



SOMMAIRE

TENY FISAORANA

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : CADRE D'ETUDES

CHAP I : PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE

CHAP II : PRESENTATION DU LIEU D'INSTALLATION DU DIGESTEUR

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS -METHODES

CHAP III : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE

CHAP IV : PROCESSUS DE PRODUCTION DE BIOGAZ

CHAP V : EVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DE FIFAMANOR
ANTSIRABE

CHAP VI : PRODUCTION DE BIOGAZ A PARTIR DES RESSOURCES DU
FIFAMANOR

**TROISIEME PARTIE : PERSPECTIVES EN GRANDEUR REELLE ET ETUDE DE
PREFAISABILITE ECONOMIQUE ET DE RENTABILITE FINANCIERE**

CHAP VII : LES PERSPECTIVES D'APPLICATION EN GRANDEUR REELLE

CHAP VIII : ETUDE DE PREFAISABILITE ECONOMIQUE ET DE RENTABILITE
FINANCIERE

QUATRIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAP IX : RESULTATS

CHAP X : DISCUSSION

CONCLUSION

TABLE DE MATIERE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Situation du 01 Juin 2018.....	15
Tableau 2 : Quantité de matière première dans 100kg de provende	18
Tableau 3 : Quantité de matière première broyée par an	19
Tableau 4 : Avantages et inconvénients des ressources énergétiques.....	23
Tableau 5 : Sites des installations de biogaz du projet avec la FAO à Madagascar	28
Tableau 6 : Effectif des installations de biogaz à Madagascar	28
Tableau 7 : Composition générale du biogaz	35
Tableau 8 : Equivalence énergétique de 1m ³ de méthane	36
Tableau 9 : Puissance et durée de fonctionnement journalier de chaque appareil.....	41
Tableau 10 : Proportion de substrat.....	47
Tableau 11 : Productivité en gaz pour chaque échantillon.....	48
Tableau 12 : Equivalence énergétique du biogaz obtenu	49
Tableau 13 : Effectif du cheptel de FIFAMANOR.....	52
Tableau 14 : Evaluation de la potentialité en ressources (biomasse) valorisables.....	53
Tableau 15 : Régime alimentaire du cheptel.....	53
Tableau 16 : Evolution en dix ans des ressources valorisables de FIFAMANOR	55
Tableau 17 : Dimensionnement du biodigesteur.....	56
Tableau 18 : Proportion requise pour le chargement du digesteur.....	60
Tableau 19 : Évaluation de la production de biogaz à grande échelle	61
Tableau 20 : Récapitulation du Bilan énergétique Prévisionnel Annuel	61
Tableau 21 : Fiche Technique du Générateur électrique.....	62
Tableau 22 : Production Prévisionnelle en Energie électrique	62
Tableau 23 : Réduction coût énergétique FIFAMANOR	63
Tableau 24 : Fiche technique du projet	65
Tableau 25 : Plan de financement	73
Tableau 26 : Remboursement d'emprunt.....	73
Tableau 27 : Chiffre d'affaire	74
Tableau 28 : Flux Net de Trésorerie (cash-flow) (en Ariary)	75
Tableau 29 : cash-flow Actualisé	75
Tableau 30 : Indicateur de rentabilité.....	77
Tableau 31 : Consommation moyenne journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR	80
Tableau 32 : Production de biogaz à grande échelle.....	81



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



Tableau 33 : Bilan énergétique Prévisionnel Annuel.....	81
Tableau 34 : Production Prévisionnelle en Energie électrique	81
Tableau 35 : Récapitulatif des Résultats	82
Tableau 36 : les éléments comparatifs des trois différents digesteurs	IV
Tableau 37 : Investissements d’immobilisation financiers	VIII
Tableau 38: Amortissements d’immobilisation	VIII
Tableau 39 : Charges salariales	IX
Tableau 40 : Charges d’exploitation de production de biogaz.....	IX
Tableau 41 : Budget de trésorerie	X
Tableau 42 : Compte de résultat.....	XI



LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme CNRIT	5
Figure 2: Organigramme FIFAMANOR.....	12
Figure 3: Processus de fonctionnement de la Méthanisation	31
Figure 4: Schéma de dispositif du digesteur de laboratoire du CNRIT	46
Figure 5 : Composante d'un biodigesteur (vue en coupe)	57
Figure 6 : Schéma de principe des installations	59
Figure 7: Facture JIRAMA (agrandi).....	80
Figure 8: Digesteur à dôme fixe.....	V
Figure 9 : Digesteur à cloche flottante	VI
Figure 10 : Digesteur plug-flow	VII



LISTE DES PHOTOS

Photo 1: CNRIT	4
Photo 2: FIFAMANOR ARMOR	9
Photo 3: Plan de masse de FIFAMANOR : ARMOR.....	10
Photo 4: Machine à traire	16
Photo 5: Tank à lait 2700 Litre.....	17
Photo 6: Tank à lait 2500 Litres	17
Photo 7: Tank à lait 800 Litres	17
Photo 8: Broyeur 1	18
Photo 9: Broyeur 2	19
Photo 10: Tank à lait	40
Photo 11: Machine à traire	41
Photo 12: Digesteur après remplissage	43
Photo 13: Tuyauterie-conduite	43
Photo 14: Gazomètres	44
Photo 15: Bac d'immersion	44
Photo 16: Bac de récupération	45
Photo 17: Vue d'ensemble du digesteur de laboratoire	46
Photo 18: Allure de la flamme	48



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Avantages et inconvénients des trois types de digesteurs

ANNEXE 2 : Tableau comparatif des 3 types de digesteurs

ANNEXE 3 : Schémas des différents types de digesteurs :

ANNEXE 4 : IMMOBILISATION FINANCIER

ANNEXE 5 : AMORTISSEMENTS D'IMMOBILISATION

ANNEXE 6 : CHARGE SALARIALE

ANNEXE 7 : CHARGE D'EXPLOITATION

ANNEXE 8 : BUDGET DE TRESORERIE

ANNEXE 9 : COMPTE DE RESULTAT

ANNEXE 10 : CALCUL DE DR (DELAI DE RECUPERATION)



LISTE DES ABREVIATIONS

ADER	Agence pour le Développement de l'Electrification Rurale
AGV	Acide Gras Volatile
Ar	Ariary
Atm	Atmosphère
°C	Degré Celsius
CH ₄	Méthane
CIDST	Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique
C/N	Rapport Carbone Azote
CNTP	Conditions Normales de Température et de Pression
CNRIT	Centre National de Recherches Industrielle et Technologique
CO ₂	Dioxyde de Carbone
CPG	Chromatographie en Phase Gazeuse
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DRCI	Durée de Récupération des Capitaux investis
ENR	Energie nouvelle et renouvelable
EPIC	Etablissement Public à caractère Industrielle et Commerciale
ESPA	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
FAO	Food and Agriculture Organization
FBCF	Formation Brute de Capital Fixe
FIFAMANOR	Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana
GES	Gaz à Effet de Serre
GERN	Groupe des Energies Nouvelles et Renouvelables
H ₂	Dihydrogène
H ₂ S	Hydrogène Sulfureux
Ip	Indice de profitabilité
Kg	Kilogramme
KWh	Kilowattheure
L	Litre
m ³	Mètre cube



MEFB	Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget
MESupRES	Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
mg	Milligramme
MGA	Malagasy Ariary
MO	Matière Organique
MRSTD	Ministère de la Recherche Scientifique et Technologique pour le Développement
MS	Matière Sèche
N	Normalité
NH ₃	Ammoniac
NO ₂	Dioxyde Nitreux
NORAD	Agence Norvégienne de Développement
ORE	Office de Régulation de l'Electricité
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
pH	Potentiel d'Hydrogène
PME	Petite et moyenne entreprise
PMI	Petite et moyenne industrie
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PVC	Polychlorure de Vinyle
SAMVA	Service Autonome de Maintenance de la ville d'Antananarivo
SO ₂	Dioxyde de Soufre
SR	Seuil de Rentabilité
TRH	Temps de Rétenion Hydraulique
TRI	Taux de rentabilité Interne
VNA	Valeur Nette Actualisée
V	Volt



INTRODUCTION

FIFAMANOR ou « Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana » est un Centre de Développement Rural et de Recherche appliquée, doté d'un statut d'Etablissement Public à caractère Industrielle et Commerciale (EPIC) et qui a pour mission la promotion de la culture du blé, de la pomme de terre et le développement de l'élevage laitier dans la région du Vakinankaratra. C'est aussi un Centre de formation de techniciens et de paysans en matière d'agriculture, d'élevage et d'Appui technique des organisations paysannes et disposant de compétence pour l'amélioration variétale, la culture in vitro, la production de semences de base, l'amélioration génétique du troupeau laitier et l'insémination artificielle.

Compte tenu de ses diverses fonctions présentées, le FIFAMANOR dispose d'une source de revenu instable, aléatoire qui ne permet pas au centre de pérenniser ses activités sur le long terme malgré ses diverses contraintes en particulier sur le coût énergétique du fonctionnement des matériels et équipements de production qui pèse lourdement sur son budget. De plus, le centre dispose d'une ressource importante en cheptel de 341 têtes bovines générant un gisement de déchet organique non encore exploité et évalué à 4740 kg/j. C'est dans ce contexte qu'a été née l'idée de ce travail de recherches intitulé : « Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR ». Diverses questions se posent entre autres :

- Ces matières organiques sont-elles valorisables à des fins agro énergétiques ?
- Quelle est la technologie appropriée pour les valoriser ?
- Est-elle faisable économiquement et rentable financièrement ?

L'objectif principal de ce travail de recherches est de valoriser les déchets solides de la ferme de FIFAMANOR à des fins agro énergétiques afin de réduire la consommation énergétique de la ferme mais aussi d'utiliser la nouvelle source d'énergie renouvelable qu'est le biogaz, une ressource énergétique écologique, propre et indépendante des ressources énergétiques primaires.

Ce document s'articule quatre grandes parties : la première partie informe le cadre d'études de ce travail de recherches. La deuxième partie trace la méthodologie adoptée pour la concrétisation de ce travail ainsi que les matériels d'expérimentation. La troisième partie du document présente l'évaluation économique et la rentabilité financière du projet. Et enfin la quatrième partie invoque les résultats et discussions concernant le projet.



PREMIERE PARTIE : CADRE D'ETUDES



CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE

Ce premier chapitre montre la présentation du lieu de stage, lieu où les études de laboratoire du projet sont exécutées, c'est-à-dire son historique, ses objectifs, ses missions, bref tout ce qui est utile à savoir en ce qui concerne le CNRIT.

I 1 Centre National de Recherches Industrielle et Technologique

I.1.1 : Fiche d'identification du CNRIT



Nom: CNRIT

Statut Juridique: EPIC

Adresse : 38, rue Rasamimanana Fiadanana, Antananarivo 101

Tél : 020 22 635.20

Mobile : 032 04 452 39 (Directeur)

E-mail : cnrit@moov.mg

Année de création : 1987

I.1.2 : Historique du CNRIT

Le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (C.N.R.I.T), sise au 38, rue Rasamimanana Fiadanana Tsimbazaza 101 Antanarivo, est un établissement public à caractère scientifique, technique et économique.

Il a été créé suivant le décret n° 87 – 288 du 28 juillet 1987 et réorganisé par le décret n°92-469 du 22 avril 1992 et placé sous la tutelle technique du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupRES) et sous la tutelle financière du Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget (MEFB). C'est ce dernier qui assure le financement de ce centre.

I.1.3 : Objet du CNRIT

Le CNRIT a pour objet :

- de contribuer à l'innovation,
- de participer à l'élaboration et la conduite de la politique nationale de recherches pour le développement industriel et technologique,
- de contribuer à la valorisation des résultats de recherches au transfert et à l'innovation,



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- de contribuer à la formation scientifique et technologique,
- de contribuer à la diffusion des informations scientifiques et technologiques en coopération avec le Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique (C.I.D.S.T.).

I.1.4 : Mission du CNRIT

Participer à l'élaboration et à la mise en œuvre de la politique nationale de recherches technologiques:

- Recherche et l'innovation ;
- Valorisation des matières premières et des ressources locales
- Développement des technologies endogènes ;
- Absorption et adaptation des technologies étrangères.

Valoriser et appliquer les résultats de recherches pour un développement durable (économique, social, environnemental) :

- Encadrer, assister et appuyer les opérateurs de développement ;
- Renforcer les capacités et les compétences régionales par la maîtrise des technologies propres;
- Gérer et protéger l'environnement (industriel, physique et social....).



Photo 1: CNRIT

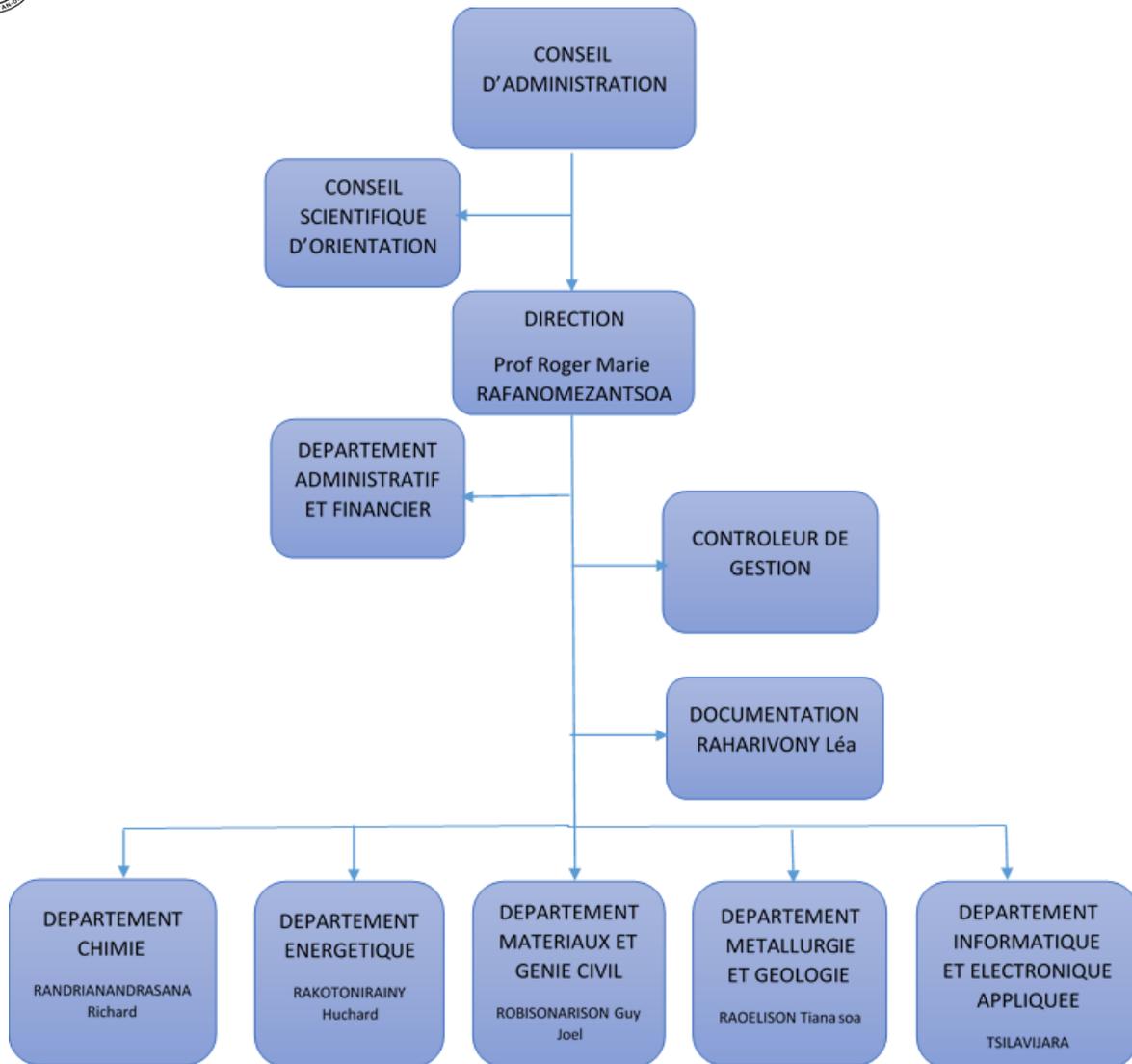


Figure 1: Organigramme CNTRIT

I.1.5 : Conseil d'administration

Le conseil d'Administration est l'organe chargé de présenter les programmes de recherches technologiques, les conventions en matière de recherche scientifique et technique auprès de l'instance hiérarchique supérieure. C'est à lui qu'incombent les tâches relatives aux états financiers du centre et la décision de la mise en œuvre des projets.

I.1.6 : Conseil scientifique d'orientation

Le Conseil scientifique d'orientation assiste le conseil d'Administration dans les instructions techniques des délibérations.



I.1.7 : Direction

La Direction a pour taches d'appliquer les décision et programmes validés par le conseil d'Administration. Elle a pour rôle de coordonner les différents départements techniques et structures d'Appui.

I.1.8 : Département Administration et financier

Il assure la gestion administrative et financière du centre, il gère aussi la logistique, la documentation et des gestions juridiques.

I.1.9 : Département Chimie

Ce département assume les trois fonctions suivantes :

- Connaissance et valorisation de matières premières locales
- Production d'intrants pour industrie ou artisanat
- Valorisation des résidus agricoles ou industriels

I.1.10 : Département Energétique

C'est à ce département que reviennent les missions suivantes :

- Maîtrise des Energies Nouvelles et Renouvelables et surtout les usages de l'énergie
- Formation et encadrement en ENR (énergie nouvelle et renouvelable)
- Assistance et maintenance en matière d'ENR.

I.1.11 : Département Métallurgie et Géologie

Le département métallurgie et géologie assure les fonctions de :

- Recherche technologique des métaux ferreux et non ferreux
- Recherche sur la technologie des matériaux réfractaires
- Amélioration des techniques de prospection minière
- Traitement des pierres industrielles et pierres fines
- Recherches sur les pâtes à grès.

I.1.12 : Département informatique

Il assure principalement :



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- La conception des systèmes d'informatiques
- L'élaboration des logiciels de gestion scientifique et technique
- La conception et réalisation des outils et des méthodes de développement en informatique
- La maintenance et réalisation d'appareils divers comme l'onduleur, interface, capteur,...

I.1.13 : Département Matériaux et Génie Civil

Le Département matériaux et génie civil s'occupe :

- Du transfert de technologie (formation, assistance, technique,.....)
- Des études, recherches, conceptions, évaluation des technologies de matériaux de la construction
- Des études, recherches, conception, évaluation de bâtiment économique et écologique

I.1.14 : Contrôle de Gestion

Essentiellement la fonction de cette unité consiste à assister la direction en matière de contrôle et de gestion.

I.1.15 : Division documentation

Ce département met à la disposition du CNRIT le mécanisme d'information capable de gérer les résultats d'études et des recherches appelées Système d'informations documentaires.

I.1.16 : Groupe Marketing et étude

Le groupe marketing et étude a pour tâche :

- Valoriser les résultats de recherches
- Vendre des brevets
- Créer des PME /PMI (petite et moyenne entreprise et petite et moyenne industrie)
- Rechercher des partenaires
- Analyser les besoins
- Faire des études de marché
- Orienter la recherche



I.1.17 : Structure d'Appui

Les tâches de la structure d'appui sont étalées sur deux niveaux :

- Au niveau des opérateurs, elle offre un appui et assistance (conseil, étude, analyse,), fait des encadrements (information, formation, évaluation) et assure le transfert de nouvelles technologies.
- Au niveau des chercheurs, elle propose des services, des encadrements des étudiants pour mémoire de fin de cycle.

I 2 Contexte de Stage

Les quelques semaines passés en période de stage au Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) ont permis d'appliquer les théories reçues durant les heures de cours. Il permet aussi de se familiariser aux différents matériels et équipements de laboratoire pour faciliter non seulement l'intégration ultérieure dans un environnement professionnel.

Un des Défis que le Département Energétique du CNRIT s'impose est de trouver les technologies de production d'énergies renouvelables, fiables, faisables et accessibles à la majorité des ménages Malagasy.

Le biogaz est un système de production d'énergie fiable et rentable, du point de vue économique et aussi bien qu'énergétique. Le fait que les matières premières à valoriser sont constituées de déchets organiques fermiers, agricoles ou ménagers, le biogaz représente un moyen de recyclage très favorable à la gestion de déchets et en effet à la préservation de l'environnement.

