intégrité ou l'utilisation de façon importante. La source d'impact améliore ou augmente légèrement la qualité ou l'utilisation de l'élément.
- **Changements de faible intensité (Fa)** : la source d'impact modifie de façon limitée un élément du milieu, ou en diminue (ou augmente) légèrement l'utilisation, le caractère particulier ou la qualité (ex. perte ou modification d'une portion négligeable d'un habitat, d'une ressource ou d'une activité).

V 2 2- La portée ou l'étendue

Elle mesure une superficie ou une proportion de population. Il correspond au rayonnement spatial du changement ou au nombre d'individus susceptibles de percevoir ce changement dans la zone d'étude. Les critères suivants permettent de définir la portée:

- **Portée régionale (Re)** : la source d'impact modifie une portion importante ou la totalité d'un élément du milieu dans la zone d'étude principale. L'élément affecté est utilisé par l'ensemble de la population de la zone d'étude principale ou les effets du changement peuvent être perçus par la population.
- **Portée locale (Lo)** : la source d'impact modifie une portion de l'élément du milieu situé dans le secteur des travaux et dans l'espace immédiat adjacent. L'élément affecté est utilisé ou les effets du changement sur celui-ci peuvent être perçus par la population humaine ou animale située dans l'aire circonscrite par le secteur des travaux ou dans l'espace immédiat adjacent.
- **Portée ponctuelle (Po)** : la source d'impact modifie une portion de l'élément du milieu situé dans le secteur des travaux. L'élément affecté est utilisé, ou les effets du

changement sur celui-ci peuvent être perçus par une portion de la population humaine ou animale située dans l'aire circonscrite par le secteur des travaux.

V 2 3- La durée

Pendant la mise en œuvre d'une phase, la durée d'un impact renvoie à l'évaluation de la période pendant laquelle l'effet d'une activité, d'une composante du projet s'aperçoit. La durée de l'impact se divise en trois classes:

Longue durée (Lo) : elle s'applique à un impact dont l'effet est ressenti de façon continue ou intermittente, mais régulière, pendant toute la vie des infrastructures et même au-delà ; on considère également les effets comme irréversibles ;

Durée moyenne (Mo) : la durée moyenne s'applique à un impact dont l'effet est ressenti de façon continue ou intermittente, mais régulière, pendant une période inférieure à la durée de vie des infrastructures, soit quelques années ;

Courte durée (Co) : la courte durée s'applique à un impact dont l'effet est ressenti sur une période de temps limitée, correspondant généralement à la période de construction des infrastructures ou d'exploitation, ou à une période inférieure à celle-ci.

L'évaluation de l'importance de l'impact est fonction de la combinaison des différents indicateurs définis ci-dessus, la corrélation établie entre chacun des indicateurs permet d'établir la classification dans le tableau 22 suivant :

Tableau 22 : importance des impacts

Importance	Signification
Impact d'importance majeure (Ma)	Modification de façon importante de l'intégrité de la nature de l'élément et de son utilisation Danger pour la vie d'une espèce
Impact d'importance moyenne (Mo)	Modification partielle de l'intégrité de la nature de l'élément et de son utilisation
Impact d'importance mineure (Mi)	Légère modification de l'intégrité de la nature de l'élément et de son utilisation
Impact négligeable (Ne)	l'intégrité de la nature de l'élément et de son utilisation est épargnée

Source : auteur 2016

La présentation des impacts se fait à l'aide d'une matrice de synthèse. Cette matrice présente chacun des impacts en précisant son intensité, selon le changement que subissent l'élément, la portée et la durée de ce changement ainsi que son importance. Le tableau 23 représente la matrice de présentation de l'importance des impacts négatifs du projet sur l'environnement

Tableau 23: Matrice de présentation de l'importance des impacts négatifs du projet sur l'environnement

Phase du projet	Activités/Sources d'impact	Composante du milieu affectée	Nature de l'impact potentiel	Intensité			Portée			durée			Importance					
				Fa	Mo	Fo	Po	Lo	Re	Co	Mo	Lo	Ne	Mi	Mo	Ma		
phase de construction	mouvement des engins	Air	pollution de l'air															
		Sol	pollution du sol par les hydrocarbures															
	aménagement du site, installation des équipements et du digesteur	Air	pollution des l'air par émission de poussière															
		Sol	modification de la structure et de la texture du sol															
		Eaux	pollution de l'eau															
		Humain	atteinte à la santé des travailleurs et nuisance sonore															
phase d'exploitation	transport des déchets et des digestat	Air	pollution de l'air															
	entretien des lieux de la plate forme du digesteur	Humain	atteinte à la santé des travailleurs															
	entretien des installations électriques et du conduit du gaz	Humain	incendie et explosion															
phase de fermeture	arrêt d'activité	Humain	perte d'emploi															
			perte de recette fiscale															
	démantèlement des installations	Humain	perte d'une source d'énergie															
			Paysage	dégradation du sol et du paysage														

Source : auteur 2016

V 3 - MESURE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

V 3 1- Elaboration des mesures d'atténuations

L'application des mesures d'atténuation a pour but d'éliminer, de minimiser, de compenser et/ou de prévenir les impacts négatifs et d'améliorer les retombés positifs des activités ou des ouvrages du projet sur le milieu social et biophysique. Dans certains cas où la situation ne peut être corrigée ou reformée, certaines actions du projet permettront d'améliorer les conditions environnementales dans un milieu donné. Des mesures de valorisation seront prises et ces mesures ne seront pas nécessairement appliquées dans la zone perturbée. Le classement des mesures est le suivant :

- **Mesures d'atténuation** : elles sont utilisées pour éliminer la source d'impact ou en réduire l'intensité, afin que les répercussions soient acceptables sur les plans social et environnemental. Ces mesures seront appliquées dans l'aire immédiate des zones perturbées ou dans les secteurs qui subiront directement les effets du changement issues des travaux ;
- **Mesures de valorisation** : ces mesures sont utilisées pour améliorer les conditions sociales ou environnementales existantes qui ne sont pas directement affectées par le projet. Elles peuvent être implantées en dehors de la zone des travaux.

Les mesures proposées ont été définies à la suite de la détermination des répercussions potentielles du projet. Elles ont été élaborées en tenant compte des objectifs généraux retenus pour l'élaboration des mesures relatives aux répercussions potentielles sur un élément du milieu social et environnemental à savoir : respecter les lois, directives, normes et règlements de l'Etat ; répondre aux grands principes du développement durable et atténuer les impacts négatifs et valoriser les aspects positifs.

V 3 2- Mesures d'atténuations liées à la phase de construction

V 3 2 1- Protection de l'air

Pour réduire les émissions de poussières à l'intérieur et à l'extérieur du site du projet, l'entreprise chargée de la réalisation des travaux procédera à des actions d'atténuation des poussières, tels que l'arrosage des routes et des zones en terre battue. Les camions transportant des matériaux fins seront couverts afin de réduire les émissions de poussières. La vitesse des véhicules sera limitée pour réduire l'envol de poussières et les gaz d'échappement.

V 3 2 2- Protection des eaux

Aucune eau de surface de surface n'est dans le périmètre d'influence du projet. Néanmoins, des mesures de contrôle sont recommandées et sont mises en place si nécessaire pour éviter que le ruissellement des eaux de pluie n'entraîne des sédiments et/ou des huiles ou gasoil et contamine les eaux souterraines. Les mesures suivantes sont prises pendant cette phase:

- installation d'écrans de rétention des sédiments et d'autres systèmes de contrôle temporaire ;
- orientation des eaux de ruissellement de façon à ce qu'elles contournent le site des travaux ;
- déviation des écoulements provenant des zones voisines autour de la zone de construction ;
- mise en place de systèmes de prévention des fuites (huiles et graisses des engins de construction) et de pratique de nettoyage afin d'éviter la contamination des eaux de ruissellement ;

V 3 2 3- Protection du sol

Pour atténuer les impacts sur le sol il faut :

- limiter les travaux d'excavation ;
- revêtir les surfaces vulnérables de pierres, de béton ;
- collecter et éliminer les déchets de construction par une structure habilitée à le faire

V 3 2 4- Atténuation des bruits et des vibrations

L'application des bonnes conduites de chantier contribuera à atténuer les nuisances sonores pendant la phase de construction. Ainsi, il est impératif d'utiliser des équipements de construction pourvus de système de limitation de bruit ; d'interdire les travaux vibrants et bruyants la nuit ; d'assurer la maintenance des engins motorisés.

V 3 2 5- Atténuation des impacts socio-économique

Les mesures à prendre pour atténuer les impacts sur la santé et la sécurité du personnel de chantier pendant la phase de construction comprend :

- le balisage de la zone de projet et l'interdiction d'accès à toute personne autre que le personnel de chantier ;
- la mise en place de précautions ayant pour but d'éviter les accidents (port obligatoire d'équipements de protection individuelle, affichage des consignes de sécurité, etc.) ;

- Faire des séances régulières de rappel des règles de sécurité ;

V 3 3- Mesures d'atténuation des impacts en phase d'exploitation

Un système de gestion des impacts environnementaux ainsi que les aspects sécuritaires existent et seront mis en œuvre sur la base des principes de développement durable. Un plan d'urgence sera élaboré pour prendre en compte toutes les dispositions de gestion des situations d'urgence.

V 3 3 1- Atténuation des impacts sur la qualité de l'air

Afin de réduire la production des émissions de poussières et de contribuer à l'atténuation de l'impact du projet sur la qualité de l'air de la zone, le port de masques est obligatoire pour tout travailleur et le zone de travail sera bien ventilé.

Les conditions de transport des intrants externes et du digestat jouent aussi un rôle très important. Les intrants seront transportés en bennes de l'exploitation pour les gisements de matière.

Gestion des risques d'accident

Pour prévenir d'éventuels accidents de travail, les mesures suivantes sont mises en œuvre

- formation du personnel à la sécurité et exercices de simulations des situations d'urgence en application du plan d'urgence ;
- pour les travaux de maintenance : installation des postes fixes de téléphones à plusieurs endroits de l'usine ; sensibilisation par affichage de pictogrammes et signalisation appropriée dans les zones à risque; installation des extincteurs, et poteaux d'incendie.

V 3 3 2- Atténuation des impacts liés à l'hygiène sanitaire

Un entretien quotidien des installations de façon générale et des zones sensibles sera prévu en prenant le soin d'utiliser des produits de nettoyage adaptés. Les personnels devront faire des visites médicales périodiques.