Même si le biogaz présente divers avantages socio-économiques et environnementaux, l'installation d'un tel système demande non seulement un investissement initial élevé qui n'est pas à la portée de la bourse de tous les ménages mais aussi une autre problématique qui est la disponibilité des matières premières.

De plus, ce stage m'a permis aussi à la concrétisation du projet axé sur la réduction du coût énergétique de la ferme de FIFAMANOR par l'utilisation du biogaz.



CHAPITRE II : PRESENTATION DU LIEU D'INSTALLATION DU DIGESTEUR

Le chapitre suivant expose tout ce qu'il faut connaître sur le lieu d'installation du digesteur étudié, qui se trouve à Andranomanelatra, dans la région de Vakinankaratra ; ses objectifs globales ou spécifiques, ses secteurs d'activités ou encore ses missions.

II 1 Présentation du lieu :



Photo 2: FIFAMANOR ARMOR



Nom : FIFAMANOR ou Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana

Numéro statistique : 72101 12 1974 0 00009

Adresse : BP 198, Andranomanelatra, Antsirabe 110

Statut : Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial, régi par le décret n° 92/853 du 23 Septembre 1992, modifié par le décret n° 96/362 du 08 Mai 1996. Dernier décret : EPIC régi par le décret n° 2013-743 du 1 octobre 2013.

Email : it.fifamanor@moov.mg

Téléphone : 020 44 991 39-020 44 965 79

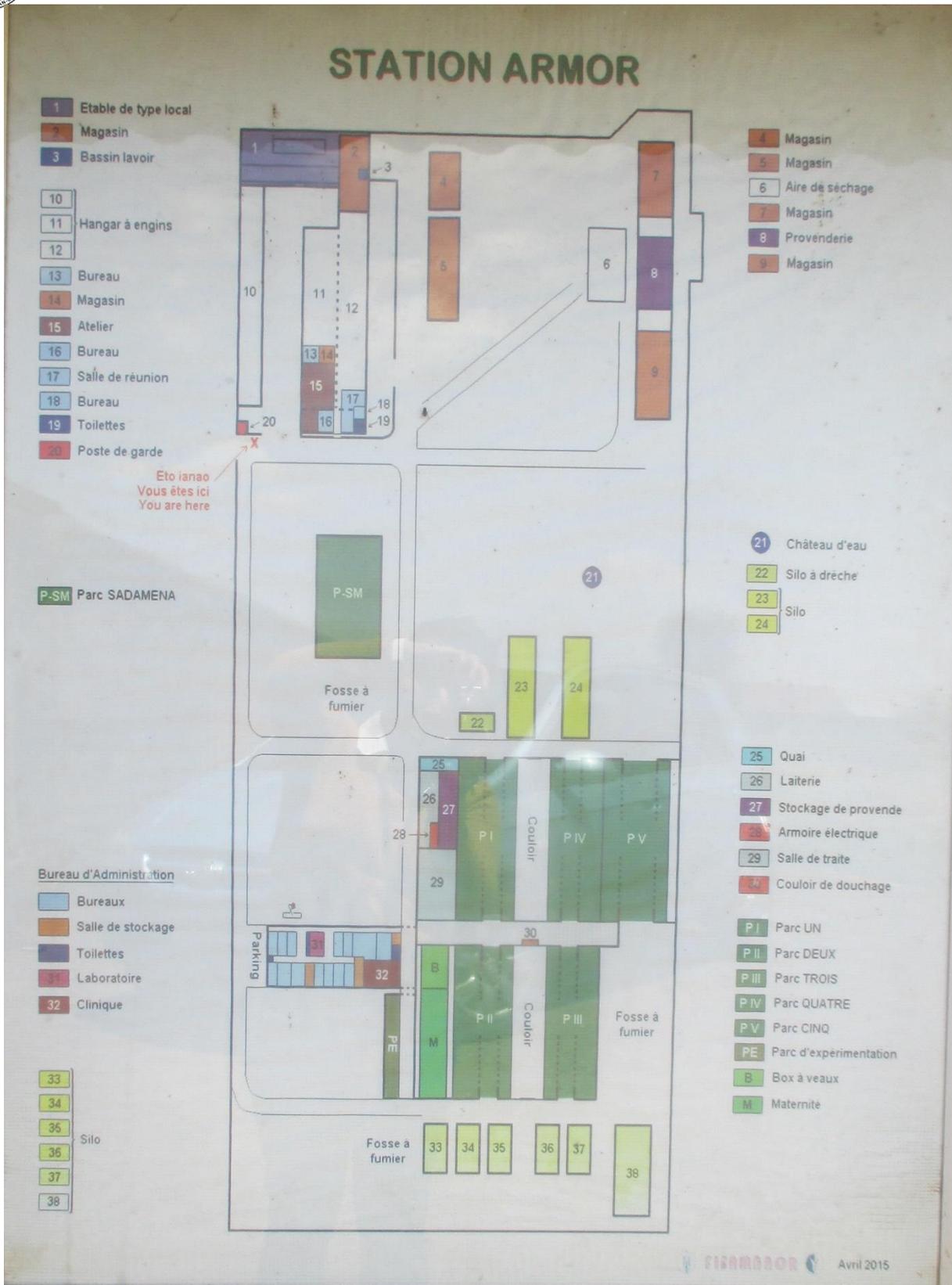


Photo 3: Plan de masse de FIFAMANOR : ARMOR



II 2 Historique :

En 1966, les membres du conseil d'administration de NORAD (Agence Norvégienne de Développement) ont effectué une visite de la ferme école TOMBONTSOA et ont décidé d'un commun accord avec les représentants du ministère chargé de l'agriculture malagasy de créer un projet de développement agricole dans la région du Vakinankaratra. Une commission mixte malgache-norvégienne a été constituée pour élaborer le projet avec la FAO. En 1971, NORAD a accepté de financer le projet proposé par la FAO soumis au gouvernement malagasy et approuvé par le Parlement Norvégien. En 1972, un accord bilatéral a été signé entre Madagascar et le Royaume de Norvège pour la promotion de la culture du blé, de la pomme de terre, pour la promotion et le développement de l'élevage laitier dans la région du Vakinankaratra. Projet baptisé : Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana ou FIFAMANOR , projet de 5 ans renouvelable qui a duré 20 ans. En 1992, FIFAMANOR doté d'un statut d'EPIC est devenu un Centre de Développement Rural et de Recherche appliquée. Sa mission n'a pas beaucoup changé, mais d'autres programmes de développement ont été rajoutés comme celui d'un développement social intégrant les femmes dans les activités menées. La devise étant « effort pour un essor ». Les zones d'intervention se sont étendues progressivement vers les quatre coins de l'île grâce aux diverses sources de financement qui lui ont été allouées.

La région du Vakinankaratra, zone privilégiée, a beaucoup bénéficié des activités de FIFAMANOR. Aujourd'hui, nous osons confirmer que 70 à 80% de la production laitière malgache proviennent de cette région, 60% de la production de pomme de terre est d'origine de Vakinankaratra et que toutes les variétés de pomme de terre existantes, diffusées et vendues sur le marché ont leurs sources à FIFAMANOR ; Une quarantaine de variétés de blé ont été diffusées, une trentaine de variétés de pomme de terre ont été identifiées et diffusées et plus de 4000 mâles de race pie rouge norvégienne sont nés de la ferme ARMOR et destinés pour l'amélioration génétique.

D'innombrables paysans, techniciens, étudiants et stagiaires ont pu bénéficier d'encadrement et de formations prodiguées par FIFAMANOR et beaucoup de résultats de recherche sont adoptés par les paysans. Mais beaucoup reste encore à faire.

Actuellement, FIFAMANOR est divisé deux centres:

- MIMOSA : basé sur la recherche et le développement de l'agriculture (plante tubercule, multiplication de semence)
- ARMOR : basé sur l'élevage de vache laitière



II 3 Organigramme

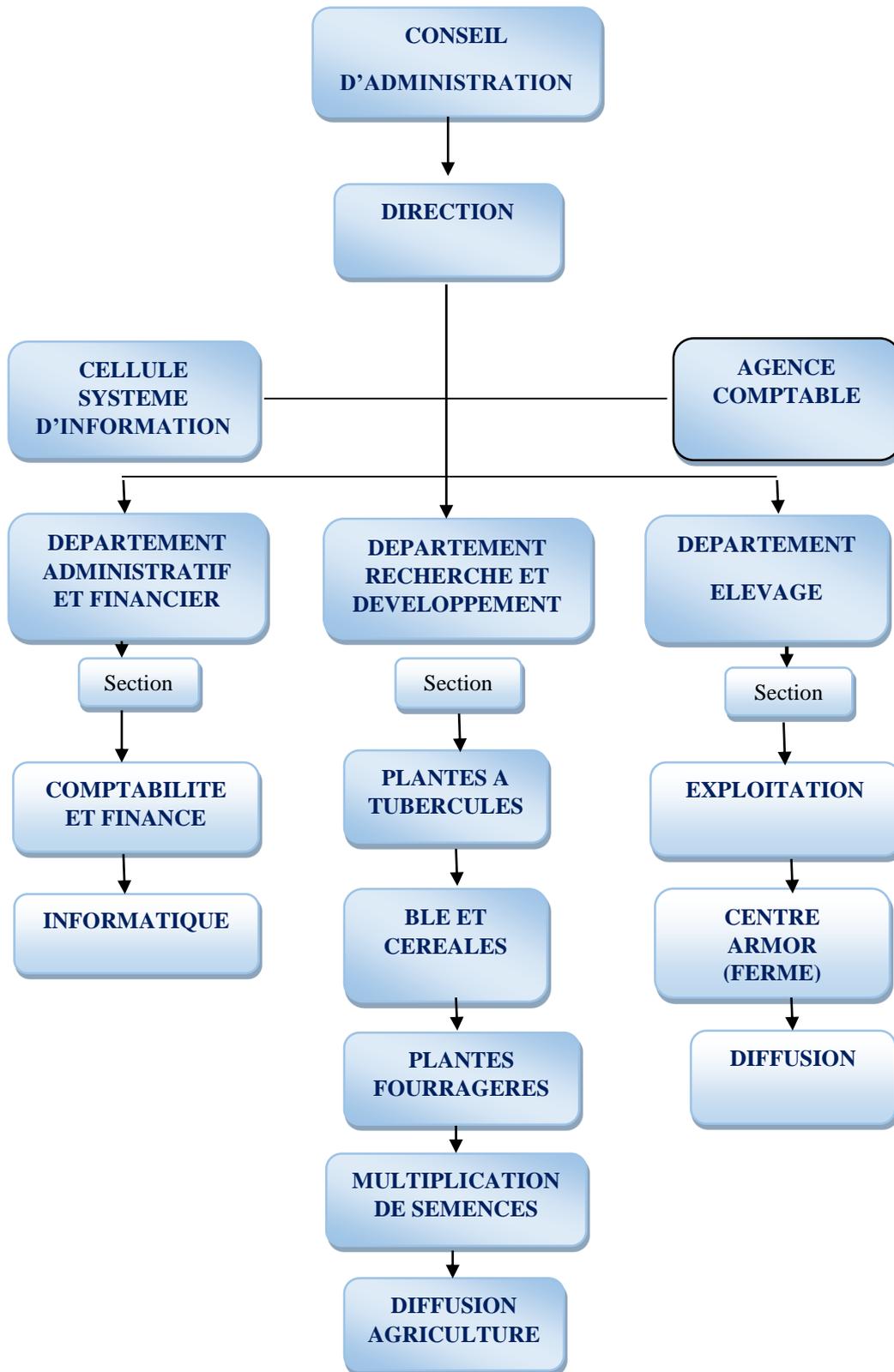


Figure 2: Organigramme FIFAMANOR



II 4 Objectif global:

« Contribuer à l'amélioration du niveau de vie des producteurs par la promotion des spéculations reconnues prioritaires de la région, entre autres, les plantes à tubercules, le blé, les autres cultures vivrières et fourragères, et la production laitière »

II 5 Objectifs spécifiques

- Contribuer à l'augmentation de la production agricole dans le domaine de ses compétences
- Contribuer à la diversification des activités agricoles
- Subvenir à son propre financement par la diversification de ses activités génératrices de revenu
- Privilégier les partenariats de recherche

II 6 Les secteurs d'activités

- Recherche appliquée à l'agriculture
 - Sélection variétale
 - Culture in vitro
 - Essai agronomique
 - Post-récolte
 - Accompagnement en milieu réel
 - Etudes agro-socio-économiques...
- Contrôle qualité des semences
 - Inspection au champ
 - Contrôle des semences au laboratoire
- Amélioration de l'alimentation animale et conduite d'élevage laitier
 - Expérimentation en alimentation des bovins laitiers
 - Analyse et détermination des valeurs alimentaires des fourrages
 - Calcul de ration et composition de provende
- Amélioration génétique des bovins laitiers
 - Insémination artificielle, race PRN
 - Sélection des bovins laitiers
 - Diffusion des géniteurs
- Analyse qualité du blé et de la farine



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- Teneur en eau
- Poids spécifique
- Poids de 1000 grains
- Rendement en farine
- Humidité
- Taux de cendres
- Teneur en protéines
- Qualité des protéines (Test Zeleny)
- Teneur en gluten
- Test Falling number
- Production de semences, de plants et des produits laitiers
 - Semences de pré-base et de base de pomme de terre, de blé/triticales, d'espèces fourragères
 - Semences de culture de riz pluvial, de maïs, de soja, de haricot...
 - Plants de taro, bananier, manioc, orchidées, géranium, canne à sucre... en fonction de la demande
 - Lianes de patate douce
 - Géniteurs femelles
 - Lait et des produits laitiers (beurre, crème)
- Diffusion des résultats de recherche
 - Démonstrations
 - Expositions
 - Visites – échanges
 - Guides et Fiches techniques
 - Films documentaires...
- Diffusion des techniques protégeant l'environnement (SCV, agroforesterie...)
 - Formation
 - Appui et conseil
- Formation et conseil :
 - des organisations paysannes
 - des étudiants et stagiaires
 - des techniciens agricoles
 - des organismes de développement (publics ou privés)
 - des opérateurs agricoles



II 7 Missions generales:

- Promotion de la culture du Blé et du triticales;
- Promotion de la culture de la pomme de terre, de la patate douce et éventuellement des autres plantes à tubercules ;
- Promotion de la production laitière, des fourrages et de l'amélioration génétique des bovins laitiers ;
- Développement d'un programme social visant l'intégration des femmes dans toutes les activités menées ;
- Centre de compétence pour l'amélioration variétale, la culture in vitro, la production de semences de base, l'amélioration génétique du troupeau laitier et l'insémination artificielle.
- Appui technique des organisations paysannes
- Conservation et utilisation rationnelle du patrimoine scientifique et technique ;
- Centre de formation de techniciens et de paysans en matière d'agriculture et d'élevage.

II 8 Département elevage : ARMOR

II.8.1 : Effectifs du cheptel au sein du FIFAMANOR

Le tableau suivant récapitule l'effectif et la répartition du cheptel de FIFAMANOR

Tableau 1: Situation du 01 Juin 2018

DESIGNATION	EFFECTIF
VACHE	148
- Traite	102
- Pleines	65
- Inséminées	117
- Taries	46
GENISSES	110
- Plus de 12 mois	77
- Pleines	22
- Inséminées	26
- 6 à 12 mois	33

VELLES (naissance à 6 mois)	15
TAUREAUX	8
Taurillons	36
VEAUX (naissance à 6 mois)	24
TOTAL	341
- Femelles	273
- Males	68

Source: FIFAMANOR, 2018

Bref, FIFAMANOR dispose au total 341 bétails dont : 273 femelles et de 68 mâles

II.8.2 : Les différents appareils utilisés au sein d'ARMOR

Les différents appareils utilisés par FIFAMANOR sont généralement:

- **Machine à traire :**

La machine à traire (trayeuse ou robot de traite) est un appareil permettant d'effectuer la traite mécanique des animaux en élevage laitier avec une pulsation de 45 aspirations par minute et une dépression de 30 à 50 mm Hg, permettant de retirer de la femelle 10 fois plus de lait que ce que l'on arrivait à obtenir par une traite manuelle,

La machine à traire est de Marque: ALFA LAVAL avec une puissance: 2, 2 KWh

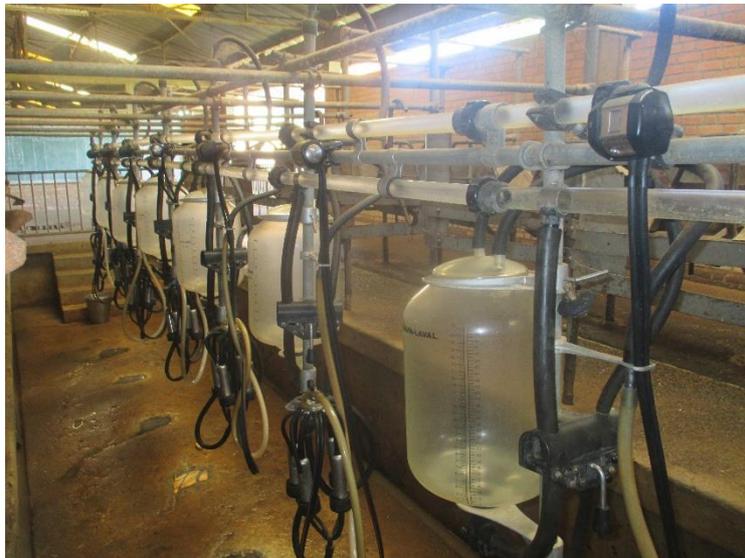


Photo 4: Machine à traire



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- **Tank à lait:** c'est un réservoir ou une cuve réfrigérateur du lait cru issu de la traite des animaux permettant de stocker et conserver celui-ci à une température ralentissant son altération jusqu'à sa transformation en fromage, beurre, lait stérilisé, etc.

FIFAMANOR utilise trois types de tank à différents volumes de stockage qui sont illustrés dans la figure suivante



Photo 5: Tank à lait 2700 Litre

- ALFA LAVAL

Type: HCA 2700

N° 2164

Puissance: 9 KW

Volume nominal: 2700 Litres



Photo 6: Tank à lait 2500 Litres

- LANDTEKNIKK A/L

Volume nominal: 2500 Litres

Puissance: 9,28 KW

Voltage: 380 V

Fréquence: 50 Hz

R12 15Kg



Photo 7: Tank à lait 800 Litres

- ALFA LAVAL

Type: RFT 800

Volume nominal: 800 litres

Volume minimal mesurable: 100 Litres

Puissance: 5,25 KW

Tension: 380V

R22

- **Broyeur**

Le broyeur est utilisé au sein de la provenderie pour broyer les matières premières composant la provende pour les bétails comme : le maïs, le tourteau (arachide, soja, coton), le coquillage, et le sel. Le tableau suivant récapitule les besoins en matières premières pour la production de 100 kg de provende.

Tableau 2: Quantité de matière première dans 100kg de provende

Composantes	Pour 100 Kg de provende
Maïs	60%
Tourteau (arachide,soja, coton)	30%
Coquillage, sel, CMV (complement Multi-Vitamine)	reste

Source: FIFAMANOR, 2018

Il faut savoir qu'une vache mange en moyenne 10% de son poids. Pour son usage usuel, la FIFAMANOR dispose de 02 broyeurs qui sont illustrés par les photos suivant



Photo 8: Broyeur 1

Moteur: 3000 tr/min

Puissance: 5,5 KW



Moteur: 1500 tr/min

Puissance: 5,9 KW

Photo 9: Broyeur 2

FIFAMANOR utilise chaque jour le broyeur pour l'alimentation du cheptel. Le tableau suivant informe la quantité de matière première broyée par an pour la ferme FIFAMANOR.

Tableau 3: Quantité de matière première broyée par an

Matières	Quantité (tonne/an)	Quantité (tonne/mois)	Quantité (tonne/j)
Maïs	150	12,5	0,417
Tourteau	60	5	0,17
Coquillage	7	0,58	0,02
Sel	1	0,08	0,003

Source : FIFAMANOR, 2018

Ce tableau informe que 70% de la matière première broyée chaque jour pour l'alimentation du cheptel est le maïs, 27% de tourteaux, 4% de coquillage et le reste du sel.



CONCLUSION PARTIELLE

Cette première partie a montré respectivement le lieu de stage et la zone d'étude de ce projet qui est, le CNRIT ou Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, lieu où le travail de laboratoire a été effectué, qui a pour mission la maîtrise des ENR visant en particulier les usages de l'énergie. FIFAMANOR ou Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana, lieu d'installation du digesteur étudié qui a comme ressource des bouses de vaches non valorisées avec 341 cheptels.