V 3 4- Mesure d'atténuation des impacts en phase de fermeture

La planification de la mise hors service et l'abandon des installations sont prévus dans l'étude technique des installations. Ce plan sera développé conformément à la législation applicable et aux bonnes pratiques de l'industrie, en concertation avec les autorités nationales. Ce plan comprendra, selon le cas, les procédures pour effectuer les opérations suivantes en toute sécurité :

- la déconnexion des équipements d'exploitation ;

- le démontage des installations (démantèlement) ;
- le retrait ou l'abandon des installations existantes ;
- la collecte et la gestion des déchets dangereux.

En outre, des mesures d'indemnisation et de reconversion du personnel devront être mises en œuvre

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail de recherche, force est de constater que l'objectif initialement fixé est atteint. Le projet de « valorisation agro énergétique des déchets de fruit de la société Scrimad de Tamatave » a été étudié sur tous ses aspects aussi bien sur le plan scientifique, sur le plan technologique ou technique et sur le plan économique. Les calculs économiques et de rentabilité financière, l'Etude d'Impact Environnemental (EIE) et le plan de gestion environnementale s'orientent conjointement vers la réalisation effective dudit projet.

En effet, le résultat des travaux de laboratoire pour les quatre formulations de déchets de fruits a montré que :

-Primo, les déchets de fruits sont valorisables à des fins agronomique et énergétique. La technologie y appropriée est la biométhanisation ;

-secundo, les digestats issus de la biométhanisation disposent les caractères physicochimiques suivants : Azote (N) (1,25%), Phosphore (P) (0,196%) et Potasse (K) (1,75%), prouvant que le digestat est un engrais biologique riche en matière fertilisante ;

-tertio, par méthanisation, les déchets de fruit peuvent produire du biogaz : une source d'énergie renouvelable qui peut être utilisée selon les besoins de la société, soit directement ou soit par conversion en énergie électrique.

D'après les résultats d'études de préfaisabilité économique et de rentabilité financière, la valorisation énergétique des déchets de fruits requiert un investissement d'Ar 7 647 000 pour l'installation des équipements de digestion pour la production de biogaz seulement et d'Ar 12 097 000 pour la conversion du biogaz en énergie électrique.

Pour le premier cas : « *production de biogaz seulement* », la valeur des indicateurs de rentabilité est respectivement d'Ar 1 404 800 de Valeur Actuelle Nette (VAN), de 32,83% pour le Taux de Rentabilité Interne (TRI), de 1,11 pour l'indice de Profitabilité (Ip) et enfin de 8 mois 2 jours pour la durée de retour de capital investi (DRCI).

Pour le second cas : « *conversion du biogaz en énergie électrique* », la valeur des indicateurs de rentabilité sont respectivement d'Ar 2 492 516 pour la Valeur Actuelle Nette (VAN), 38,1% pour le Taux de Rentabilité Interne (TRI), de 1,15 pour l'indice de Profitabilité (Ip) et enfin 7 mois 23 jours pour la durée de retour de capital investi (DRCI).

En tenant compte des résultats issus de ce travail de recherche, la valorisation des déchets de fruit de la société Scrimad à des fins agronomique et énergétique est bénéfique pour ladite société non seulement par la réduction de sa consommation énergétique résultant

de l'utilisation du biogaz produit ou converti en énergie électrique pour ses propres besoins énergétiques mais aussi par la réduction de ses besoins annuels en engrais pour la plantation des fruits grâce à l'utilisation du digestat comme fertilisant agricole. Sur le plan environnemental, l'Etude d'impact Environnemental (EIE) a prouvé que les infrastructures requises pour les installations de biogaz ou de conversion électrique peuvent être améliorées moyennant les solutions techniques proposées et des moyens de réduction des émissions par le biais du Plan de Gestion Environnemental (PGE).

En bref, beaucoup de travail reste encore à faire, que se soit pour avoir un meilleur rendement en biogaz ou pour des études d'efficacité énergétique.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Agence Allemande de l'Energie ; 2014. « Renewables- Made in Germany ».GIZ
- [2] CNRIT, 2015; Manuel d'entretien et de maintenance de biodigesteur à cloche flottante. CNRIT, Antananarivo.
- [3] CNRIT ; 2012« étude d'impact environnemental et social (EIES) ». CNRIT, Antananarivo
- [4] Manoely H.; 2011. « Etude de faisabilité technico-économique de production de biogaz et de fertilisants organiques par méthanisation de fientes de cailles »
- [5] Ralantomahefa R ; 2007. « *Biométhanisation du tourteau de Jatropha curcas à Madagascar* » Mémoire de fin d'étude de diplôme d'Ingénierie en Science Agronomique, ESSA, Antananarivo.
- [6] MAEP UPDR – VALY Agri développement ; 2004. « Filière Fruits et Légumes ». MINAGRI,Antananarivo.
- [7] Rabakotsialonina A., 2015. « Valorisation des déchets ménagers et d'abattoirs de la commune urbaine de Toamasina » Mémoire de fin d'étude de diplôme de Master d'Ingénierie en Géo-énergie ; ESPA.
- [8] Cointreau S., 2007. “The Growing Complexities and Challenges of Solid Waste Management in Developing Countries”, The World Bank
- [9] CNRIT « synthèse sur le compostage des matières organiques », CNRIT, Antananarivo
- [10] HUU ANG DUO, 1974 in RAMAMPIHERIKA, 1997