Le thème de ce projet est la réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités au sein de FIFAMANOR. La deuxième partie « matériels et méthodes » informe les différentes sources d'énergie possibles, puis les processus de production d'énergie appropriée en fonction de la ressource de FIFAMANOR et enfin l'évaluation de cette ressource et la production de Biogaz.



DEUXIEME PARTIE : MATERIELS -METHODES



CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE

Le monde déborde de différentes ressources énergétiques. Ce chapitre montre la situation énergétique actuelle dans le monde et spécialement à Madagascar.

I 1 Les sources d'énergie disponibles

L'énergie désigne tout ce qui permet d'effectuer un travail, de fabriquer de la chaleur, de la lumière et de produire un mouvement.

I.1.1 : Les énergies non renouvelables

Les énergies fossiles sont des sources utilisées à partir du deuxième siècle, mais la plupart des ressources de cette source sont limitées et intermittentes. Les différentes sources les plus utilisées au monde sont :

- Charbon : Le charbon est la source d'énergie fossile la plus abondante et la mieux répartie dans le monde. Le charbon s'est formé il y a plusieurs années à partir de végétaux engloutis par les eaux lors de bouleversements géologiques importants. Il existe différents types de charbon (l'antracite, la houille, le lignite, la tourbe) qui n'ont pas tous le même pouvoir énergétique.
- Pétrole : Le pétrole est la première source d'énergie mondiale. Formé à partir du plancton qui s'est déposé au fond des mers, le pétrole fournit près de la moitié de la demande totale en énergie primaire.
- Gaz naturel : Le gaz s'est formé en même temps que le pétrole. Issu de la transformation naturelle durant des millions d'années de matières organiques, le gaz provient de couches géologiques du sous-sol où il se trouve soit seul, soit en association avec du pétrole.
- Uranium.

I.1.2 : Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables constituent historiquement les premières sources d'énergies utilisées par les hommes. Fournies par le Soleil, le vent, la chaleur de la Terre, les chutes d'eau, ces énergies – par définition – se renouvellent naturellement après avoir été consommées et sont donc inépuisables (au moins sur des très grandes échelles de temps).



Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine. Au total, on peut compter six types d'énergies renouvelables :

- l'énergie solaire : le Soleil renferme de l'énergie nucléaire transformée en énergie thermique par des réactions de fusion. Une partie de cette énergie est transférée sur Terre par rayonnement.
- l'énergie éolienne : l'air en mouvement possède de l'énergie mécanique qui permet de faire tourner les pales d'une éolienne.
- l'énergie hydraulique : L'eau en mouvement possède de l'énergie mécanique.
- l'énergie géothermique : Le sol renferme de l'énergie thermique.
- la biomasse : Le monde vivant, végétal et animal, possède de l'énergie chimique.
- le biogaz ou énergie des déchets.

I.1.3 : Les avantages et inconvénients de ces sources d'énergie

Tableau 4:Avantages et inconvénients des ressources énergétiques

		Avantages	Inconvénients
Energie renouvelable	non	-Cout pas très élevé -Facile à manipuler	-Entraîne la destruction de la couche d'ozone -Polluante (mauvais pour l'environnement)
Energie renouvelable		-Inépuisable et non polluante -écologique et ne dégage pas de GES	-Investissement initial élevé

I 2 Situation Energétique à Madagascar

I.2.1 : La Potentialité en source d'énergie Renouvelable à Madagascar (Cabinet AIDES, 2012)

Madagascar dispose d'un énorme potentiel énergétique renouvelable mais qui reste sous exploité.

- Le potentiel hydraulique est estimé à 7800 MW, or seul 160 MW qui sont pour le moment exploités.



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- D'après différentes études effectuées antérieurement, Madagascar dispose d'un important potentiel en source d'énergie solaire, presque toutes les régions de la grande Ile ont plus de 2 800 heures d'ensoleillement annuel. Cette énergie solaire représente une énergie incidente de l'ordre de 2 000 kWh/m²/an.
- Le potentiel Éolien est rationnel avec une vitesse de vent moyen de 6 à 9 m à 50 mètres de hauteur dont le potentiel est de l'ordre de 2000 MW. Le Nord (région Sava) et le Sud (région Androy) présente un potentiel favorable à la production d'électricité.
- La valorisation de la biomasse issue des déchets agricoles et agro industriels est possible à cause de l'abondance des matières premières compte tenu de la condition climatique convenable et du taux élevé (80%) de la population Malagasy qui sont des paysans.

Malgré la disponibilité de ressources en énergies renouvelables et un cadre législatif désormais clair et favorable, peu de programmes ont été mis en place pour leur exploitation. C'est pourquoi l'énergie renouvelable reste au stade de prototype par rapport à l'utilisation du thermique et de l'exploitation de la forêt et de ses dérivées.

I.2.2 : La gestion des déchets à Madagascar

Auparavant, la gestion des déchets à Madagascar était à la charge de la commune, mais actuellement le service a été transféré auprès de la Ministère de l'eau. Pour les grandes villes, des prestataires de service assurent la collecte des ordures dans les bacs et le transport par bennes dans les décharges. A Antananarivo, c'est la SAMVA (service Autonome de Maintenance de la ville d'Antananarivo) est le prestataire de service. La collecte s'effectue au niveau des fokontany par le biais de RF2 et les ordures sont déchargées vers Andralanitra, dans la commune Rurale d'Ambohimangakely.

Toutes les décharges à Madagascar sont à ciel ouvert. Aucun traitement ni valorisation ne fait objet d'un programme gouvernemental. Les déchets sont mis en décharge sans triage, ce qui rend encore difficile son moyen de valorisation. Le brûlage pur et simple est la seule technique adoptée pour éliminer l'entassement de ces déchets au niveau des décharges finales.

A Antananarivo, la production de déchets ménagers est estimée à 0,6 kg par jour et par habitant. Cette production est plus élevée par rapport à d'autres villes africaines, telles que Lomé (0,51 kg/hab/j) ou encore Addis Abeba (0,37 kg/hab/j), mais légèrement inférieure à la moyenne des capitales africaines (0,65 kg/hab/j). Pour l'année 2014, le gisement des déchets ménagers dans la capitale a été évalué à 320 000 tonnes par an, soit 875 tonnes d'ordures ménagères produites



par jour. Les déchets produits à Antananarivo proviennent essentiellement des grands marchés de la ville puis des ménages. Ces déchets sont à 65% de déchets fermentescibles.

Sur la totalité des ordures ménagères de la ville, seuls 50 % sont ramassées par le service de collecte associé à la municipalité. Le nombre de bennes insuffisant ainsi que leur localisation parfois éloignée des zones d'habitations informelles, accentuent la propagation des dépôts sauvages. [23]

I.2.3 : La valorisation des déchets à Madagascar

Dans les grandes villes, chaque jour, les résidus des ménages, des établissements, des voies publiques et des marchés sont estimés à 500 m³ à Antananarivo et 170 m³ à Mahajanga (GDSA, 2016).

La valorisation de ces déchets par bio-méthanisation est une solution pour résoudre des demandes ponctuelles.

La stratégie du programme Déchets organiques prévoit la valorisation de ces déchets au niveau de la Ville. A cet effet, des projets menés par l'IMV et la CUA appuient la production de compost urbain à destination des agriculteurs urbains et des services d'entretien des espaces verts de la commune. Il y a incontestablement un besoin de production de proximité de compost. Le compostage de déchets organiques urbains faciliterait d'une part, l'accès au substrat compost pour les maraichers urbains, et d'autre part permettrait de valoriser les déchets organiques, réduisant ainsi les contraintes liées au transport des déchets vers la grande décharge municipale d'Andralanitra et à la propagation des dépôts sauvages en milieu urbain. [23]

Les déchets urbains ne sont pas valorisés à des fins énergétiques mais plutôt à la récupération et au recyclage. Les habitants qui côtoient les sites de décharge gagnent leur vie en récupérant des objets qui peuvent encore être utilisés ou recyclés et les vendent à des entreprises de recyclage.

A Madagascar les recyclages des déchets en matières plastiques ou synthétique sont dominés par les secteurs comme:

- le PET (Polyéthylène tétraphthalate) qui est recyclé sous forme de bouteilles et est acheté par des informels ou par la Brasserie STAR.
- SFOI ou Société de Fabrication de l'océan Indien
- la VITAPLAST et le PLASTIK



Au niveau de ces décharges finales, plusieurs types de déchets peuvent être valorisés entre autres :

- Les matières organiques : la technologie de compostage et de méthanisation sont les plus pratiquées actuellement pour obtenir du compost et aussi du biogaz et des engrais biologique ;
- Les charbons de bois : les poudres de charbon de bois peuvent être recyclés et agglomérés pour obtenir des briquettes combustibles alternatives au bois énergie ;
- Les films servant d'emballage industriel qui peuvent être obtenus propres et qui sont recyclés sous forme de résine par des sociétés privées après lavage, séchage et broyage.
- les films de sacs de marché sont recyclés par des centres de tri privés comme le FAKOFIA réalisé par le CTVD (Centre de Tri et Valorisation de déchets à Fianarantsoa) ;
- Les verres : sont très difficiles à valoriser. Seule, la Brasserie STAR Antsirabe récupère les verres pour les envoyer à la Société de cimenterie Holcim ;
- Les métaux : Les Aluminiums sont recyclés pour fabriquer des marmites et des ustensiles de cuisine dans la ville d'Ambatolampy. Les fers sont vendus dans les fonderies ;
- Les papiers et cartons : Ceux qui peuvent encore être recyclables sont récupérés par des usines de fabrication de papier et les autres sont transformés soit en papier hygiénique, en briquette, en emballage ou en pot pour plante de pépinière ;
- Les batteries : le recyclage de batteries usées aboutit à la récupération de plomb, du polypropylène, de 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 le plus exploité à Madagascar (recharge de cartouche d'encre, de récupération d'onduleurs et de batteries, recyclages d'ampoules incandescentes par incorporation d'iodes et de leds, réparation de téléviseurs, des téléphones et de matériels électroménagers)

I.2.4 : Le but de la valorisation des déchets à Madagascar

Plus de 94% des ménages utilisent encore du charbon de bois et des bois de chauffe comme énergie domestique à Antananarivo et si aucune mesure ne sera prise, les ressources forestières de la Grande Ile vont disparaître. [22]



La fermentation anaérobie des ordures ménagères et des déchets agricoles et des excréments animaux permet de :

- réduire les contaminations par pollution tellurique des nappes phréatiques, des eaux de surface, de la surface du sol, des plantes et de certains animaux destinés à l'alimentation de l'homme
- réduire la prolifération des maladies telluriques généralement rencontrées: celle d'origine bactérienne (tétanos, salmonelloses,..) ou d'origine parasitaire (helminthiases, amibiase,...)
- réduire la prolifération des mouches, des rongeurs et des moustiques :
- diminuer le dégagement d'odeur très désagréable.
- avoir le biogaz pour les usagers domestiques
- substitution des produits pétroliers par le biogaz dans les zones isolées.

I.2.5 : Le biogaz à Madagascar (Mission économique, 2007)

A Madagascar la première réalisation en matière de biogaz est celle du Docteur METZEGGER, chef de la circonscription vétérinaire d'Antsirabe, en 1949. Il s'agissait de deux fosses en briques servant de cuve de fermentation et qui avaient été alimentées avec du fumier de bœufs. Le gaz produit avait été utilisé pour la cuisine. D'autres pionniers comme RASOLOFOARIMANANA ont construit plus tard d'autres réalisations, comme le digesteur en tôle métallique de la ferme d'Etat de la Sakay en 1972, l'installation d'Antsahasoa près d'Iavoloha en 1980, l'unité de biogaz du Juvénat de Saint Gabriel à Mahajanga, les deux digesteurs en béton du centre Notre Dame de Clairvaux à Ivato en 1984, le digesteur à dôme métallique du Centre d'Apprentissage Rural de Bevalala en 1984. Même si beaucoup d'autres projets de construction de digesteurs ont été élaborés pour des fermes se trouvant à Mahajanga, à Sakay et Ambanja, il existe encore très peu d'installation de méthanisation à Madagascar, et la plupart de celles qui ont existé sont déjà toutes hors d'usage actuellement.

D'autres projets ont été instaurés avec la collaboration de la FAO, du PNUD et du ministère chargé de l'Energie comme la mission de consultance sur les possibilités de développer un programme sur la technologie du biogaz réalisée en 1984. Puis en janvier 1985, une commission technique interministérielle avait été créée sur l'initiative du Ministère de la Recherche Scientifique et Technologique pour le Développement (MRSTD) pour assurer des échanges d'information et de coordination entre les services techniques intéressés par la maîtrise et l'extension de cette technique. C'est ainsi qu'une autre commission a permis d'élaborer le projet



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



unique qui a été soumis à la FAO. Le projet avait été fondé pour une durée de deux ans à compter du mois de septembre 1986 jusqu'en juin 1988.

Le secteur biogaz est devenu une technique de production d'énergie commune à Madagascar grâce à la disponibilité des matières premières et aux conditions climatiques de la grande île.

Tableau 5: Sites des installations de biogaz du projet avec la FAO à Madagascar

Localisation du site	Volume du réacteur (m3)	Type du réacteur	Date de démarrage	Substrats utilisés
Amboasarikely	10	A ballon de stockage en bâche	oct-87	Déchets porcins
Antsoantany	10	A cloche flottante	nov-87	Bouse de vache
Ampitilina	15	Borda à cloche métallique	déc-87	Bouse de vache
Antsoantany Androtra	15	GTZ à dôme fixe	janv-88	Bouse de zébus
Ambohimirary	8	GTZ à ballon de stockage	janv-88	Latrine et déchets porcins
Ampizazantany	15	Borda à cloche flottante en FRP	févr-88	Bouse de zébus et de vaches
Faratsiho	15	A cloche flottante	juin-88	Bouse de zébus
Tsinjoarivo	130	Plug-flow de couverture en ballon en PVC	sept-88	Bouse de zébus, de purin de porc

Source : Mission économique, 2007

Actuellement, plus de 1000 digesteurs sont en phase de préparation tandis que 100 sont déjà en place.

Le tableau suivant récapitule l'effectif des installations de biogaz évalué en 2011 par WWF

Tableau 6: Effectif des installations de biogaz à Madagascar

Etats	Nombre de digesteurs	Volume de digesteur en m3
Arrêté	53	329
En cours	33	297
En préparation	15000	90000
Suspendu	13	205



Total	15099	90831
--------------	-------	-------

Source : WWF, 2011

A Madagascar, il existe déjà plusieurs Organisations de la recherche universitaire malgache sur les énergies renouvelables comme :

- Groupe des Energies Nouvelles et Renouvelables (G.E.R.N) de l'Université Nord de

Madagascar (Antsiranana);

- Centre National de Recherches Industrielle et Technique (C.N.R.I.T.) du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
- HERY VAO
- ENERGIE TECHNOLOGIE
- ANGOVO
- TRANSENERGIE

Malgré le fait que la technique de production du biogaz semble facile, sa construction est en revanche très complexe, d'où le coût de construction très élevé. Selon la société BIOGASY, l'investissement requis pour l'installation de biogaz est de l'ordre de 200000 MGA/m³.

Le problème du développement du biogaz à Madagascar est nombreux entre autres :

- L'investissement initial élevé ;
- Le problème d'emprunt au niveau de la banque ou des microcrédits ;
- La maîtrise de la technologie de biogaz ;
- Le défaut de l'IEC (Information, Education, Communication) ainsi et surtout la sensibilisation au niveau de la population



CHAPITRE II : PROCESSUS DE PRODUCTION DE BIOGAZ

La méthanisation est le processus de production d'énergie choisis pour cette étude. Ce chapitre informe sur les généralités, le principe, les paramètres et tous ce qu'il faut savoir en ce qui concerne la méthanisation.

II 1 Synthèse bibliographique sur la production de biogaz (HESS J, 2007)

Le biogaz est un gaz provenant de la dégradation de la matière organique par l'action de bactéries anaérobies dans un réacteur appelé biodigesteur. Ce phénomène s'appelle la méthanisation ou fermentation anaérobie.

II.1.1 : La Méthanisation

II.1.1.1 Définition

La méthanisation est un procédé de valorisation des déchets agricoles permettant d'obtenir une énergie renouvelable : le biogaz. Le biogaz est un gaz combustible, mélange de gaz carbonique et de méthane, qui provient de la dégradation des matières organiques mortes (animales ou végétales), dans un milieu anaérobie. Cette fermentation est le résultat d'une activité microbienne naturelle.

II.1.1.2 Historique

La découverte de la méthanisation remonte en 1776 lorsque l'inventeur de la pile électrique, Alessandro Volta, observa la libération de gaz au-dessus d'un marais. Après avoir étudié ce phénomène, il mit en évidence que le "gaz des marais" était inflammable. Ce n'est qu'en 1892 que le nom de méthane fut admis. Le méthane se forme dans des milieux anaérobies naturels (fumier, lacs, rizières, tourbières, sols humides des forêts tropicales, sédiments marins) par décomposition des déchets organiques sous l'action de bactéries. Les processus de digestion de certains animaux, comme les ruminants (vaches, chèvres) et les termites, libèrent une quantité importante de méthane, qui est un gaz à fort effet de serre.

II.1.2 : Principe de fonctionnement de la méthanisation

Les résidus organiques sont composés d'une grande variété de matériaux différents. Leur dégradation passe par de nombreux intermédiaires entre la matière organique initiale et le biogaz final. Elle est classiquement divisée en quatre étapes.

Une réaction d'hydrolyse des substrats en premier lieu, puis une réaction d'acidogènes, ensuite une réaction d'acétogénèse, enfin la réaction de méthanogènes caractérisée par la formation proprement dite de méthane.

Ces quatre phases du processus sont indissociables et forment la digestion anaérobie de la matière organique, comme décrite dans la figure :

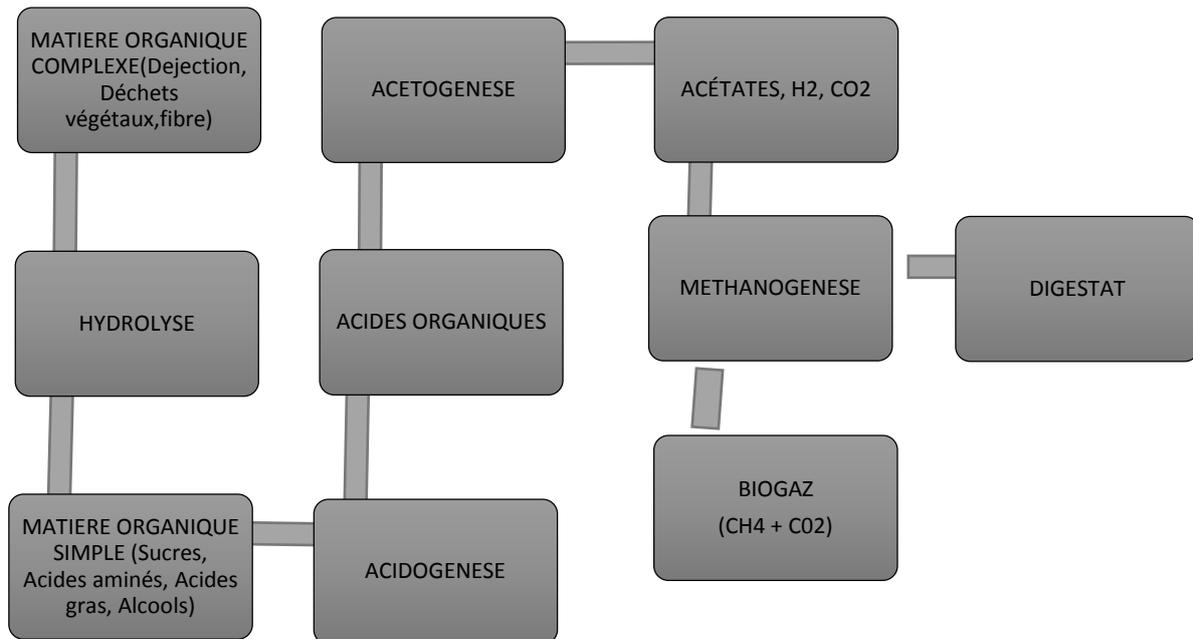


Figure 3: Processus de fonctionnement de la Méthanisation

II.1.2.1 Hydrolyse

Durant cette étape, des longues chaînes de molécules comme les polymères sont transformées en molécules simples tel l'oligomère et monomère (sucres, protides, acides aminés, glycose, purine, pyridine). Plusieurs bactéries hydrolytiques (lipase, protéase, pectinase, cellulase, amylase) excrètent des enzymes exocellulaires comme catalyseur de la décomposition. Par exemple : la cellulose et l'hémicellulose sont de longues chaînes de polysaccharides qui peuvent être transformées en molécules très simples comme le sucre. Les protéines sont transformées en acides aminés, les glucides en monosaccharides, puis en acides, aldéhydes et alcools, les lipides en acides gras, glycérols ou autres alcools et le pH doit être compris entre 4,5 et 6,3.