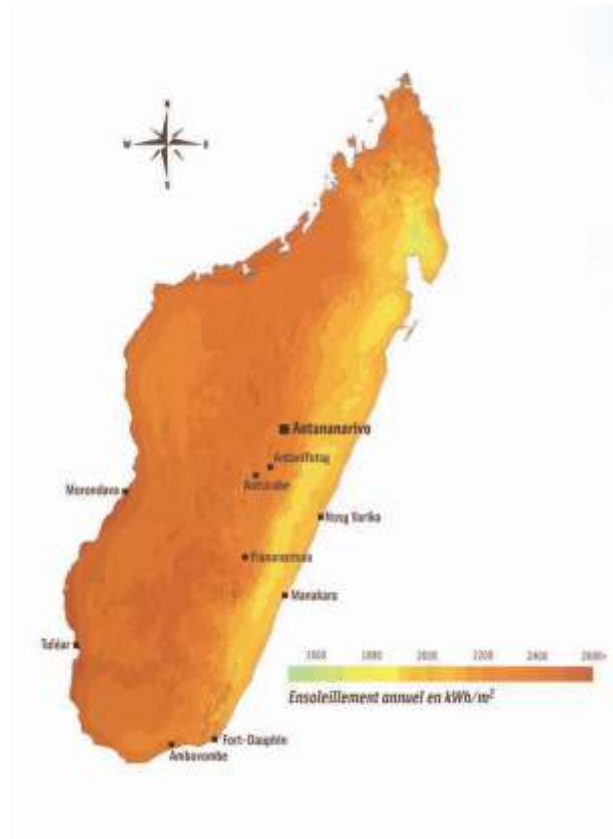
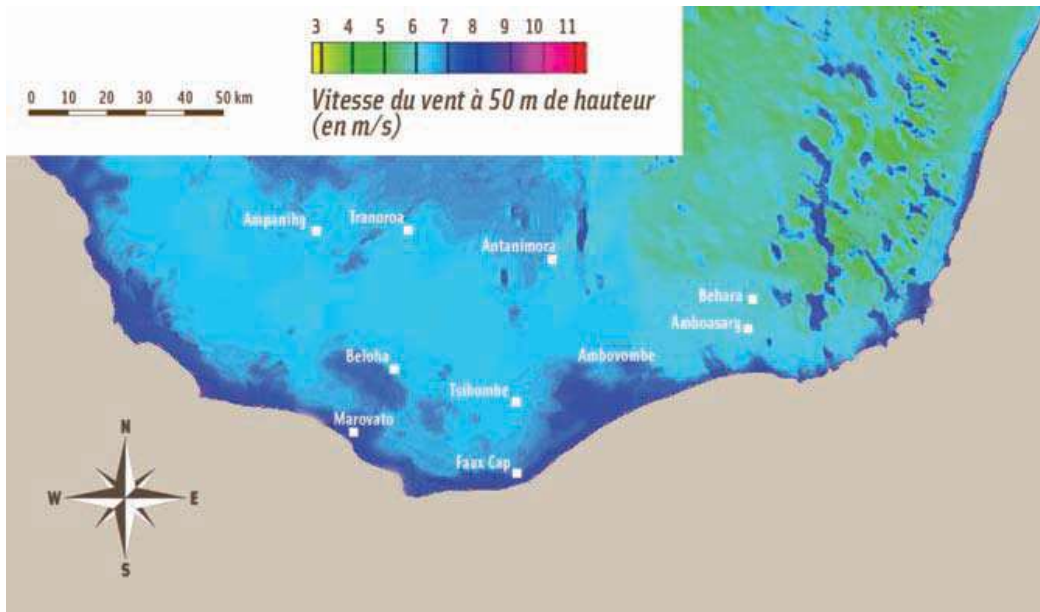
WEBOGRAPHIE

- [11] L'île de Madagascar <http://www.codal-madagascar.com/fr/>, consulté le
- [12] www.ineris.fr , consulté le 15 avril 2016 ;
- [13] « Guide de bonne pratique de la méthanisation », http://atee.fr/sites/default/files/2011-12_guide_bonnes_pratiques_methanisation_clubbiogaz.pdf, consulté le 12 janvier 2016,

- [14] notre-planete.info, <http://www.notre-planete.info/ecologie/dechets/methanisation-biogaz.php>, consulté le 12 janvier 2016 ;
- [15] l'ABC de la méthanisation, [https://www.agrireseau.net/energie/documents/QWEB-Granules et buches-Rapport final-22-07-20071.pdf](https://www.agrireseau.net/energie/documents/QWEB-Granules%20et%20buches-Rapport%20final-22-07-20071.pdf), consulté le 23 février 2016
- [16] les fruits de Madagascar, <http://www.madagascarnet.net/fruits-tropicaux-madagascar/>, consulté le février 2016 ;
- [17] Record, 2013. « Production et distribution du biogaz », http://www.record-net.org/storage/etudes/11-0673-1A/rapport/Rapport_record11-0673_1A.pdf consulté le 23 février 2016.
- [18] Record, 2003. « Méthanisation des déchets organiques » <http://www.doc-developpement-durable.org/file/Energie/biogaz/methanisation%20dechets%20organiques.pdf> consulté le 24 janvier 2016.
- [19] dictionnaire de l'environnement, www.dictionnaire-environnement.com, consulté le 24 janvier 2016
- [20] Rapport septembre 2012, « Diagnostic du secteur énergie à Madagascar », Ministère Energie, http://mg.chm-cbd.net/objectifs-d-aichi/strategique-d/objectif-15/mise-en-oeuvre-au-niveau-national/diagnostic_secteur_energie_low.pdf, consulté le 24 janvier 2016