II.1.2.2 Acidogénèse

C'est la formation de matière organique soluble. Les microorganismes tels que : le Clostridium, le Ruminococcus, le Paenibacillus transforment les monomères obtenus dans la phase hydrolyse en acide gras volatils (propionate, butyrate, mais également en propionate, lactate, ou en alcools tels que le méthanol, l'éthanol, alcool), et acides organiques ainsi qu'en dioxyde de carbone et hydrogène et le pH du milieu peut varier de 4,5 à 6,3 et la fermentation doit être en milieu anaérobie stricte.

II.1.2.3 Acétogénèse

L'étape d'acétogénèse permet l'utilisation des différents composés issus des phases précédentes en précurseurs direct du méthane : l'acétate, l'hydrogène et le gaz carbonique. Cette transformation peut avoir lieu via deux voies différentes : par la voie hétérofermentaire qui produit de l'hydrogène, du dioxyde de carbone, mais aussi d'autres acides tels que le pyruvate, le butyrate et le propionate par la voie homoacétogène qui produit uniquement de l'acétate à partir de molécules organiques ou des produits finaux de fermentation et la valeur de pH doit être comprise entre 6,8 à 7,3 et l'environnement soit strictement anaérobie.

II.1.2.4 Méthanogénèse

La méthanogénèse est la phase finale pour produire du gaz, plus précisément, c'est la formation de biogaz et de digestat. C'est l'étape la plus délicate des quatre procédés.

Pendant cette phase, les microorganismes unicellulaires appelés archaebactéries se forment, ces derniers sont le responsable de la production du méthane à partir de l'acétate, de l'hydrogène et du dioxyde carbone et la valeur du pH doit être comprise entre 6,8 à 7,3 et l'activité est en milieu anaérobie.

II.1.3 : Paramètres d'optimisation de la méthanisation (Philippe N, 2011)

Plusieurs facteurs interagissent entre eux et influencent la vitesse et l'efficacité de la digestion anaérobie.

II.1.3.1 La température

Elle conditionne l'activité des micro-organismes et donc la production de méthane, qui est négligeable à 0°C, exploitable dès 15°C, elle augmente rapidement à partir de 20°C avec un maximum à 37-40°C.



Les fermentations anaérobies produisent très peu de chaleur, les unités de méthanisation sont donc souvent équipées de systèmes de chauffage externe, consommant une partie du méthane produit. Pour limiter l'autoconsommation, les digesteurs sont isolés thermiquement.

II.1.3.2 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 boues fraîches séjourne dans le digesteur. Il s'obtient en divisant le débit de boue 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.

II.1.3.3 Le pH

Le pH optimal est neutre (pH = 7). Quand pH < 6, les bactéries méthanogènes sont fortement inhibées. Une chute de pH traduit un dysfonctionnement : la production d'AGV est supérieure à leur consommation.

Un apport d'Alcali (lait de chaux, soude, potasse, carbonates...) peut remonter le pH à 7 - 7,5. En général, on préfère travailler à pH compris entre 7,5 et 8 pour s'assurer une marge de sécurité, pour intervenir en cas de baisse de pH régulière. Le pH est un paramètre primordial de contrôle du processus de méthanisation.

II.1.3.4 L'humidité

Dans tous les cas, l'humidité des déchets doit être suffisante pour que l'hydrolyse puisse se dérouler normalement. L'humidité minimale est de 60 à 70%. Si au contraire l'humidité est insuffisante, l'acidification se fait trop vite au détriment de la méthanisation.

II.1.3.5 Le rapport Carbone/Azote

Les bactéries qui interviennent dans la méthanisation consomment à peu près 30 fois plus de carbone que d'azote, si bien qu'un rapport C/N compris entre 25 et 30 est optimum.



Elle ne doit jamais être supérieure à 35 ; cela dit, si elle est en dessous, la production de biogaz sera plus lente.

II.1.3.6 L'agitation

Permet d'homogénéiser les conditions du milieu dans le réacteur, mais il n'est pas absolument nécessaire pour que la fermentation s'instaure. Il est par contre indispensable dans des systèmes à dominante liquide : il permet d'éviter la sédimentation des matières et de multiplier les contacts entre les substrats et la flore fixée. Il permet ainsi d'optimiser l'instauration et le réensemencement de la flore anaérobie.

II.1.4 : Les principaux inhibiteurs de la digestion anaérobie (Billaud and Varagnat, 1983)

II.1.4.1 Acides gras volatils (AGV)

Les AGV sont les intermédiaires les plus importants de la digestion anaérobie. Leurs productions se font lors de l'acidogénèse pour être ensuite convertis soit en méthane, soit en acétate. L'accumulation d'AGV provoque une baisse de l'alcalinité et du pH. Entraînant une diminution de l'activité des micro-organismes méthanogènes et donc du rendement. La teneur en méthane diminue au dépend du CO₂.

II.1.4.2 Présence de toxicité:

- L'ammoniac :

L'azote contenu en quantité importante (effluents d'élevage, déchets agroalimentaires...) dans les déchets de la méthanisation est réduit sous forme d'ammoniac. L'azote ammoniacal est inhibiteur de la méthanisation et plus particulièrement de la méthanogénèse acétoclaste au-delà de quelques grammes. Cet effet est dû à la forme libre NH₃, il est donc dépendant du pH et de la température. La concentration en ammoniac est donc plus élevée en conditions thermophiles.

Il est possible d'augmenter le seuil de toxicité au NH₃, en adaptant à des concentrations croissantes de l'ammoniac la capacité de l'écosystème du méthaniseur.

- Le sulfure d'hydrogène :

Le sulfure d'hydrogène, H₂, est le produit de réduction du sulfate par les bactéries sulfato-réductrices. Il est donc produit au cours de la digestion anaérobie d'effluents riches en sulfate



ou en protéines soufrées. Cette substance est toxique pour les micro-organismes méthanogènes. Il inhibe la production de biogaz dû à une réaction du sulfate le formant.

Les sulfures dissous précipitent avec certains cations pouvant provoquer des carences en métaux (cobalt, nickel...).

II.1.5 : Les produits issus de la méthanisation : le biogaz et ses composants (Billaud and Varagnat, 1983)

La méthanisation transforme essentiellement la matière organique en un gaz énergétique appelé « biogaz » composé de différents gaz issus des réactions biologiques.

II.1.5.1 Le biogaz

Le biogaz est composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone. Les proportions varient en fonction de la nature du substrat et des conditions opératoires.

- Composition du biogaz

Suivant sa provenance, le biogaz contient aussi des quantités variables d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré (H_2S), d'oxygène, de composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds, ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces com.

Tableau 7: Composition générale du biogaz

Gaz	Symboles	Pourcentage volumique
Méthane	CH_4	50 à 70
Gaz carbonique	CO_2	35 à 40
Hydrogène sulfuré	H_2S	Traces
Oxygène	O_2	Traces
Vapeur d'eau	H_2O	≈ 6%
Organo-halogéné	(Cl, F)	Traces

Source: Billaud and Varagnat, 1983

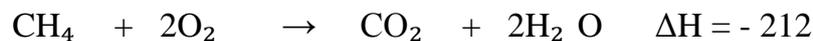


- Caractéristique physique du biogaz

Le sulfure d'hydrogène donne l'odeur désagréable du biogaz, mais elle disparaît dans les flammes. Il permet aussi de détecter facilement les fuites. Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du biogaz (contenant 60 % de méthane) s'élève à 21524 kJ par m³ ou 5140 kcal/m³, c'est-à-dire 6 kWh par m³. La masse spécifique de ce biogaz est légèrement inférieure à celle de l'air : 1,2 kg/m³. Ainsi, il ne stagnera pas à la surface du sol et les risques d'asphyxie et d'explosion sont très réduits.

- Potentialité énergétique

Elle est appréciée en fonction du taux du gaz méthane que contient le biogaz. Constituant majoritaire de ce dernier, le combustible méthane confère au biogaz son aptitude à produire de l'énergie, généralement par combustion, selon la réaction suivante :



Une teneur élevée en méthane correspond donc à un biogaz de forte potentialité énergétique, et inversement.

Tableau 8: Equivalence énergétique de 1m³ de méthane

	1M ³ Méthane
Butane	0,43 L
Bois	2,1 à 4 Kg
Charbon de bois	1,3 Kg
Gasoil	0,7 L
Electricité	2 à 9 kWh
Gaz naturel	0,94 m ³
Essence	0,8 à 1,7 L
Fuel	1 L
Pétrole	1,06 L

Source: LAGRANGE, 1979



II 2 La valorisation du méthane

II.2.1 : Le digestat

Le digestat est le produit organique résiduel issu du processus de méthanisation. Il est composé de la matière organique non dégradée lors de la digestion ainsi que de la matière minérale composée d'azote (sous forme ammoniac), de phosphore ou encore de potassium, ainsi que d'oligoéléments.

Cette composition lui apporte une forte valeur fertilisante. Son utilisation permettrait l'obtention de meilleurs rendements agricoles, notamment grâce à la teneur importante en azote ammoniacal directement assimilé par les végétaux.

Selon un essai au champ, l'apport de digestat permettrait de palier à l'utilisation d'engrais azoté ; l'efficacité étant similaire. Selon ce rapport, l'apport de digestat issus de ferme augmenterait de 6 à 20% les rendements de production végétale. Plus particulièrement, ceux issus de bouse aurait permis d'augmenter le rendement de cultures de graminées et de légumineuses de 45% (par rapport à des cultures n'ayant pas été traitées).

De plus, il constitue également un excellent engrais pour les étangs piscicoles. En effet, les éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) qu'il contient, sont utilisés par les phytoplanctons pour leur croissance et leur reproduction. Ainsi, on obtient d'avantage d'organismes nutritifs naturels pour nourrir les poissons.

II.2.2 : Les différentes technologies de valorisations du biogaz

Le biogaz est utilisé en tant que combustible ou carburant pour éviter le rejet à l'atmosphère du méthane, gaz participant à l'effet de serre. Il peut servir à la production de la chaleur ou de l'électricité ou les deux à la fois.

Par ailleurs, il peut aussi être injecté dans les réseaux locaux de gaz naturel. Les quantités de biogaz récupérées lors du traitement des effluents sur les installations anaérobies peuvent être importantes et l'économie énergétique non négligeable.

II.2.2.1 Énergie thermique

La chaleur de combustion du biogaz peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur à moyenne ou haute pression, ou bien dans des fours de procédés :



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- chaudière au gaz naturel : le biogaz est en général utilisé en mélange avec le gaz naturel pour réduire l'impact de hydrogène sulfuré ;
- chaudière à autre combustible : le biogaz est introduit à l'aide d'un brûleur annexe (chaudière à fuel) ou d'une lance (solide, charbon) et l'apport de biogaz ou le fonctionnement du brûleur ou de la lance doit se faire en parallèle du brûleur principal.

Les calories produites dans ces conditions servent à produire de l'eau chaude utilisée soit pour réchauffer les effluents à l'entrée de la station d'épuration, soit pour un besoin en usine.

II.2.2.2 Electricité

Le biogaz peut alimenter un moteur à gaz ou une turbine qui produit de l'électricité ou la cogénération (électricité et chaleur). Lorsque l'électricité est produite seule, celle-ci est le plus souvent exportée par le réseau public. La chaleur peut être utilisée pour le chauffage des digesteurs et le reste peut servir à tout autre usage. Bien que couramment privilégiée dans le cas des décharges, cette voie reste peu utilisée en industrie.

Cependant la récente augmentation du prix des énergies fossiles et du prix de rachat de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables est en train d'influer positivement sur ce choix.

Dans le cas de la solution « moteur à biogaz », une désulfuration et une déshydratation seront en principe nécessaires; les performances dépendront des spécifications des motoristes.

II.2.2.3 Carburant automobile

Assez répandue en Suède, la valorisation du biogaz sous forme de carburant automobile ne fait l'objet en France que de quelques installations pilotes en cours d'optimisation : Lille, Sonzay, Chambéry (Wauthélet, 2003). Elle est destinée, pour l'instant, à l'alimentation des véhicules des collectivités locales : collecte des ordures ménagères, transport en commun. Son intérêt est à la fois économique et environnemental compte tenu de la qualité des rejets des moteurs à gaz.

II.2.3 : Différents types de Digesteur

Il existe plusieurs types de digesteur :

- Digesteur à cloche flottante ou digesteur type Indien, est un digesteur de forme cylindrique de type semi-continu avec un digesteur et gazomètre couplé. Le digesteur est enterré sauf au niveau du gazomètre qui est exposé à l'air.



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



- Digesteur à dôme fixe ou digesteur type Chinois, est constitué d'une partie inférieure souvent sphérique ou cylindrique et d'une partie supérieure en forme de voûte sphérique qu'on appelle dôme sphérique, et l'alimentation se fait de manière semi-continu.
- Digesteur plug-flow, est une fosse horizontale et assez profonde qui est recouverte d'une membrane en plastique sur la partie supérieure, pour y recueillir le gaz.

Ces trois types de digesteur sont les plus courant dans le monde bien qu'ils ont leur propre avantage et inconvénient par rapport à d'autre. (cf. annexe 1)



CHAPITRE III : EVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DE FIFAMANOR ANTSIRABE

Ce chapitre a pour objectif d'évaluer énergétiquement le lieu d'étude, c'est-à-dire évaluer la source d'énergie utilisée par la ferme, en tenant compte de tous les appareils utilisés.

III 1 Source d'énergie utilisée par FIFAMANOR :

La société FIFAMANOR utilise, comme principale source d'énergie, l'électricité de la JIRAMA pour faire fonctionner ses équipements et matériels de production. Compte tenu de l'instabilité du prix du baril de pétrole sur le marché international, la FIFAMANOR, envisage de valoriser ses propres déchets organiques pour la production de gaz méthanique.

III.1.1 :Les appareils utilisés par FIFAMANOR

FIFAMANOR dispose de trois (03) tanks à lait, mais comme actuellement il y a peu de lait seul le tank à lait de 2700 Litres n'est utilisé, de deux (02) broyeurs qui servent quant à eux à broyer les provendes comme le maïs, le tourteau de soja, tourteau d'arachide, le coquillage, le sel et d'une (01) machine à traire.



Photo 10: Tank à lait



Photo 11: Machine à traire

III.1.2 :la consommation énergétique de FIFAMANOR

FIFAMANOR utilise la source d'énergie électrique produite par la société JIRAMA pour assurer le fonctionnement des appareils de production de lait , l'éclairage et la poste de soudure en cas de maintenance des appareils de production. Elle consomme en moyenne 8000 KWh/mois d'énergie électrique pour le fonctionnement de ses appareils. Le tableau suivant récapitule la puissance et la durée de fonctionnement journalier de chaque appareil :

Tableau 9: Puissance et durée de fonctionnement journalier de chaque appareil

Machine	Nombre	Puissance (KW)	Durée de fonctionnement (h/j)
Tank à lait (2700L)	1	9	3h15mn (matin) 3h (Après-midi)
Broyeur	2	5,5	4h 30mn
Machine à traire	1	2,2	2h 15mn (matin) 2h (Après-midi)

Ce tableau montre l'effectif, la puissance et la durée d'utilisation des appareils de production de FIFAMANOR



CHAPITRE IV : PRODUCTION DE BIOGAZ A PARTIR DES RESSOURCES DU FIFAMANOR

Ce chapitre présente la production de biogaz à partir des ressources existante du lieu d'installation qui est FIFAMANOR plus précisément les étapes du travail de laboratoire en passant par le type de substrat, les matériaux d'expérimentation, Technique d'échantillonnage, les procédés d'analyse et enfin le suivi de l'expérimentation.

IV 1 Les Travaux de laboratoire

Pour pouvoir faire la valorisation de déchet solide de la ferme à des fins agro énergétiques afin de réduire le cout énergétique de la ferme et la mise en place d'une unité de biogaz, il faut tester l'échantillon de bouse de vache précédemment prise lors de la descente sur terrain dans un digesteur de laboratoire au sein de la CNRIT.

Le travail en laboratoire suivra la chronologie suivante :

- * Pesage des échantillons de bouse de vache (selon l'étude voulue)
- * Mélange de la bouse de vache avec de l'eau (3L d'eau pour 1000g de bouse de vache)
- * Assemblage et branchement de l'appareil

IV 2 Les dispositifs de l'expérimentation

IV.2.1 : Description de l'expérimentation

Les dispositifs expérimentaux nécessaires pour mener à bien les expérimentations de méthanisation en laboratoire sont : les substrats de la fermentation, le milieu réactionnel, le ferment d'ensemencement et les matériels de digestion.

IV.2.1.1 Le substrat

L'échantillon de bouse de vache utilisé durant les travaux de laboratoire au sein de la CNRIT a été pris chez FIFAMANOR à Antsirabe.

IV.2.1.2 Matériels expérimentaux

- Le digesteur

Le type de digesteur utilisé lors de ces essais expérimentaux de digestion anaérobie de bouse de vache est un digesteur en verre en forme de bouteille de capacité 5 litres.



Photo 12: Digesteur après remplissage

- Tuyauterie-conduite

Il s'agit de tuyauteries en polyéthylène assurant l'acheminement des biogaz produits dans les digesteurs vers les gazomètres comme l'illustre la figure ci-dessus. Et acheminement également les eaux contenues dans les gazomètres vers les bacs de récupération.



Photo 13: Tuyauterie-conduite

- Gazomètre

Le gazomètre est en polyéthylène transparent, de forme cylindrique avec un diamètre de base 13 cm et de hauteur 30 cm, gradué de haut vers le bas et dressé verticalement. Il est rempli entièrement d'eau en début de fermentation. Le niveau d'eau diminue au fur et mesure que du biogaz se forme à l'intérieur pour se déplacer vers le bac de récupération reliée au gazomètre.



Photo 14: Gazomètres

- Bac d'immersion des digesteurs

Le bac d'immersion est une grande cuve cubique, de capacité d'environ 40 litres, suffisant pour contenir jusqu'à 8 digesteurs de laboratoire et entièrement ouvert à la partie supérieure. Elle est remplie d'eau jusqu'au 2/3 de sa capacité qui est chauffée avec une résistance afin de réguler la température à l'intérieur des digesteurs.



Photo 15: Bac d'immersion

- Bac de récupération



Le bac de récupération 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. Elle est remplie de 25 litres d'eau salée de concentration en Na Cl égale à 24 g/l, son orifice inférieur est connecté à celui du gazomètre grâce à une conduite en tuyau.



Photo 16: Bac de récupération

- Résistance

Une résistance chauffante à extrémité en spirale est immergée dans l'eau dans laquelle baignent les digesteurs. Elle assure le chauffage de l'eau et règle ainsi la température à l'intérieur de ces digesteurs. La partie chauffante de la résistance immergée dans l'eau transmet à celle-ci une température de digestion voisine de 35° Celsius.

Après avoir remplis les digesteurs de bouse de vache, ils sont immergés dans le bac d'immersion de couleur blanche (en arrière-plan) et sont connectés, à l'aide de tuyaux, respectivement un par un aux gazomètres cylindriques (en premier plan) par l'intermédiaire de leurs orifices supérieurs.



Photo 17: Vue d'ensemble du digesteur de laboratoire

Les gazomètres compte a eu sont aussi connectés, grâce à leurs ouvertures inférieures, au bac de récupération déjà rempli d'eau saline, de couleur bleu clair. Enfin, une résistance chauffante dont la température de chauffage est maintenue constante est plongée dans l'eau immergeant partiellement les digesteurs.

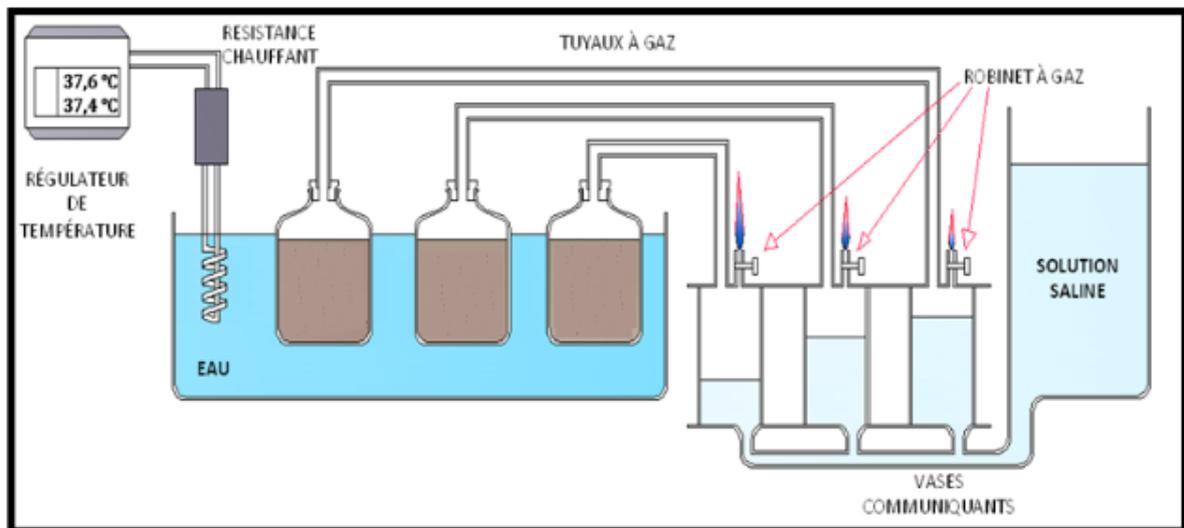


Figure 4: Schéma de dispositif du digesteur de laboratoire du CNRIT

Source: CNRIT

Cette figure représente le dispositif du digesteur de laboratoire au sein du CNRIT.



IV.2.1.3 Technique d'échantillonnage

Pour déterminer la productivité des bouses de vache au niveau laboratoire, trois échantillons de bouse de vache de même quantité : 1000 g ont été mis dans le digesteur de laboratoire du CNRIT et additionnés d'eau et de ferment.

Le tableau suivant montre la proportion de substrats introduit dans le digesteur.

Tableau 10: Proportion de substrat

Echantillons	Substrats (g)	Ferments (g) (10%)	Eau (l)
N° 1	1000	100	3
N° 2	1000	100	3
N°3	1000	100	3

IV.2.1.4 Les procédés d'analyses

Pour mener à bien la produire du biogaz à partir d'une matière première tel que la bouse de vache il faut passe par les étapes suivantes :

- L'échantillon mélangé avec de l'eau est introduit dans le digesteur et le volume total du mélange doit être à 2/3 du volume de digesteur.
- Le digesteur rendu etanche est ensuite placé dans le bac d'immersion d'eau à température maintenue entre 32 à 35°C. L'utilisation d'un régulateur et d'une sonde de température est suggérée pour contrôler automatiquement le fonctionnement de la résistance qui chauffe l'eau.
- Après quelque jour de rétention, le gaz commence à se produire et est conduit dans le gazomètre par le tuyau à gaz. Le gazomètre permet de suivre l'évolution de la production de gaz. Celui-ci est aussi équipé d'un bruleur afin de tester la combustibilité du gaz produit.

IV.2.1.5 Le suivi de l'expérimentation

- Productivité en biogaz

Le tableau suivant récapitule la productivité en gaz pour chaque échantillon obtenu

Tableau 11 : Productivité en gaz pour chaque échantillon

Échantillons	Substrats (g)	Ferments (g)	Eau (l)	Production de gaz(l) pour un cycle de 30 jours	de Production moyenne journalière en gaz(l)
N° 1	1000	100	3	59,4	1,98
N° 2	1000	100	3	61,2	2,04
N°3	1000	100	3	66,7	2,22

D'après ce tableau, pour un cycle de 30 jours, L'échantillon N°3 produit plus de gaz que le premier et le second échantillon, soit une production journalière de l'ordre de 2,22 l/j contre 1,98 l/j pour l'échantillon N°1 et 2,04 l/j pour l'échantillon N°2. Pour la suite de ce travail, c'est l'échantillon N°3 que nous prenons en compte.

- Inflammabilité du biogaz

Le principe consiste à mettre le biogaz en contact d'une tige d'allumette enflammée. Simultanément, le robinet du gazomètre est ouvert progressivement. Le biogaz obtenu s'enflamme bien en présentant une flamme bleue caractéristique représentée par la figure ci-dessous.



Photo 18: Allure de la flamme



IV.2.1.6 Potentiel et équivalence énergétique du biogaz obtenu

Le produit obtenu est un biogaz brut non encore purifié. A travers la flamme qu'il présente, sa teneur en méthane est évaluée à environ 60 %.

Tableau 12: Equivalence énergétique du biogaz obtenu

Biogaz obtenu (l/cycle de 30 j)	Autres sources d'énergie	Equivalence (g)
	Charbon de bois	82,708
66,7	Charbon	54,694
	Gaz naturel	40,687
	Gasoil	43,355
	Ethanol	73,37

Ce tableau récapitule l'équivalence énergétique du biogaz obtenu lors de l'expérimentation.



CONCLUSION PARTIELLE

Cette deuxième partie a présenté la méthodologie mise en œuvre pour le bon déroulement de cette étude.

Pour valoriser les ressources au sein de la ferme de FIFAMANOR qui est la bouse de vache, la technologie appropriée est la biométhanisation, car avec une telle ressource, sa valorisation pourra obtenir 66,7 litres de biogaz et 1,1 kg d'engrais biologique ou fertilisants agricoles..

La partie suivante mettra en évidence les perspectives d'application en grandeur réelle du projet c'est-à-dire les données de laboratoire en grande échelle et l'étude de préfaisabilité économique et de rentabilité financière relative à ce projet.



**TROISIEME PARTIE : PERSPECTIVES EN GRANDEUR
REELLE ET ETUDE DE PREFAISABILITE ECONOMIQUE
ET DE RENTABILITE FINANCIERE**



CHAPITRE I : LES PERSPECTIVES D'APPLICATION EN GRANDEUR REELLE

Ce chapitre montre les perspectives d'application en grande échelle du projet, en commençant par la potentialité des ressources énergétique de la ferme, la dimensionnement du volume du digesteur approprié, sa conception et sa composition.

I 1 Les ressources valorisables de FIFAMANOR

FIFAMANOR est l'une des plus grandes fermes dans la région de Vakinankaratra. Elle dispose de 273 têtes de vaches laitières et 68 mâles, soit au total 341 têtes de bétails. Le tableau suivant récapitule la totalité du bétail de FIFAMANOR.

Tableau 13 : Effectif du cheptel de FIFAMANOR

CHEPTELS	EFFECTIFS
VACHES	148
GENISSES	110
VELLES	15
Sous -Total Femelles	273
TAUREAUX	8
TAURILLONS	36
VEAUX	24
Sous- Total Mâles	68
TOTAL	341

Ce tableau informe sur la répartition du cheptel au sein de FIFAMANOR

I.1.1 : Potentialité des ressources (biomasse) valorisables de FIFAMANOR

En tenant compte du grand nombre de bétail au niveau de la ferme, on peut dire que FIFAMANOR dispose amplement de substrat pour une installation de biogaz.



Tableau 14 : Evaluation de la potentialité en ressources (biomasse) valorisables

Cheptels	Effectifs	Déchet génééré par jour et par type de bétail (kg/j)	Déchet total génééré par jour et par type de bétail (kg/j)	Déchet total génééré par mois et par type de bétail (kg/mois)	Déchet total génééré par an et par type de bétail (kg/an)
VACHES	148	15	2220	66600	799200
GENISSES	110	15	1650	49500	594000
VELLES	15	10	150	4500	54000
Sous Total Femelles	273		4020	120600	1447200
TAUREAUX	8	15	120	3600	43200
TAURILLONS	36	10	360	10800	129600
VEAUX	24	10	240	7200	86400
Sous Total Mâles	68		720	21600	259200
TOTAL	341		4740	142200	1706400

Ce tableau informe la potentialité de la ferme de FIFAMANOR en ressources valorisables, soit une potentialité de 1706,400 t/an.

I.1.2 : Le régime alimentaire du cheptel de FIFAMANOR

Les fourrages varient d'une saison à l'autre et les quantités à distribuer (en fourrage et en provende) selon la disponibilité.

Tableau 15 : Régime alimentaire du cheptel

Produits	Quantité (Kg/j/saison)
Fourrages	5 000 kg à 10 000 kg
Provende	2 à 9 kg /jour/tête

Le tableau ci-dessus montre la quantité d'aliment consommé par les cheptels par jour.



I 2 Étude de la disponibilité et de l'évolution en substrat de FIFAMANOR pour les dix années à venir

L'évolution de chaque composante en déchets fermentescibles sera connue en appliquant la formule suivante moyennant la quantité de déchets initiale et le taux d'accroissement démographique annuel.

$$Q_n = Q_1 (1 + Cd)^{n-1}$$

Où :

Q_n : quantité de déchets après $n = 10$ ans

Q_1 : quantité de déchets initiale à la première année ($i =$ année 1)

Cd : taux d'accroissement annuel du troupeau de vache (10%)

Ainsi, en prenant comme hypothèse de base que la ferme dispose d'un accroissement de la ressource fermentescible de l'ordre de 10%. Ainsi, l'évolution en substrat de FIFAMANOR est récapitulée dans le tableau suivant :



« Réduction du coût énergétique et rentabilisation des activités de FIFAMANOR »



Tableau 16 : Evolution en dix ans des ressources valorisables de FIFAMANOR

Année 2017			Année 2027		
Cheptels	Effectifs	Déchet total annuel généré par type de bétail (kg/an)	Cheptels	Effectifs	Déchet total annuel généré par type de bétail (kg/an)
VACHES	148	799200	VACHES	163	1884472
GENISSES	110	594000	GENISSES	121	1400621
VELLES	15	54000	VELLES	17	127329
Sous Total Femelles	273	1447200	Sous Total Femelles	300	3412422
TAUREAUX	8	43200	TAUREAUX	9	101863
TAURILLONS	36	129600	TAURILLONS	40	305590
VEAUX	24	86400	VEAUX	26	203727
Sous Total Mâles	68	259200	Sous Total Mâles	75	611180
TOTAL	341	1706400	TOTAL	375	4023602

Ce tableau informe qu'en tenant compte un taux d'accroissement de 10% des ressources disponibles, la ferme de FIFAMANOR disposera après dix (10) années d'exploitation une ressource significative en déchets de l'ordre de 11176, kg/j valorisables, soit 4023,602 t/an en 2027

I.2.1 : Dimensionnement du volume du réacteur (biodigesteur)

C'est à partir de la quantité totale de déchets fermentescibles disponibles chaque jour qu'on peut déterminer le volume du réacteur moyennant le résultat de laboratoire correspondant au mélange de déchets fermentescibles. La totalité de déchets fermentescibles disponible par jour est de 4740 kg/j.

Le tableau suivant informe le volume du digesteur requis en adéquation avec les ressources disponibles de la ferme de FIFAMANOR.

Tableau 17 : Dimensionnement du biodigesteur

Désignation	Résultat de l'expérimentation (labo)	Résultat de l'exploitation en milieu réel (l)
déchets (kg/j)	1	4740
ferment (10%) (kg)	0,1	474
Eau (l)	3	14220
Volume réacteur (l)	5	141 900
Production prévisionnelle de biogaz (l)		
En un cycle de 30 j (l)	66,7	315 491
En une année :(12 cycles de 30 j) (l)	800,4	3 785 892

Ainsi, le dimensionnement du digesteur sera connu en multipliant le Temps de Rétention Hydraulique (TRH) qui est de 30 jours avec la quantité de substrat disponible chaque jour au niveau de la ferme qui est de 4740 kg.

Ainsi, Volume du digesteur = TRH x charge journalière = 30 x 4740 = 142200 l, soit 142,2 m³ ou 142 m³

I.2.2 : Conception et composition des installations de production

I.2.2.1 Conception du biodigesteur

Plusieurs modèles de digesteur (cf. Annexe 2) existent actuellement à travers le monde mais chaque modèle dépend du contexte du projet, des matières premières à fermenter, des besoins à satisfaire et du budget disponible pour la réalisation.

Pour le cas de notre travail de recherche, le type de digesteur envisagé devrait pouvoir assurer une production moyennement continue en biogaz et minimiser les coûts en matière d'investissement. Ainsi, il convient donc de concevoir et d'installer un digesteur à chargement semi-continu en briques cuites.

Le digesteur proposé est donc un modèle à cloche flottante à alimentation continue en substrats et de volume utile de : 142,2 m³.

I.2.2.2 Modèle du biodigesteur

Le digesteur à installer au niveau de la ferme de FIFAMANOR est de modèle à cloche flottante conformément au schéma suivant :

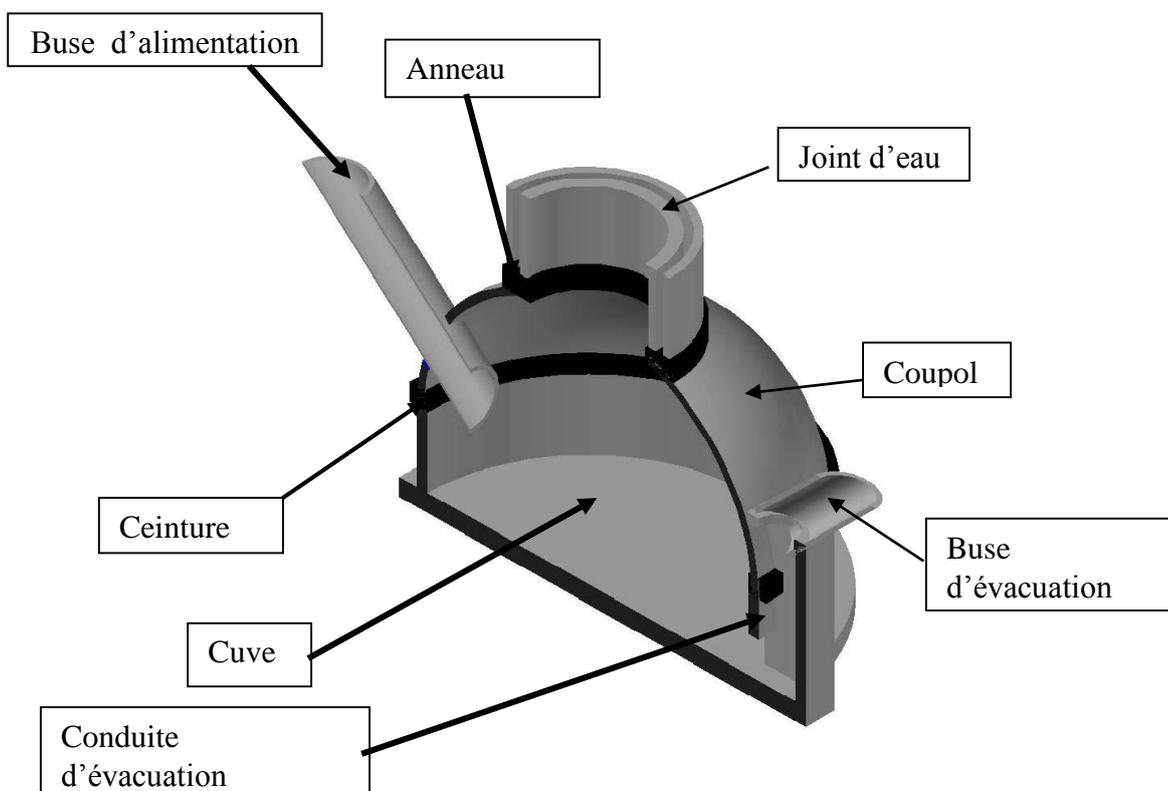


Figure 5 : Composante d'un biodigesteur (vue en coupe)

I.2.2.3 Composition des installations de production

Les infrastructures de production de biogaz et d'énergie électrique sont composées généralement : de digesteurs, de buse d'alimentation et d'évacuation de digestat, de joint d'eau pour faciliter le mouvement ascendant et descendant de la cloche une fois le digesteur est alimenté et de divers accessoires figurés ou non figurés sur le schéma ci-dessus tels que les tuyauteries de conduites en PET, le système anti-retour de flamme, le réservoir de stockage de gaz (cloche) et le générateur à biogaz.

- Digesteur ou cuve de fermentation

Le digesteur est l'élément principal composant les infrastructures de production de biogaz parce qu'il est le siège des réactions biochimiques de méthanisation. Les dimensions du digesteur sont fonction premièrement des disponibilités en substrats et des résultats de production visés.

Le digesteur adopté est le modèle continu avec un gazomètre métallique en forme de cloche flottante. La chambre de digestion est de forme cylindrique avec un fond courbé afin de promouvoir et faciliter la circulation des substrats de digestion et des résidus solides qui en résultent. La préservation de la continuité de la production est mise en avant.

- Tuyauteries en PET

Les conduites en tuyauteries de PET ont pour rôle principal d'acheminer le gaz sur l'ensemble des installations. On utilise des tuyaux en polyéthylène de diamètre intérieur 2,5 cm pour faire connecter chaque partie des installations, afin d'obtenir un fonctionnement conforme aux normes.

- Clapet anti-retour

Les clapets anti-retour sont des dispositifs à installer avec les conduites de gaz afin de prévenir et éviter le retour des gaz, en particulier vers les réacteurs. L'objectif étant d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble des infrastructures et minimiser le risque d'accident dû à un éventuel retour de flamme par exemple. On en installe sur la conduite de gaz juste après le gazomètre.

- Robinet tournant

Les robinets tournants sont installés sur les conduites de gaz en tuyauteries. Ils servent à ouvrir et/ou à fermer selon les besoins la circulation des gaz produits par méthanisation.

- Système d'épuration du biogaz

L'utilisation du système d'épuration du biogaz est primordiale avant de pouvoir procéder à sa conversion. Il existe diverses possibilités d'épuration selon les choix. Dans le présent cas, on a opté

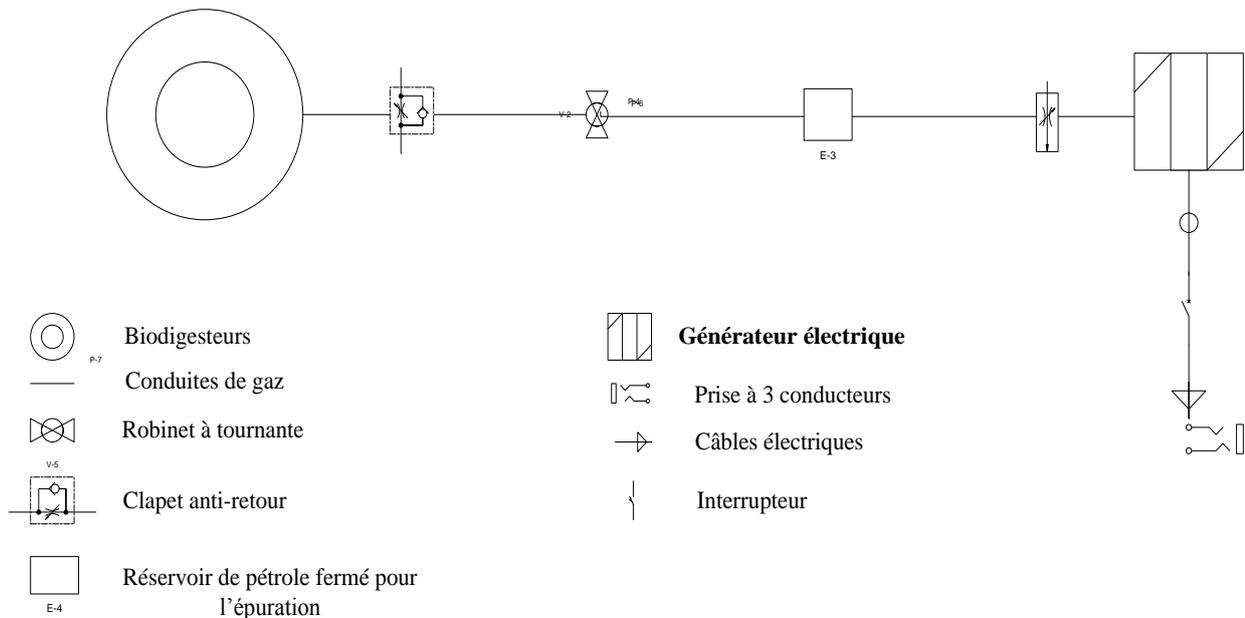
pour la circulation du biogaz brut à travers un réservoir de pétrole qui va fixer le soufre présent dans le biogaz, sous toutes ses formes.