ANNEXES

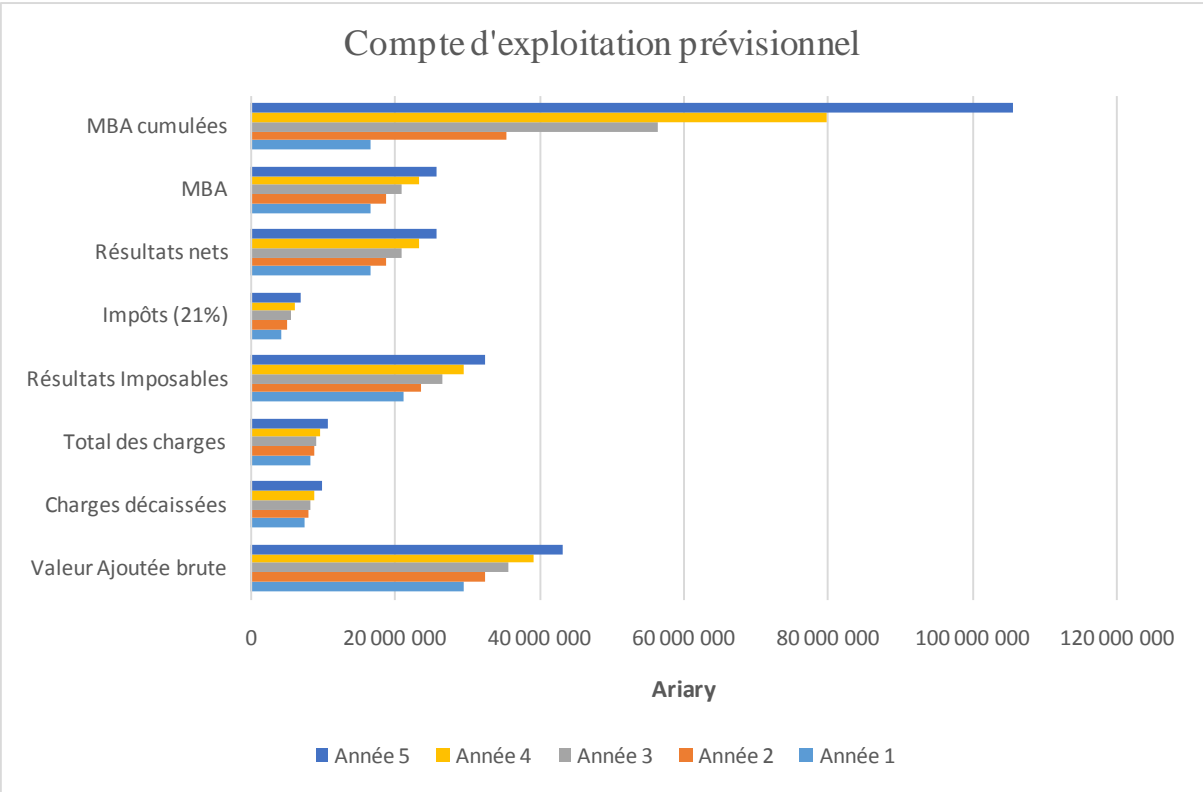
ANNEXE I : Potentiel solaire et éolienne du littoral sud à Madagascar (NASA)