- Générateur électrique à biogaz / Centrale à biogaz

Il s'agit d'un groupe électrogène carburé au biogaz, c'est-à-dire qu'il génère de l'énergie électrique en consommant du biogaz. Le générateur aspire le biogaz à partir de son réservoir, à savoir le gazomètre en cloche flottante, avec un débit conforme à ses caractéristiques. Le biogaz circule ensuite dans les tuyauteries de conduite, traverse le système d'épuration et arrive dans le générateur. L'utilité d'un tel générateur est primordiale pour la production électrique projetée. Ses caractéristiques sont développées en dessous.

Le schéma ci-après montre l'indication sur le principe de fonctionnement des futures infrastructures.

Figure 6 : Schéma de principe des installations



I.2.3 : Exploitation Prévisionnelle de l'unité de production

Une fois que les installations de production sont opérationnelles et prêtes pour l'emploi, l'étape la plus délicate concernant son exploitation pourra être entamée. Concrètement, il s'agit d'évaluer et prévoir le mode de chargement du réacteur et d'anticiper les résultats futurs de son exploitation en se basant sur les résultats des expérimentations.

I.2.4 : Chargement du digesteur

Le chargement du digesteur est une opération qui demande beaucoup d'application parce qu'il conditionne partiellement la bonne réussite de la fermentation à réaliser. Le chargement devrait se focaliser vers la mise en place d'une écologie favorable au développement bactérien. Ainsi à l'aide d'un trait de jauge, la hauteur intérieure du réacteur à utiliser correspondant au volume 2/3 utilisé du volume total du réacteur est marquée.

I.2.4.1 Chargement des substrats

Le chargement initial du digesteur en déchets devrait respecter la proportion conforme aux résultats de laboratoire. Le substrat est ensuite judicieusement renouvelé progressivement au fur et à mesure de l'avancement de la digestion et de l'évacuation des résidus.

I.2.4.2 Chargement en inoculum (ferment) : bouse de vache

La quantité de bouse de bovins utilisée comme ferment est de 10 % par rapport à la quantité de déchets à digérer. Les ferments introduits dans le réacteur doivent être homogénéisés avec les déchets.

I.2.4.3 Chargement en milieu réactionnel

Lors de l'introduction de l'eau servant de milieu réactionnel, on en verse exactement jusqu'à la hauteur marquée par un trait afin d'assurer l'exploitation optimale du réacteur. Le tableau suivant montre la proportion de chargement à entreprendre

Tableau 18 : Proportion requise pour le chargement du digesteur

Bouse de vache (l)	Inoculum (10%) (l)	Eau (l)
4740	474	14190

I.2.5 : Production Prévisionnelle en biogaz

La valeur respective de la production en biogaz prévue lors de l'exploitation du réacteur en 30 jours (un cycle), puis en une année (douze cycles), est récapitulée dans le tableau suivant.

Tableau 19 : Évaluation de la production de biogaz à grande échelle

Production prévisionnelle	Volume de biogaz produit (m ³)	
	Laboratoire	Grande échelle
En un cycle (30 jours)	0,0667	315, 491
En une année	0,8	3 785, 892

I.2.6 : Bilan Énergétique Prévisionnel annuel de l'unité de biogaz

La potentialité énergétique du biogaz produit ainsi que les caractéristiques du processus de digestion des déchets en laboratoire ont permis de déduire le bilan énergétique prévisionnel de l'ensemble des installations, qui est donné dans le tableau suivant.

Tableau 20 : Récapitulation du Bilan énergétique Prévisionnel Annuel

	Quantité (m ³)	Energie (Kcal)	Energie (KWH)
Bilan	3 785,892	20 822 406	24184

En tenant compte du pouvoir calorifique inférieur du biogaz PCI (biogaz) = 5500 kcal/m³, l'énergie calorifique prévisionnelle pour le volume annuel de gaz produit est de 20 822 406 kcal.

I.2.7 : La conversion du biogaz en électricité

La production d'électricité par l'intermédiaire de la transformation de l'énergie du biogaz est certainement l'étape la plus délicate à faire dans la présente étude de faisabilité, en raison des diverses contraintes techniques et surtout financières qui s'y rattachent.

I.2.7.1 Principe de la conversion énergétique

En théorie, la conversion énergétique de l'énergie du biogaz est une application d'un principe de la thermodynamique qui implique que les diverses formes d'énergies sont inter-convertibles.

Théoriquement, un biogaz de 60% de méthane a à peu près une potentialité de production en énergie électrique de 6 kWh / m³ (Electrigaz, 2010). Mais en pratique, il est d'environ 2 kWh / m³ suivant le rendement du générateur, le reste de l'énergie est perdu et dissipé sous forme de chaleur irrécupérable.

I.2.7.2 Matériels utilisés

Le générateur adéquat pour la production d'énergie électrique dans le présent cas est le BioGaz Generator, disponible chez un fournisseur chinois Henan Chengcheng Import – export Co, qui effectue des ventes en ligne sur internet. Ce générateur produit 2,7 kWh par m³ de biogaz consommé.

I.2.7.3 Caractéristiques et fonctionnement du matériel

Les caractéristiques de ce générateur et son rendement de production sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Fiche Technique du Générateur électrique

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

I.2.8 : 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 suivant.

Tableau 22 : Production Prévisionnelle en Energie électrique

Biogaz converti (m ³)		Électricité (kWh)	
Par mois	Par an	Par mois	Par an
315,491	3785,892	2015,33	24184

En effet, en une année, la production prévisionnelle en énergie électrique est de 24184 KWh.

I 3 Réduction du coût énergétique de la ferme FIFAMANOR

En tenant compte de la facture mensuelle de FIFAMANOR de 8000 KWh/mois et de la conversion électrique des 315,491 m³ de biogaz obtenus par mois correspondant à 2015,33 kWh/mois, on peut dire qu'on a pu réduire le coût énergétique de FIFAMANOR de

Tableau 23 : Réduction coût énergétique FIFAMANOR

Désignation	Energie correspondante (kWh/mois)	PU (Ar/kWh)	Prix Total (Ar)
Cons électrique/ mois (kWh/mois)	8000	417	3 336 000,00
Conversion électrique biogaz (kWh/mois)	2015,33	417	840 393,2735
Réduction coût énergétique (kWh/mois)	5984,67		2 495 606,73

Ce tableau informe la réduction du coût énergétique de la ferme par l'introduction du biogaz. Le coût réduit représente 25,19% du coût total de la ferme, correspondant à 2 495 505,73 Ar



CHAPITRE II : ETUDE DE PREFAISABILITE ECONOMIQUE ET DE RENTABILITE FINANCIERE

Les études de préfaisabilité économique et les calculs de rentabilité financière, permettent d'une part de déterminer et de mettre au point la possibilité de réalisation et de concrétisation du projet, et d'autre part de concevoir sa viabilité financière dans le temps. Dans ce cas, une méthode fiable, fondée et précise est nécessaire pour pouvoir atteindre les objectifs initialement fixés. Effectivement, 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 économique et financière se basent sur les résultats et les prévisions des études techniques précédentes, sur le contexte socio-économique existant et sur les données statistiques officielles.

II 1 Contexte du projet

II.1.1 : Présentation du projet

Le projet a pour objet la valorisation des bouses de vaches de la ferme du FIFAMANOR en biogaz, qui sera ensuite converti en électricité. Le but étant de réduire le coût énergétique de la ferme.

Le tableau suivant essaie d'apporter les informations relatives aux caractéristiques du projet et un aperçu des démarches relatives à sa réalisation.

Tableau 24 : Fiche technique du projet

Eléments	Objectifs et démarches
Contexte et Objet du projet	Production du biogaz et de l'électricité par valorisation des bouses de vaches pour réduire le coût énergétique de FIFAMANOR
Raison et objectifs du projet	Production d'énergie moins coûteuse et/ou réduire l'utilisation d'énergie fournie par les compagnies distributrices habituelles et les sources énergétiques courantes Création de nouvelles valeurs ajoutées sur le plan technique et autre Valorisation des déchets de la ferme en nouvelle ressource pour l'exploitation Réduction des volumes de déchets organiques Participation au développement de l'énergie durable et renouvelable pour la sauvegarde de l'environnement
Réalisation Technique	Simulation expérimentale de la fermentation en laboratoire Étude du terrain d'installation et études techniques de réalisation Évaluation des ressources budgétaires requises
Maitre d'ouvrage	Le projet est réalisable dès que le propriétaire du site acceptera d'investir dans le projet
Période et chronologie	Ce projet est réalisable à partir de moment où le budget nécessaire sera réuni
Budget	Coût du projet (devis estimatif) Mode de financement : Capitaux et fonds de roulement (laissé à l'entrepreneur) Échéancier des crédits de paiement (laissé à l'entrepreneur)

II.1.2 : Objectifs des études de pré faisabilité économique et financière

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

II.1.2.1 Mise en œuvre de la possibilité de concrétisation du projet

La concrétisation du projet ne nécessite 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.

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, qui définit le choix de l'investissement en incitant celui-ci dans la décision d'investir ou non.

II.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.

II 2 La méthodologie des évaluations

Le calcul économique demeure l'outil principalement utilisé lors de la réalisation des études de pré faisabilité. 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.

II.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.

II.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, 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.

II.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.

- 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.

- 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.

II.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 18 %. 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).

II.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.

II.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.

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

II.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, ou un indice de profitabilité égal à 1

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

II.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.

$$\begin{aligned} n &= p \\ I_p &= \sum_{n=1} \text{MBA}_n (1+t)^{-n} / C \end{aligned}$$

II.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.

$$\begin{aligned} n &= p \\ \sum_{n=1} \text{MBA}_n - C &= 0 \end{aligned}$$

II.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.

II.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.

- 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.

- 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 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

II.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.

o 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 3100 Ar. 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 500 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 417Ar / kWh, en se basant sur le tarif de la JIRAMA.

- o 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 :

- Le taux de placement bancaire exigé étant actuellement de 18 % 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 2 ans.

II 3 L'étude de rentabilité

Le principe adopté dans cette détermination de la rentabilité des activités réside essentiellement dans l'application des méthodes exposées dans les paragraphes en dessus. Le but est d'aboutir aux valeurs des indicateurs de performance et d'en tirer des conclusions.

II.3.1 : Immobilisations

II.3.1.1 Investissements d'immobilisation

L'investissement des immobilisations du projet (cf. annexe 4) est de Soixante-quinze million deux cent vingt-neuf mille cent quarante Ariary, soit Ar **75 229 140,00**

II.3.1.2 Amortissements d'immobilisation

Pour ce projet, l'amortissement d'immobilisation (cf. annexe 5) est de Cinq million cent treize mille Ariary, soit Ar **5 113 000** pour les quatre premières années et Quatre million cinq cent soixante-treize mille Ariary, ou Ar **4 573 000** à la cinquième année.

II.3.2 : Charges salariales

Les charges salariales essentiels pour ce projet est de Quatorze million cent soixante mille Ariary, Ar **14 160 000** pour les deux premières années, Quinze million cinq cent soixante-seize mille Ariary Ar **15 576 000** pour la troisième et quatrième année, et Dix-sept million cent trente-trois mille six cent Ariary Ar **17 133 600** à la cinquième année. (cf. annexe 6)

II.3.3 : Charges d'exploitation

Les charges de l'exploitation peuvent être classées en deux grands types : les charges décaissées et les charges calculées. Ces dernières sont essentiellement représentées par les amortissements des actifs immobilisés. (cf. annexe 7)

Pour la première année, la charge d'exploitation est de Quatre-vingt-quatorze million huit cent dix-sept mille deux cent Ariary, Ar **94 817 200,00** ; Cent deux million huit cent quatre-vingt-deux mille neuf cent vingt soit Ar **102 882 920,00** pour la deuxième année ; Cent treize million cent soixante-onze mille deux cent douze Ariary ou Ar **113 171 212,00** ; Cent vingt-quatre million quatre cent quatre-vingt-huit mille trois cent trente-trois Ariary, soit Ar **124 488 333** et enfin pour la cinquième année, Cent trente-six million neuf cent trente-sept mille cent soixante-six Ariary, ou Ar **136 937 166**.

II.3.4 : Le Fonds de Roulement Initial (FRI) et Investissement (Io)

II.3.4.1 Fonds de roulement initial

FRI= Charges d'exploitation 1^{ère} année *3/12

$$=94\ 817\ 200 * 3/12$$

FRI=Ar 23 704 300,00

II.3.4.2 Investissement Io

Io = Montant des immobilisations + Fonds de roulement initial

$$=75\ 229\ 140 + 23\ 704\ 300$$

Io= Ar 98 933 440,00

II.3.4.3 Plan de financement

Tableau 25 : Plan de financement

RUBRIQUES	Pourcentage	Montant
Apport des associés	30%	29 680 032
Emprunt	70%	69 253 408
INVESTISSEMENT en Ariary	100%	98 933 440

II.3.5 : Remboursement d'emprunt

Le remboursement se fera par annuité constante a du capital.

Calcul d'annuité a :

a = somme empruntée * $i / (1 - (1 + i)^{-n})$

a = 69 253 408 * $1 / (1 - (1 + 0.18)^{-5})$ avec i=18% et n=5ans

a = 69 253 408 * 0,319777842

a = Ar 22 145 705

Tableau 26 : Remboursement d'emprunt

Année	Capital	Intérêt i=18%	Amortissement	Annuité constante
1	69 253 408	12 465 613	9 680 092	22 145 705
2	59 573 316	10 723 197	11 422 508	22 145 705
3	48 150 808	8 667 145	13 478 560	22 145 705
4	34 672 248	6 241 005	15 904 701	22 145 705
5	18 767 547	3 378 158	18 767 547	22 145 705

II.3.6 : Chiffre d'affaire

La valeur du chiffre d'affaire annuel de l'exploitation est l'équivalent en numéraire des résultats des activités de production de biogaz et de fertilisants organiques.

Tableau 27 : Chiffre d'affaire

Rubriques	1 ^è année	2 ^è année	3 ^è année	4 ^è année	5 ^è année
1) Chiffre d'affaire pour le Biogaz et l'engrais biologique					
Biogaz converti en électricité	4 262 535,80	4 688 789,38	5 157 668,32	5 673 435,15	6 240 778,67
Engrais biologique	374 616 000,00	412 077 600,00	453 285 360,00	498 613 896,00	548 475 285,60
Chiffre d'affaire pour la vente de Biogaz et d'engrais biologique (CA1)	378 878 535,80	416 766 389,38	458 443 028,32	504 287 331,15	554 716 064,27

II.3.7 : Compte des résultats

Le compte résultat est un état récapitulatif des charges et des produits réalisés par l'entité au cours de la période considérée. Par différence des produits et des charges, il fait apparaître le résultat net de la période. Il mesure la performance de l'activité.

Les Résultat net des activités ordinaires ou marge brut d'autofinancement (MBA) pour ce projet est de Ar **207 859 829,46** pour la première année et Ar **320 365 385,45** à la cinquième année. (cf. annexe 9)

II.3.8 : Budget de Trésorerie

Le plan de trésorerie est un instrument de mesure de flux financiers pendant cinq ans. Il permet aussi de vérifier la présence de solde net de trésorerie toujours positive. Pour ce projet, le solde est toujours positif (cf. annexe 8): Ar **185 523 805,89** en première année ; Ar **216 039 970,64** en deuxième année ; Ar **242 076 991,65** en troisième année ; Ar **270 451 677,85** en quatrième année et enfin Ar **302 063 801,12** en cinquième année.

II 4 Indicateur de rentabilité

Tableau 28 : Flux Net de Trésorerie (cash-flow) (en Ariary)

RUBRIQUES	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Résultat net de l'exercice	207 859 829,46	232 333 020,83	258 296 076,32	288 147 000,45	320 365 385,45
Amortissements	5 113 000,00	5 113 000,00	5 113 000,00	5 113 000,00	4 573 000,00
CASH FLOW	212 972 829,46	237 446 020,83	263 409 076,32	293 260 000,45	324 938 385,45
CUMUL DE CASH FLOW	212 972 829,46	450 418 850,29	713 827 926,61	1 007 087 927,06	1 332 026 312,50

Le tableau ci-dessus indique le Flux Net de Trésorerie (cash-flow) (en Ariary) de ce projet.

Ce Tableau ci-dessous représente la valeur de cash-flow Actualisé

Tableau 29 : cash-flow Actualisé

Rubriques	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Flux net de trésorerie	212 972 829,46	237 446 020,83	263 409 076,32	293 260 000,45	324 938 385,45
i=18% (1+i)⁻ⁿ	0,847457627	0,71818443	0,608630873	0,515788875	0,437109216
Flux net actualisé(FNA)	180 485 448,70	170 530 035,07	160 318 895,99	151 260 245,76	142 033 562,99
Cumul flux net de trésorerie	180 485 448,70	351 015 483,76	511 334 379,75	662 594 625,51	804 628 188,50

II.4.1 : Taux Moyen de Rendement (TMR)

Par définition

TMR=b/Io*100 avec b=total FNT/5

Total FNT = 312 490 463, 71 b = 62 498 092, 74 Io= 98 933 440, 00

TMR= 63, 17



II.4.2 : Délai de récupération (DR)

C'est le nombre d'années nécessaire pour faire revenir le capital investi à partir des résultats des activités. (cf. annexe 10)

$$DR = I_0 / b$$

$$DR = 1 \text{ an } 6 \text{ mois } 29 \text{ jours}$$

II.4.3 : Valeur Actuelle Nette (VAN)

C'est la valeur de la somme du flux net de trésorerie actualisée moins le coût de l'investissement.

$$VAN = \text{Somme FNA} - I_0$$

$$VAN = 37\,659\,021,67$$

La VAN est supérieure à 0, notre projet est donc rentable.

II.4.4 : Taux de rentabilité interne (TRI)

C'est le taux d'intérêts par lequel la valeur actualisée d'un revenu futur est égale au capital investi. Il est défini comme étant le taux maximal d'intérêt que peut supporter un projet par conséquent, tout projet dont le TRI est supérieur au taux d'intérêt auquel il est financé est rentable.

TRI (%)
38,50

II.4.5 : 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.

$$Ip = 1 + VAN / I_0$$

$$Ip = 1 + 0,383098917$$

$$Ip = 1,38$$

II.4.6 : Indicateur de rentabilité

Tableau 30 : Indicateur de rentabilité

Indicateurs	Valeur	Interprétations / Significations
VNA	37 659 021,67	Il s'agit d'une importante valeur pour le flux généré
TRI	38,50%	Ce taux dépasse 18 %, l'investissement est donc rentable.
Ip	1,38	Cette valeur est supérieure à 1, la rentabilité est donc confirmée
DRCI	1 an 6mois 29 jours	L'investissement initial est récupéré au bout de 1 an 6 mois 29 jours



CONCLUSION PARTIELLE

Cette troisième partie a montré que FIFAMANOR possède énormément de ressource qui peut générer plus de 2015 KWh par mois et qui peut être utile face à leur consommation énergétique très élevée. Or, l'étude financière du projet a dévoilé que la mise en place d'une unité de valorisation énergétique des déchets organiques est faisable techniquement et rentable financièrement, avec une Valeur Actuelle nette (VAN) positive et une DRCI inférieure à 2 ans. Cela montre que c'est un projet intéressant qui mérite sa concrétisation.

La quatrième et dernière partie, met en évidence les résultats obtenus pour ce projet et les discussions correspondantes.



QUATRIEME PARTIE : RESULTATS - DISCUSSION

CHAPITRE I : RESULTATS

I 1 Bilan de la consommation annuelle de la ferme de FIFAMANOR

I.1.1 : Facture de JIRAMA

L'énergie utilisée par la société est fournie uniquement par la JIRAMA. Le coût énergétique mensuel de la ferme monte jusqu'à sept millions Ariary ce qui est vraiment démesuré pour une ferme qui a une ressource énergétique de 3785, 892 m³/an soit une équivalence de 24184 KWh.