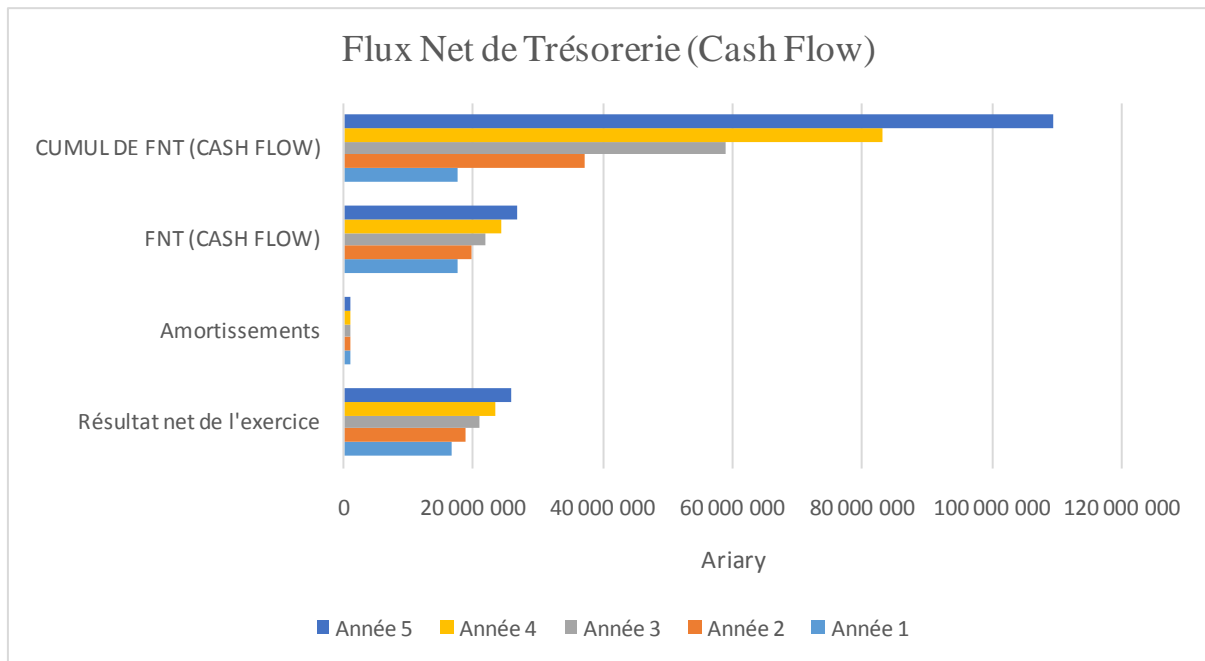
ANNEXE II : Ile de Madagascar par Codal Madagascar (potentiel en fruit)



ANNEXE III : compte d'exploitation prévisionnel de la conversion de biogaz en électricité



ANNEXE IV : Cash Flow de la conversion de biogaz en électricité



ANNEXE V : Cash Flow Actualisé

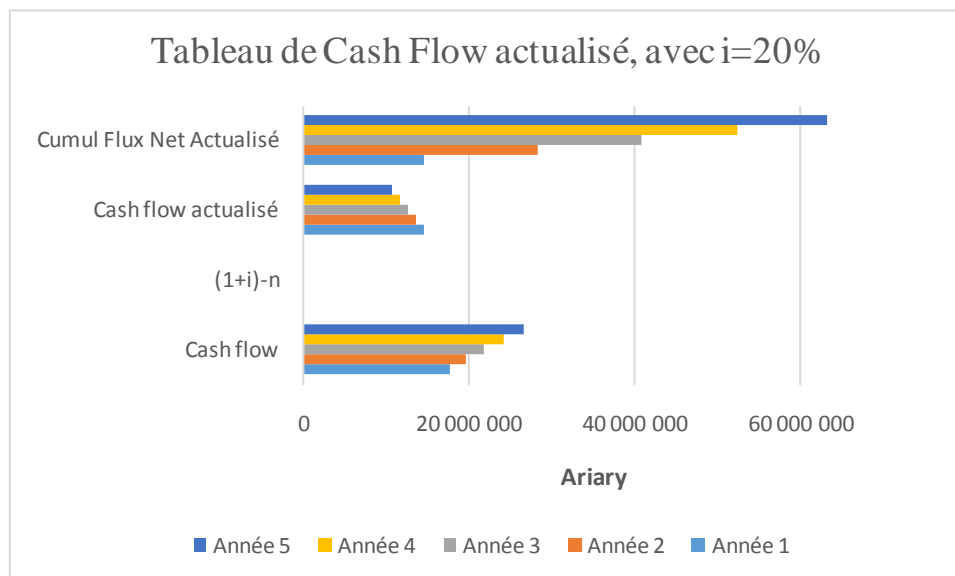


TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES ANNEXES.....	viii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I: ETAT DE CONNAISSANCE	4
I 1 SITUATION ET PROBLEMATIQUE DES DECHETS DANS LE MONDE.....	4
I 2 SYSTEME DE GESTION ET VALORISATION DE DECHETS A MADAGASCAR...	4
I 2 1 Le système de gestion	5
I 2 2 Valorisation des déchets à Madagascar.....	5
I 2 2 1 La récupération et recyclage.....	5
I 2 2 2 La fertilisation à Madagascar	6
I 3 SITUATION ENERGETIQUE A MADAGASCAR.....	7
I 3 1 Le potentiel énergétique exploitable à Madagascar	7
I 3 2 La consommation d'énergie à Madagascar	7
I 3 3 Taux d'électrification	8
I 4 EVOLUTION DE LA FILIERE FRUIT A MADAGASCAR.....	8
I 4 1 Historique.....	8
I 4 2 Potentialité.....	8
I 4 3 Les industries de transformation et d'exploitation de fruit à Madagascar	9
I 5 ZONE D'ETUDE.....	10
I 5 1 Présentation de la société SCRIMAD	10
I 5 2 Les produits et les processus	10
I 5 3 Identification des sources d'efficacité énergétique et des possibilités en matière d'énergie renouvelable	11
CONCLUSION PARTIELLE I	12
PARTIE II: MATERIELS, METHODES ET RESULTATS DES ESSAIES DE LABORATOIRE.....	14
II 1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	14
II 1 1 Quelques définitions.....	14