I.1.2 : Consommation électrique journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR

PTE (en Ariary)		MONTANT Prime fixe		MONTANT CONSOMMATION		MONTANT TO	
fixe mensuelle	30 x 53221.00	1596630.00				1596630.00	
ement	x						
et consommation	(kWh)	(PU)					
Jour	4530 x	417.00	1889010.00				
Pointe	1430 x	417.00	596310.00				
Nuit	1987 x	417.00	828579.00				
Montant brut			3313899.00				
BONUS			0				
MALUS			0				33138
ce mensuelle	217975.00 x	1.00					21797
de comptage	.00 x	1.00					

Figure 7: Facture JIRAMA (agrandi)

La dépense moyenne mensuelle de la FIFAMANOR est de l'ordre de huit mille (8000) kilowattheures. Le tableau suivant figure la consommation moyenne journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR

Tableau 31 : Consommation moyenne journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR

Désignation	Consommation (kWh/j)	Consommation (kWh/mois)	Consommation (kWh/an)
Electricité	266,6	8 000	96 000

Ce tableau informe la consommation moyenne journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR

I 2 Résultats de la valorisation énergétique des ressources fermentescibles de FIFAMANOR

Les ressources fermentescibles de FIFAMANOR sont constituées respectivement de bouse de vache. La valorisation de ces déchets au niveau labo et par projection à grande échelle a donné les résultats récapitulés dans le tableau suivant,

Tableau 32: Production de biogaz à grande échelle

Production prévisionnelle	Volume de biogaz produit (m ³)	
	Laboratoire	Grande échelle
En un cycle (30 jours)	0,0667	315, 491
En une année	0,8004	3 785, 892

I.2.1 : Bilan énergétique Annuel Prévisionnel de FIFAMANOR

Le tableau ci-dessous met en exergue le bilan prévisionnel de l'énergie produite par FIFAMANOR, en tenant compte des bouses de vaches qu'elle génère.

Tableau 33: Bilan énergétique Prévisionnel Annuel

	Quantité (m ³)	Energie (Kcal)	Energie (KWH)
Bilan	3 785,892	20 822 406	24184

En tenant compte du pouvoir calorifique inférieur du biogaz PCI (biogaz) = 5500 kcal/m³, l'énergie calorifique prévisionnelle pour le volume annuel de gaz de 3785,892 m³ produit est de 20 822 406 kcal.

I.2.2 : Résultat Prévisionnel de la conversion électrique

Le volume de biogaz obtenu peut être converti en énergie électrique moyennant un matériel de conversion électrique. Après conversion, l'énergie électrique annuelle obtenue est de l'ordre de 24 184 KWh/an.

Tableau 34 : Production Prévisionnelle en Energie électrique

Biogaz converti (m ³)		Électricité (kWh)	
Par mois	Par an	Par mois	Par an
315,491	3785,892	2015,33	24184

I 3 Résultat Récapitulatif de l'évaluation économique et de rentabilité financière

Trois possibilités d'investissement ont été prises en compte lors de la réalisation de ce travail.

Les résultats de l'étude de l'évaluation économique et de rentabilité financière de l'Investissement effectué au niveau de FIFAMANOR pour les trois cas évoqués dans ce travail de recherche à savoir :

- l'investissement sans valorisation des déchets ;
- l'investissement initial FIFAMANOR avec valorisation des déchets: biogaz ;
- l'investissement initial FIFAMANOR avec conversion biogaz en électricité

sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 35 : Récapitulatif des Résultats

Paramètres	Investissement initial FIFAMANOR sans valorisation des déchets	Investissement initial FIFAMANOR avec valorisation des déchets: biogaz	Investissement initial FIFAMANOR avec conversion biogaz en électricité
capital investi (MGA)		68 534 140,00	75 229 140,00
Chiffre d'affaire (MGA) (1ère année)		376 081 140,20	378 878 535,80
Electricité générée par la valorisation (kWh)		3 513,53	10 221,91
consommation électrique mensuelle (KWh)	8000	4 486,47	Indépendance énergétique
Rapport/Economie d'énergie	100% JIRAMA	1,78	2 221,91
Observation	Dépendance énergétique avec JIRAMA	réduction de 1,78 fois moins la consommation sans valorisation	Economie d'énergie de 2221,91 KWh/mois
Indicateurs de rentabilité			
VAN (Ar)		42 944 215,19	37 659 021,67
TRI (%)		39,7	38,5
DRCI		1 an 5 mois 26 jours	1 an 6 mois 29 jours
Ip		1,47	1,38

Ce tableau présente les résultats des indicateurs de rentabilité de ce travail de recherche. Chaque cas a son importance :

Premier cas : sans valorisation des déchets



Pour ce premier cas, aucune solution pour FIFAMANOR, il doit se contenter tout simplement du coût énergétique de la JIRAMA quel que soit l'instabilité du prix du baril de pétrole sur le marché international.

Second cas : valorisation des déchets pour production de biogaz seulement

Pour ce cas, FIFAMANOR met en place l'unité de biogaz sans la convertir en électricité. Elle se contente tout simplement par la dégradation des déchets organiques, c'est-à-dire produire tout simplement des engrais organiques et les vendre ensuite.

Troisième cas : valorisation des déchets avec conversion électrique du biogaz produit

En tenant compte de l'objectif initial de ce travail de recherches qui est la réduction du coût énergétique de la ferme, le cas le plus intéressant en adéquation avec cet objectif est la mise en place d'une unité de biogaz et conversion électrique du biogaz produit. Dans ce cadre, La mise en place de cette infrastructure demande un investissement de 75 229 140,00 MGA avec un chiffre d'affaire de 378 878 535,80 MGA. Tous les mois, FIFAMANOR n'aura plus besoin des sources d'énergie de la JIRAMA car elle dispose encore de réserve énergétique de 2 221,91 kWh/mois. La durée de retour du capital investi est de 1 an 6mois 29 jours. En bref, la conversion électrique est la plus importante pour la valorisation des déchets de FIFAMANOR.

CHAPITRE II : DISCUSSION

En tenant compte de la potentialité des ressources disponibles et valorisables au sein de la ferme de FIFAMANOR, la meilleure solution pour ce centre est de valoriser ces déchets à des fins agro énergétiques pour réduire le coût énergétique de la ferme. Les résultats des indicateurs de rentabilité ont montré les avantages apportés par la valorisation de ces déchets que ce soit la production de biogaz avec la vente des engrais biologiques ou la conversion électrique du biogaz produit.

Ainsi, la production de biogaz et la vente des engrais biologiques demande un investissement de 68 534 140,00 MGA et présente les avantages suivants pour FIFAMANOR :

- Génère 3 513,53 kWh/mois d'énergie équivalente en énergie électrique ;
- Consommation électrique de FIFAMANOR a enregistré une réduction mensuelle de 4 486,47 kWh/mois, soit 1,78 fois moins la consommation mensuelle sans valorisation ;
- Le capital investi sera de retour après 1 an 5 mois 26 jours ;
- L'Indice de profitabilité est de 1,47, c'est-à-dire que pour un investissement de 1 MGA, aura un bénéfice de 0,47 MGA

Il en est de même pour la mise en place d'une unité de biogaz et la conversion électrique du biogaz produit. Ce cas est le plus intéressant car on a besoin d'un investissement de 75 229 140,00 MGA et on n'aura plus besoin des sources d'énergie de la JIRAMA. De plus, tous les besoins énergétiques de FIFAMANOR seront satisfaits et l'énergie générée n'est pas totalement consommée, car on aura encore 2 221,91 kWh/mois d'économie d'énergie.

Des questions qui se posent entre autres :

- Pourquoi FIFAMANOR n'a pas pris cette décision de valorisation de ces déchets depuis longtemps ?
- Est-ce le financement pour la mise en place de cette infrastructure énergétique qui est le problème ?

Pour répondre à ces questions posées, nous essayons d'apporter un éclaircissement à chacune de ces questions posées.

a) Pourquoi FIFAMANOR n'a pas pris cette décision de valorisation de ces déchets depuis longtemps ?

FIFAMANOR est un Centre de Développement Rural et de Recherche appliquée, doté d'un statut d'Etablissement Public à caractère Industrielle et Commerciale (EPIC). C'est donc un centre qui est sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture. Selon ce statut, la direction de centre dépend du ministère de tutelle et la décision devra se faire en haut et même si les dirigeants à Antsirabe



envisagent de mettre en place cette infrastructure, ils n'ont pas la décision finale mais pour eux, c'est la proposition tout simplement.

b) Est-ce le financement pour la mise en place de cette infrastructure énergétique qui est le problème ?

En tenant compte du résultat d'étude économique et de rentabilité financière, c'est un projet très intéressant qui mérite sa réalisation car le problème peut être la recherche de financement mais une fois qu'on trouve le financement, le retour du capital investi n'est pas un problème car il faut attendre 1 an 6 mois 29 jours et le capital sera de retour. Pour FIFAMANOR, ce n'est pas un problème car il dispose d'un budget de fonctionnement et ce qui est important c'est la bonne gestion des ressources afin qu'on puisse investir dans ce projet très intéressant.

CONCLUSIONS GENERALES

Ce travail de recherches a pour objectif de valoriser à des fins agro énergétiques les déchets organiques afin de réduire le coût énergétique et de rentabiliser les activités du Centre de Développement Rural et de Recherche appliquée du FIFAMANOR ou « Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana. Les résultats des travaux d'expérimentation effectués au Centre National de Recherches industrielle et Technologique (CNRIT) sise à Fiasanana Tsimbazaza Antananarivo ont montré que les matières organiques de la ferme de FIFAMANOR sont valorisables à des fins agronomique et énergétique.

La technologie appropriée pour sa valorisation est la biométhanisation. Sa valorisation pourra générer une source d'énergie renouvelable qu'est le biogaz et de l'engrais biologique, un fertilisant agricole. Pour 1 kilogramme de matière organique, on pourra obtenir 66,7 litres de biogaz, une énergie alternative au bois énergie et 1,1 kg d'engrais biologique ou fertilisants agricoles.

L'étude de préfaisabilité économique et de rentabilité financière a montré que la mise en place d'une unité de valorisation énergétique des déchets organiques est faisable techniquement et rentable financièrement. Les indicateurs de rentabilité les prouvent car la Valeur Actuelle nette (VAN) est positive, La durée de retour du capital investi ne dépasse pas deux ans, ce qui montre que c'est un projet intéressant qui mérite sa concrétisation.

De plus, ce travail de recherches a essayé de mettre en exergue l'importance de la valorisation des déchets organiques et conversion électrique du biogaz produit par le biais de la comparaison de trois options différentes : la première : option sans valorisation des déchets. La seconde, c'est l'option avec valorisation de déchets organiques avec production de biogaz et d'engrais biologique. Enfin, la troisième option c'est la valorisation des déchets organiques avec production de biogaz et conversion électrique du biogaz produit. Parmi ces trois options, c'est cette dernière option qui est la plus intéressante car elle présente divers avantages dont : l'élimination totale de l'utilisation de la source d'énergie électrique de la JIRAMA, c'est-à-dire la réduction totale du coût énergétique. De plus, FIFAMANOR aura une économie énergétique car elle dispose d'une économie de l'ordre de 2 221,91 kWh/mois. Cette économie pourra être utilisée à divers fins, c'est donc la rentabilisation des autres activités de FIFAMANOR.

Bref, la valorisation des déchets organiques, suivie de la conversion électrique est la voie la plus fiable et rentable pour une ferme comme FIFAMANOR.



BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- [1] 1ère ES/L – Sciences Physiques et Chimiques, 2^{ème} Partie : Le défi énergétique Chap. 5
- [2] ANDRIAMAMONJY Jean Daniel, HERIVOLOLONA Bakoliniaina, RAMANITRINIAINA Vololonirina, RAJAONARIVO Miharirinirina – Mémoire de fin d'étude de DPAEC – Electrification de la commune rurale Mahasolo à partir d'une installation de biogaz. Mai 2006.
- [3] BILLAUD V., VARAGNAT F., Les dossiers du biogaz, Dossier A : « Est – il possible de faire une installation ? La fermentation méthanique », CERES 73 Avenue Corot 13013 Marseille, 1983
- [4] BILLAUD V., VARAGNAT F. : Les dossiers du biogaz, Dossier B : « Le choix d'un Système : la construction du digesteur », CERES 73 Avenue Corot 13013 Marseille, 1983
- [5] CHESNEAU C. Valorisation énergétique et agronomique des déchets organiques solides et eaux usées - Manuel pour la construction, l'entretien et la gestion d'une unité de méthanisation, Octobre 2015
- [6] Gestion des Déchets Solide à Antananarivo- présentation tana pour aimf
- [7] HESS Jonathan : Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation, Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice, France, 2007, 211p.
- [8] LAGRANGE B. : Bio méthane Tome 2 : « Principes, techniques, utilisations », collection Technologies douces, edisud : La Calade, 13100 Six en Provence 1979
- [9] MENNY V. et DUPUY B., Exposé sur l'intérêt de mener une expérimentation de fabrication de biogaz à Manompana, Madagascar.
- [10] MISSION ECONOMIQUE Fiche de synthèse : L'électricité à Madagascar 2007 - 4 pages,
- [11] Philippe NJAMPOU Dimensionnement d'une installation de Biométhanisation, 2011
- [12] RAHARIJAONA Onja Tiana « Contribution à l'étude technico-économique comparative de deux modeles de biodigesteur : cloche flottante et plug-flow. - cas de fermes de vaches laitieres »
- [13] RAKOTOARIMANANA N., Etude sur les potentiels de développement et de protection du foret naturel d'Antenina en vue d'élaboration d'un plan d'aménagement, septembre 2011
- [14] RAKOTONDRATSIMBA M. A., Contribution à l'étude de valorisation du lignite de la région Vakinankaratra, mars 2012
- [15] RANDRIANARISOA A.M.T., Energies durables pour tous : les ménages, les collectivités et les entreprises, Octobre 2013



- [16] RANDRIANASOLO Z. H., Développement de modelé allometrique dans le corridor forestier d'Ivohibe-Vondrozo, juillet 2009
- [17] Rapport de diagnostic du Secteur Energie Cabinet AIDES – 2012
- [18] RASELISON Nirintsoa Francine « Contribution à l'étude technico-économique comparatives de deux modèles de biodigesteurs : cloche flottante et plug flow, - cas de fermes de poules pondeuses », 2006
- [19] WAUTHELET M, 2010, « Traitements anaérobies des boues et Valorisation du biogaz», Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, asbl Epuvaleau, 2, avenue de la Faculté, B- 5030 Gembloux, Belgique.
- [20] WWF En partenariat avec le Ministère de l'Energie : Rapport Diagnostic du Secteur Energie Septembre 2012 – 197 pages
- [21] http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/biogaz_composition.html [18 Septembre 2018]
- [22] <http://www.midi-madagasikara.mg/economie/2017/11/15/energies-alternatives-200-unites-de-production-de-biogaz-a-installer/> [16 septembre 2018]
- [23] <http://www.imvtana.org/dechets-organiques/> [18 septembre 2018]

ANNEXES

ANNEXE 1 : Avantages et inconvénients des trois types de digesteurs

Type de Digesteur	Avantages	Inconvénients
Digesteur à cloche flottante ou digesteur type Indien	<ul style="list-style-type: none"> -installation facile à faire fonctionner (déchargement) -quantité de gaz directement visible par la hauteur de la cloche gazométrique -pression moyenne et quasi constante du gaz -pas d'erreur possible dans l'exécution des travaux de constructions du digesteur. 	<ul style="list-style-type: none"> -coût élevé de la construction de la cloche gazométrique -beaucoup de pièces en acier susceptibles de se rouiller donc durée de vie plus courte pour la cloche (zone tropicale) -frais d'entretien régulier pour des travaux de peintures.
Digesteur à dôme fixe ou digesteur type Chinois	<ul style="list-style-type: none"> -coût modéré -pas d'éléments mobiles -pas de pièces en acier susceptible de rouiller d'où longue durée de vie (20 ans et plus) -construction souterraine d'où une protection contre les basses températures en hiver et économie de place. 	<ul style="list-style-type: none"> -faible capacité de stockage (utilisation du biogaz produit limité) -installation souvent non étanche (risque de fuite de gaz dans la partie supérieure du Dôme) -pression du gaz souvent très élevée et sujette à des fortes variations d'où recours nécessaires à des régulateurs de pression.
Digesteur plug-flow	<ul style="list-style-type: none"> -Construction amplement simplifié. -Peut digérer des matières difficiles comme les jacinthes d'eau -Pas de problèmes hydrauliques -Peut être alimenté avec des substrats liquides à teneur en MS plus élevée grâce aux grandes ouvertures d'entrée et de sortie du digesteur ce qui augmenterait encore plus -Haute productivité de l'installation. -Vidange et entretien simples. 	<ul style="list-style-type: none"> -Très fragile -Durée de vie relativement courte (5ans environ) et très limitée.

Source : Raselison, 2006

ANNEXE 2 : Tableau comparatif des 3 types de digesteurs

Tableau 36: les éléments comparatifs des trois différents digesteurs

Eléments de comparaison	Digesteur type Indien cloche flottante	Digesteur type chinois à dôme fixe	Digesteur plug-flow
Forme du digesteur	Cylindrique	Semi - sphérique	Fosse horizontale
Matériaux de construction	En brique ou béton armé + tôle	Brique ou béton armé ou béton triple	Brique ou moellons + béton armé + bâche souple
Nature du gazomètre	Couvercle flottant en tôle (cloche flottante)	Partie supérieure du dôme sphérique	Bâche souple
Type de fermentation	Semi – continu	Combinaison du système continu et discontinu	Semi – continu
Nature du substrat	Liquide	Liquide ou solide	Substrat liquide ou solide, même les matières difficiles à digérer
Pression du gaz	Constante	Variable et assez élevé	Moyenne
Rendement journalier (en m³ de gaz/m³ de digesteur)	0,65 à 0,8	0,1 à 0,4	0,26
Durée de vie	5 à 15 ans dus à la corrosion de la cloche métallique	20 ans et plus	5 ans causé par l'altération de la bâche
Coût	Elevé	Modéré	Modéré

Source : Raselison, 2006

ANNEXE 3 : Schémas des différents types de digesteurs :