II 1 1 1	Déchets	14
II 1 1 2	Digesteur.....	14
II 1 1 3	Digestats	14
II 1 1 4	Méthanisation	14
II 1 1 5	Biogaz.....	14
II 1 1 6	Compost.....	15
II 1 2	Classification des déchets.....	15
II 1 2 1	Déchets biodégradables	15
II 1 2 2	Déchets recyclables	15
II 1 2 3	Déchets ultimes.....	15
II 1 2 4	Déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux.....	15
II 1 2 5	Déchets municipaux	16
II 1 2 6	Déchets dangereux.....	16
II 1 3	Les déchets de la société	16
II 1 4	Système de valorisation agro énergétique des déchets de fruit.....	16
II 1 4 1	La méthanisation et la production de biogaz	16
II 1 4 1 1	Définitions.....	16
II 1 4 1 2	Principes de méthanisation	17
II 1 4 1 3	Les facteurs théoriques influençant la digestion	17
II 1 4 1 4	La composition chimique de biogaz	18
II 1 4 1 5	Pouvoir calorifique et équivalence énergétique	19
II 1 4 1 6	Utilisation de biogaz	19
II 1 4 1 7	Stockage.....	20
II 1 4 2	Traitement des digestats par compostage	20
II 1 4 2 1	Les différents types de compostage	20
II 1 5	Les technologies des biodigesteurs	22
II 1 5 1	Digesteurs à cloche flottante.....	22
II 1 5 2	Digesteurs à dôme fixe	22
II 1 5 3	Le digesteur Borda.....	23
II 1 5 4	Autres types de digesteurs	23
II 2	LES MATERIELS DE LABORATOIRE UTILISEES	23
II 2 1	Matériels utilisé pour la production de biogaz en laboratoire.....	23
II 2 2	Les matériels utilisés pour l'analyse C/N.....	27

II 3	METHODOLOGIE D'ETUDE.....	30
II 3 1	Traitement biologique en laboratoire des déchets de fruits.....	30
II 3 1 1	Analyse carbone/ azote	30
II 3 1 1 1	Azote KJELDAHL.....	30
II 3 1 1 2	Carbone organique : méthode de Walkley et Black.....	31
II 3 1 2	Détermination de la teneur en matière sèche.....	31
II 3 2	Formulation dans les digesteurs de laboratoire	32
II 3 2 1	Préparation des substrats	32
II 3 2 2	Le temps de rétention hydraulique	32
II 3 3	Suivi de l'évolution de la méthanisation	34
II 3 4	Valorisation de digestat	35
II 4	Résultats des essais de laboratoire	35
II 4 1	Les caractéristiques des matières premières.....	35
II 4 1 1	La teneur en matière sèche	35
II 4 1 2	La teneur en carbone, en azote et le rapport C/N des matières premières.....	35
II 4 2	La production de biogaz par les différents échantillons.....	36
II 4 3	Les caractéristiques des digestats	36
	CONCLUSION PARTIELLE II	37
	PARTIE III : PERSPECTIVE EN MILIEU REEL	39
III 1	Evolution des ressources en déchets de fruit de la société pour les dix ans à venir.....	39
III 1 1	Ressources en déchets de fruit de la société pour la première année	39
III 1 2	Dimensionnement de l'installation.....	39
III 2	Conception et description des installations	40
III 2 1	Les différents compartiments	41
III 2 1 1	Chambre de digestion	41
III 2 1 2	La cloche gazométrique.....	41
III 2 1 3	Bassin d'alimentation	41
III 2 1 4	Sortie de gaz	41
III 2 1 5	Déchargement.....	41
III 3	Conversion de biogaz en électricité	42
III 3 1	Principe de la conversion.....	42
III 3 1 1	Théorie de la conversion énergétique	42
III 3 1 2	Caractéristiques de la conversion	42

III 3 2	Matériels utilisés.....	42
III 3 3	Caractéristiques et fonctionnement du matériel	43
	CONCLUSION PARTIELLE III.....	43
	PARTIE IV : ETUDE DE PREFESABILITE ET DE RENTABILITE FINANCIERE	45
IV 1	Le contexte du projet.....	45
IV 1 1	Description du projet	45
IV 1 2	Objectifs des études de préfaisabilité économique et financière.....	47
IV 1 2 1	Mise en œuvre de la possibilité de concrétisation du projet	47
IV 1 2 2	Constitution de la viabilité et de la pérennisation du projet.....	47
IV 2	La méthodologie des évaluations	47
IV 2 1	Méthode d'études de l'opportunité économique du projet.....	47
IV 2 1 1	Justification et fondement de la méthode.....	47
IV 2 1 2	Mécanisme de la Capitalisation et de l'Actualisation.....	48
IV 2 1 2 1	Capitalisation	48
IV 2 1 2 2	Actualisation	48
IV 2 2	Système comptable de mesure de performance de rentabilité.....	49
IV 2 2 1	Marge Brute d'Autofinancement (MBA)	49
IV 2 2 2	Valeur Nette Actualisée (VNA).....	49
IV 2 2 3	Taux de Rentabilité Interne (TRI).....	50
IV 2 2 4	Indice de Profitabilité (Ip).....	50
IV 2 2 5	Durée de Récupération des Capitaux Investis (DRCI)	50
IV 2 3	Définition des éléments d'évaluation financière du projet.....	50
IV 2 3 1	Emplois débiteurs du projet	51
IV 2 3 1 1	Investissement ou Capitaux investis	51
IV 2 3 1 2	Charges de l'exploitation	51
IV 2 3 2	Ressources du projet	51
IV 2 3 2 1	Chiffre d'Affaire (CA).....	52
IV 2 3 3	Hypothèses de calcul.....	52
IV 3	Etude de rentabilité du projet	52
IV 3 1	Calcul économique pour la production de biogaz à partir des déchets de fruit.....	53
IV 3 1 1	Le Capital investit	53
IV 3 1 2	Charge d'exploitation.....	54
IV 3 1 3	Le chiffre d'affaire	54

IV 3 1 4	Compte d'exploitation prévisionnel.....	54
IV 3 1 5	Les indicateurs de rentabilité du projet.....	55
IV 3 2	Calcul économique pour la conversion du biogaz en électricité.....	56
IV 3 2 1	Le capital investi.....	56
IV 3 2 2	Charge d'exploitation.....	56
IV 3 2 3	Chiffre d'affaires.....	57
IV 3 2 4	Compte d'exploitation.....	57
IV 3 2 5	Les indicateurs de rentabilité du projet.....	58
	CONCLUSION PARTIELLE IV.....	59
	PARTIE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	61
V 1	IDENTIFICATION ET ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET....	61
V 1 1	Démarche méthodologique.....	61
V 1 1 1	Identification et analyse des impacts environnementaux.....	61
V 1 1 2	Présentation des impacts environnementaux et analyse.....	61
V 1 1 2 1	Impacts positifs du projet.....	61
V 1 1 3	Impacts négatifs de projet.....	62
V 1 1 3 1	Phase de construction.....	62
V 1 1 3 2	Phase d'exploitation.....	63
V 1 1 3 3	Phase de fermeture.....	63
V 2	Evaluation de l'importance des impacts environnementale du projet.....	64
V 2 1	L'intensité.....	65
V 2 2	La portée ou l'étendue.....	65
V 2 3	La durée.....	66
V 3	MESURE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.....	69
V 3 1	Elaboration des mesures d'atténuations.....	69
V 3 2	Mesures d'atténuations liées à la phase de construction.....	69
V 3 2 1	Protection de l'air.....	69
V 3 2 2	Protection des eaux.....	70
V 3 2 3	Protection du sol.....	70
V 3 2 4	Atténuation des bruits et des vibrations.....	70
V 3 2 5	Atténuation des impacts socio-économique.....	70
V 3 3	Mesures d'atténuation des impacts en phase d'exploitation.....	71
V 3 3 1	Atténuation des impacts sur la qualité de l'air.....	71

V 3 3 2 Atténuation des impacts liés à l'hygiène sanitaire.....	71
V 3 4 Mesure d'atténuation des impacts en phase de fermeture	71
CONCLUSION GENERALE	73
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE	75
BIBLIOGRAPHIE	75
Annexe	I

Titre : « VALORISATION AGRO-ENERGETIQUE DES DECHETS DE FRUITS DE LA SOCIETE SCRIMAD TAMATAVE »

Auteur : ANDRIAMANDROSO Miary Maherisoa

Adresse : logement médecin CSB II Alarobia Manjakandriana

Tel : 0331814348

E-mail : miary.maherisoa@gmail.com

Encadreurs : Professeur-Ingénieur RAVONINJATOVO Achille O. et Professeur ANDRIANAIVO Lala



RESUME

La production de fruit surgelé auprès de la Société Scrimad Tamatave engendre des déchets de fruits inutilisables et néfastes à l'environnement. Ainsi il est nécessaire de chercher des moyens de gérer et de valoriser ces déchets.

Les essais et les analyses au laboratoire permettent de confirmer que la technologie de la biométhanisation permet de valoriser les déchets de fruit afin d'obtenir de l'énergie et d'engrais. Cette technologie permet aussi d'éliminer les déchets de fruit de la société.

La valorisation énergétique des déchets de fruits envisagée par la Société Scrimad est intéressante puisqu'elle fournit annuellement à la société 180907 kg d'engrais et 395 m³ de biogaz équivalent à une énergie électrique de 1067 kWh.

L'étude économique pour la mise en place de l'infrastructure de biométhanisation et de l'installation relative à la conversion électrique nécessite l'investissement total d'Ariary 19 744 000 et génère une source de revenu d'Ariary 26 858 443 pour la première année.

Mots clés : Déchet, valorisation, biométhanisation, digesteur, biogaz, énergie, engrais.

ABSTRACT

Production of frozen fruit from the SCRIMAD Company in Tamatave generates useless and harmful fruit waste to the environment. Thus it is necessary to look for ways to manage and develop these wastes.

Testing and laboratory analysis can confirm that the biogas technology adds value to fruit waste to obtain energy and fertilizer. This technology also eliminates the waste of the company's fruit. Energy recovery from fruit waste predict by the Company is attractive since it provides annually 180907 kg of fertilizer and 395 m³ of biogas equivalent to a power of 1,067 kWh.

The economic study for the establishment of biogas infrastructure and relative installation to electrical conversion requires total investment of Ariary 19,744,000 and generates an income of Ariary 26,858,443 for first year;

Keywords: Waste, valorization, bio methanization, digester, biogas, energy, fertilizer.