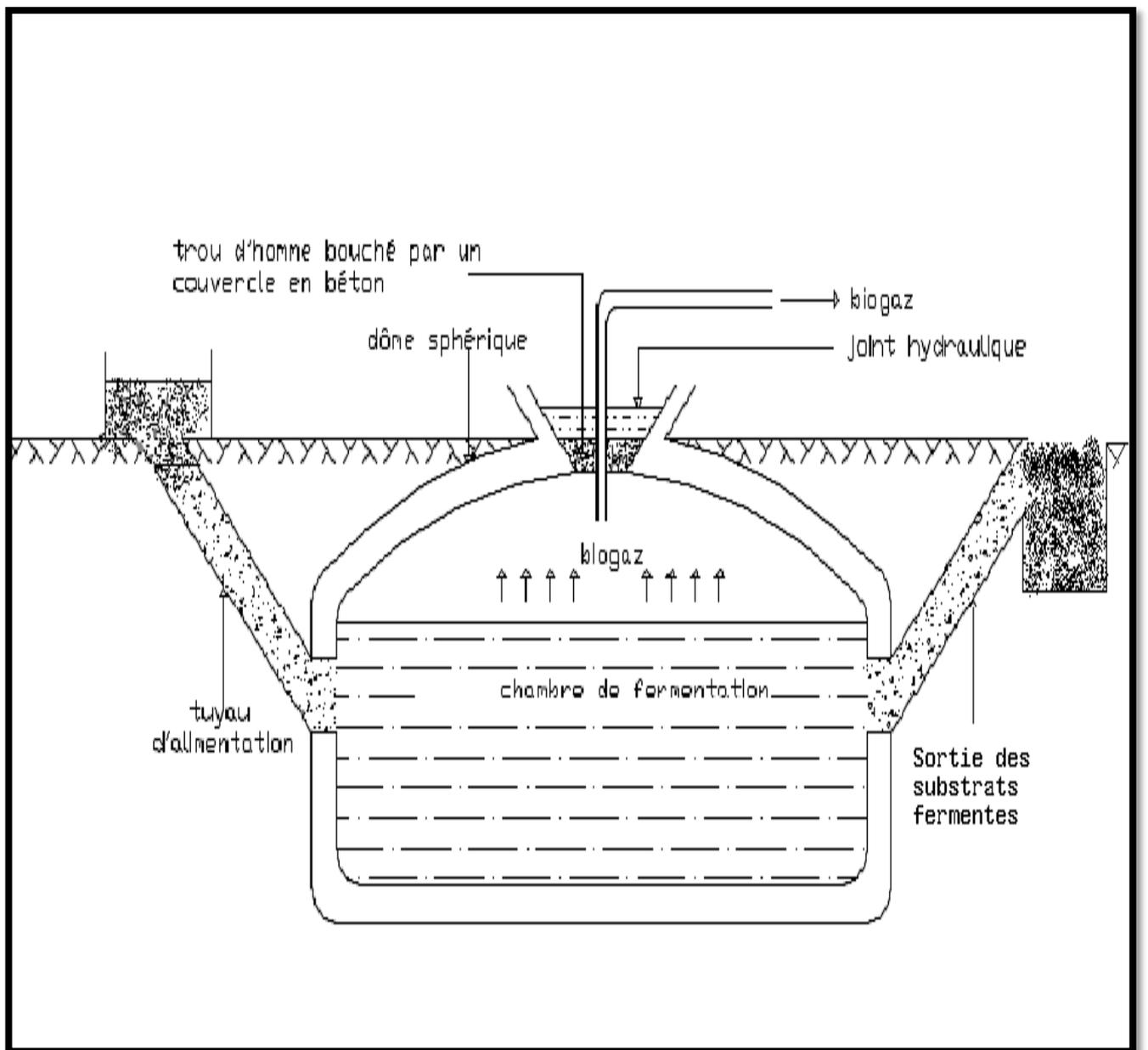


Figure 8: Digesteur à dôme fixe

Source : Billaud, 1983

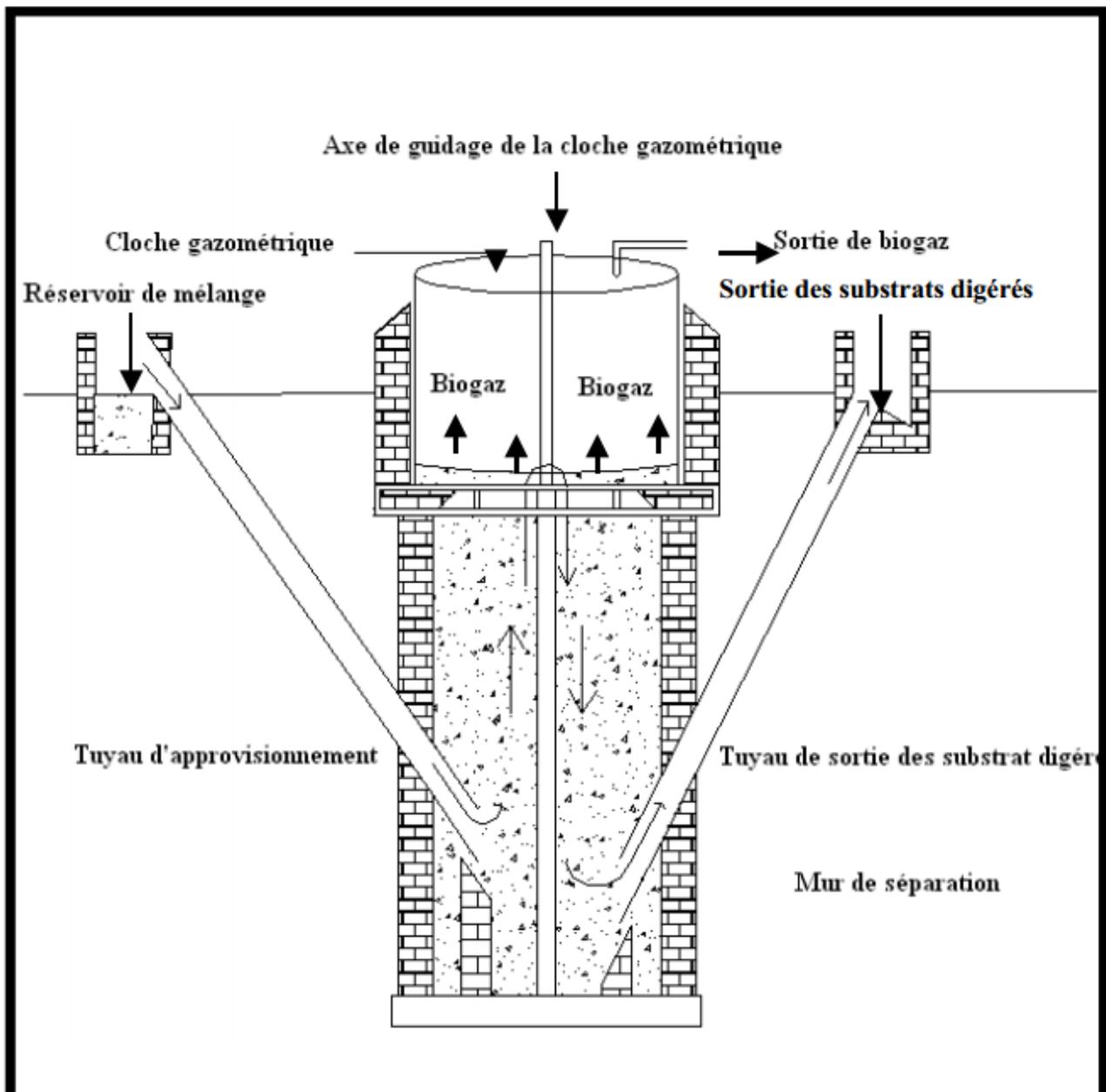


Figure 9 : Digesteur à cloche flottante

Source : Raselison, 2006

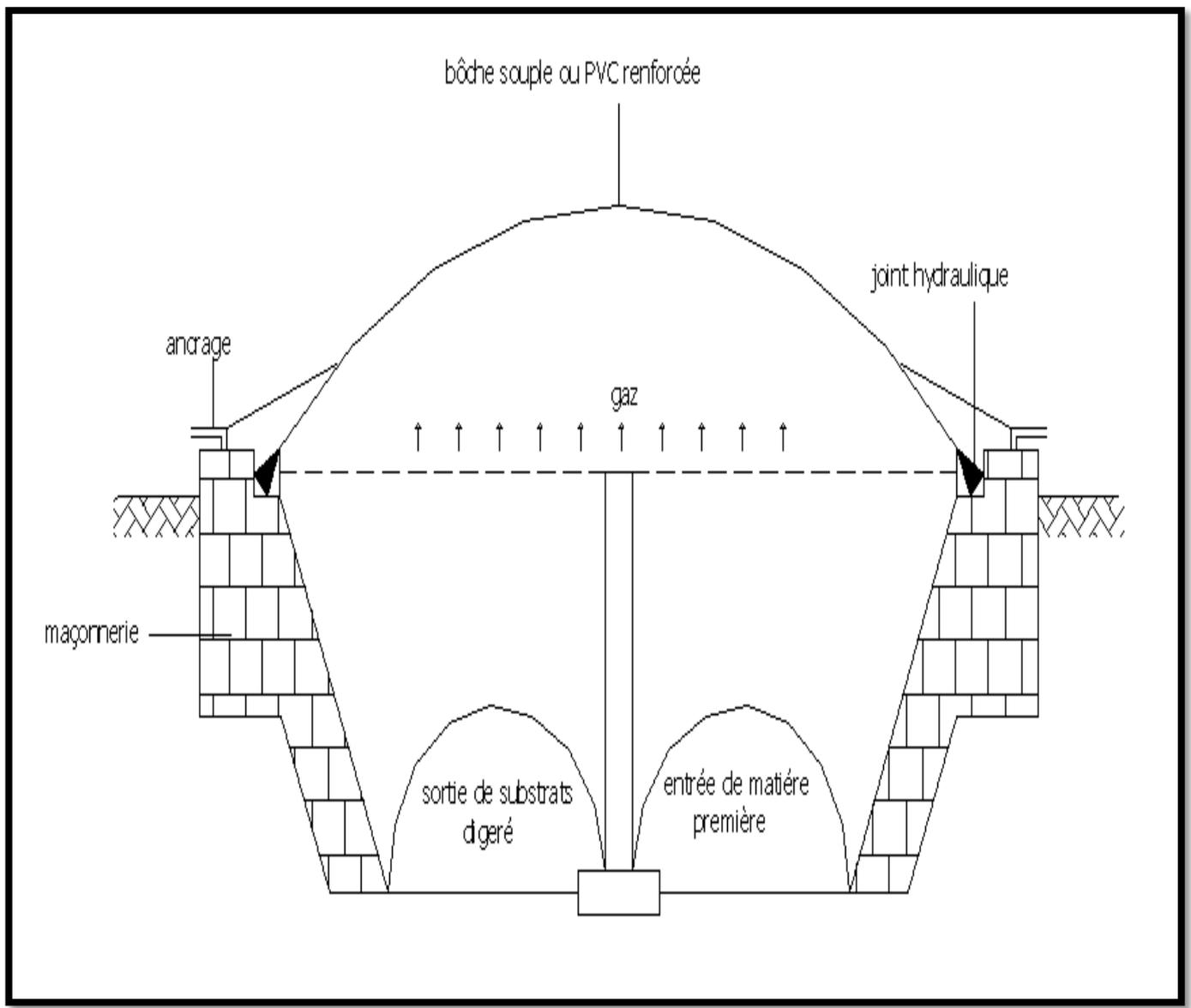


Figure 10 : Digesteur plug-flow

Source : Raharijaona, 2007

ANNEXE 4 : IMMOBILISATION FINANCIER

Tableau 37: Investissements d'immobilisation financiers

Désignation	Nombre	Prix unitaire	Montant
IMMOBILISATIONS INCORPORELLES			900 000,00
Licence Microsoft	1	900 000	900 000,00
IMMOBILISATIONS CORPORELLES			72 138 000,00
1) Constructions			63 900 000,00
Biogaz	ft	63 900 000	63 900 000,00
2) Matériels et outillages			6 802 000,00
Gants	4	2 000	8 000,00
Bottes	4	20 000	80 000,00
Combinaison (bleu de travail)	4	20 000	80 000,00
Pelle	2	6 000	12 000,00
Fourches	2	5 000	10 000,00
Brouettes	2	50 000	100 000,00
Seaux Plastiques	4	3 000	12 000,00
conversion électrique biogaz	1	6 500 000	6 500 000,00
3) Matériels informatiques			1 260 000,00
ordinateur	2	600 000	1 200 000,00
imprimante	1	60 000	60 000,00
4) Matériel de Bureau			176 000,00
Chaise	8	2 000	16 000,00
Table de bureau	4	25 000	100 000,00
Table d'atelier	2	30 000	60 000,00
Imprévu (3%)			2 191 140,00
TOTAL GENERAL			75 229 140,00

ANNEXE 5 : AMORTISSEMENTS D'IMMOBILISATION

Tableau 38: Amortissements d'immobilisation

DESIGNATION	valeur d'acquisition	taux	durée	1ère -4ème année	5 ^{ème} année
Licence Microsoft et logiciel	900 000	25%	4ans	225 000	
Construction	63 900 000	5%	20ans	3 195 000	3 195 000

Matériels et outillage	6 802 000	20%	5ans	1 360 400	1 360 400
Matériels de bureau	176 000	10%	10ans	17 600	17 600
Matériels informatiques	1 260 000	25%	4ans	315 000	
Total				5 113 000	4 573 000

ANNEXE 6 : CHARGE SALARIALE

Tableau 39: Charges salariales

Postes	effectifs	1 ^è année		2 ^è année		3 ^è année		4 ^è année		5 ^è année	
		salaire/mois	Salaire/an	Salaire par an	Salaire par mois	Salaire/ an	Salaire/an	Salaire/mois	Salaire/an		
Gérante	1	500 000	6000000	6000000	550000	6600000	6600000	605000	7260000		
Ouvriers (usine)	4	400 000	4800000	4800000	440000	5280000	5280000	484000	5808000		
Agents de sécurité	1	100 000	1200000	1200000	110000	1320000	1320000	121000	1452000		
Sous- total			12000000	12000000		13200000	13200000	1210000	14520000		
Charges patronales OSIE (5%)			600000	600000		660000	660000		726000		
Cnaps (13%)			1560000	1560000		1716000	1716000		1887600		
TOTALES			14160000	14160000		15576000	15576000		17133600		

ANNEXE 7 : CHARGE D'EXPLOITATION

Tableau 40 : Charges d'exploitation de production de biogaz

Rubriques	1 ^{ère} année	2 ^è année	3 ^è année	4 ^è année	5 ^è année
1. Achats consommés					
1.1. Matières Premières Biogaz					
Eau (m3)	70666200	77732820,000	85506102,000	94056712	103462383,4
Matière organique	8041000	8845100,000	9729610,000	10702571	11772828,1
Sous total 1	78707200	86577920,000	95235712,000	104759283	115235211,5
2. services intérieurs					
Salaires	12000000	12000000,000	13200000,000	13200000	14520000
Charges patronales	2160000	2160000,000	2376000,000	2376000	2613600



Sous total 2	14160000	14160000,000	15576000,000	15576000	17133600
3. Services extérieurs					
Eau JIRAMA	650000	715000,000	786500,000	865150	951665
Publicité	200000	220000,000	242000,000	266200	292820
Déplacement	500000	550000,000	605000,000	665500	732050
Impôt	600000	660000,000	726000,000	798600	878460
Sous total 3	1950000	2145000,000	2359500,000	2595450	2854995
Total Général	94 817 200,00	102882920,00	113171212,00	124488333	136937166,5

ANNEXE 8 : BUDGET DE TRESORERIE

Tableau 41: Budget de trésorerie

Rubriques	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Emprunts contractés	69 253 408,00				
Vente	390 214 666,52	429 236 133,17	472 159 746,48	519 375 721,13	571 313 293,25
Encaissement	459 468 074,52	429 236 133,17	472 159 746,48	519 375 721,13	571 313 293,25
Charges d'exploitation	94 817 200,00	102 882 920,00	113 171 212,00	124 488 333,20	136 937 166,52
<u>Intérêts</u>	12 465 613,44	10 723 196,89	8 667 145,37	6 241 004,57	3 378 158,43
IBS (25%)	69 286 609,82	77 444 340,28	86 098 692,11	96 049 000,15	106 788 461,82
Immobilisations	75 229 140,00				
Remboursement d'emprunt	22 145 705,36	22 145 705,36	22 145 705,36	22 145 705,36	22 145 705,36
Décaissement	273 944 268,62	213 196 162,53	230 082 754,84	248 924 043,28	269 249 492,13
Solde	185 523 805,89	216 039 970,64	242 076 991,65	270 451 677,85	302 063 801,12



ANNEXE 9 : COMPTE DE RESULTAT

Tableau 42: Compte de résultat

Rubriques	1 è année	2 è année	3è année	4 è année	5 è année
Chiffre d'affaire	390 214 666,52	429 236 133,17	472 159 746,48	519 375 721,13	571 313 293,25
Production stockée					
Production immobilisée					
I- PRODUCTION DE L'EXERCICE	390 214 666,52	429 236 133,17	472 159 746,48	519 375 721,13	571 313 293,25
Achat consommé	78 707 200,00	86 577 920,00	95 235 712,00	104 759 283,20	115 235 211,52
Service extérieurs	1 950 000,00	2 145 000,00	2 359 500,00	2 595 450,00	2 854 995,00
II- CONSOMMATION DE L'EXERCICE	80 657 200,00	88 722 920,00	97 595 212,00	107 354 733,20	118 090 206,52
III- VALEUR AJOUTE D'EXPLOITATION	309 557 466,52	340 513 213,17	374 564 534,48	412 020 987,93	453 223 086,73
Charges de personnel	14 160 000,00	14 160 000,00	15 576 000,00	15 576 000,00	17 133 600,00
Impôt, taxes et versement assimilés	672 413,79	739 655,17	813 620,69	894 982,76	984 481,03
IV- EXCEDENT BRUT D'EXPLOITATION	294 725 052,72	325 613 557,99	358 174 913,79	395 550 005,17	435 105 005,69
Autres produits opérationnels					
Autres charges opérationnelles					
Amortissements	5 113 000,00	5 113 000,00	5 113 000,00	5 113 000,00	4 573 000,00



V-RESULTAT OPERATIONNEL	289 612 052,72	320 500 557,99	353 061 913,79	390 437 005,17	430 532 005,69
Produit financier					
Charges financiers	12 465 613,44	10 723 196,89	8 667 145,37	6 241 004,57	3 378 158,43
VI- RESULTAT FINANCIER	- 12 465 613,44	- 10 723 196,89	- 8 667 145,37	- 6 241 004,57	- 3 378 158,43
RESULTAT NETTE AVANT IMPOT	277 146 439,28	309 777 361,10	344 394 768,42	384 196 000,60	427 153 847,26
Impôt éligible sur le résultat (25%)	69 286 609,82	77 444 340,28	86 098 692,11	96 049 000,15	106 788 461,82
Impôt différé					
TOTAL DES PRODUITS DE L'ACTIVITE ORDINAIRE (CA)	390 214 666,52	429 236 133,17	472 159 746,48	519 375 721,13	571 313 293,25
TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES	182 354 837,05	196 903 112,34	213 863 670,17	231 228 720,68	250 947 907,80
VII- RESULTAT NET DES ACTIVITE ORDINAIRES ou MARGE BRUT D'AUTOFINANCEMENT (MBA)	207 859 829,46	232 333 020,83	258 296 076,32	288 147 000,45	320 365 385,45

ANNEXE 10 : CALCUL DE DR (DELAI DE RECUPERATION)

DR = Io / b

b = 62 498 092, 74

Io= 98 933 440, 00



DR = 98 933 440, 00 / 62 498 092, 74

DR = 1,582983347 ie, 1 an

0,582983347 / 12 = 6,995800164 ie, 6 mois

0,995800164 / 30 = 29,87400492 ie, 29 jours

DR = 1 an 6 mois 29 jours

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



TABLE DE MATIERE

TENY FISAORANA	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES PHOTOS	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : CADRE D’ETUDES	2
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE.....	3
I 1 Centre National de Recherches Industrielle et Technologique	3
I.1.1 : Fiche d’identification du CNRIT	3
I.1.2 : Historique du CNRIT	3
I.1.3 : Objet du CNRIT	3
I.1.4 : Mission du CNRIT	4
I.1.5 : Conseil d’administration.....	5
I.1.6 : Conseil scientifique d’orientation.....	5
I.1.7 : Direction	6
I.1.8 : Département Administration et financier	6
I.1.9 : Département Chimie.....	6
I.1.10 : Département Energétique.....	6
I.1.11 : Département Métallurgie et Géologie.....	6
I.1.12 : Département informatique	6
I.1.13 : Département Matériaux et Génie Civil	7
I.1.14 : Contrôle de Gestion	7
I.1.15 : Division documentation	7
I.1.16 : Groupe Marketing et étude	7
I.1.17 : Structure d’Appui.....	8
I 2 Contexte de Stage.....	8
CHAPITRE II : PRESENTATION DU LIEU D’INSTALLATION DU DIGESTEUR.....	9
II 1 Présentation du lieu :.....	9
II 2 Historique :.....	11
II 3 Organigramme.....	12
II 4 Objectif global:.....	13



II 5	Objectifs spécifiques	13
II 6	Les secteurs d'activités.....	13
II 7	Missions generales:	15
II 8	Departement elevage : ARMOR	15
II.8.1 :	Effectifs du cheptel au sein du FIFAMANOR	15
II.8.2 :	Les différents appareils utilisés au sein d'ARMOR	16
CONCLUSION PARTIELLE.....		20
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS -METHODES		21
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE.....		22
I 1	Les sources d'énergie disponibles.....	22
I.1.1 :	Les énergies non renouvelables	22
I.1.2 :	Les énergies renouvelables	22
I.1.3 :	Les avantages et inconvénients de ces sources d'énergie.....	23
I 2	Situation Energétique à Madagascar	23
I.2.1 :	La Potentialité en source d'énergie Renouvelable à Madagascar (Cabinet AIDES, 2012) 23	
I.2.2 :	La gestion des déchets à Madagascar	24
I.2.3 :	La valorisation des déchets à Madagascar.....	25
I.2.4 :	Le but de la valorisation des déchets à Madagascar	26
I.2.5 :	Le biogaz à Madagascar (Mission économique, 2007)	27
CHAPITRE II : PROCESSUS DE PRODUCTION DE BIOGAZ.....		30
II 1	Synthèse bibliographique sur la production de biogaz (HESS J, 2007).....	30
II.1.1 :	La Méthanisation	30
II.1.2 :	Principe de fonctionnement de la méthanisation	30
II.1.3 :	Paramètres d'optimisation de la méthanisation (Philippe N, 2011)	32
II.1.4 :	Les principaux inhibiteurs de la digestion anaérobique (Billaud and Varagnat, 1983)....	34
II.1.5 :	Les produits issus de la méthanisation : le biogaz et ses composants (Billaud and Varagnat, 1983).....	35
II 2	La valorisation du méthane	37
II.2.1 :	Le digestat.....	37
II.2.2 :	Les différentes technologies de valorisations du biogaz	37
II.2.3 :	Différents types de Digesteur	38
CHAPITRE III : EVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DE FIFAMANOR ANTSIRABE 40		
III 1	Source d'énergie utilisée par FIFAMANOR :	40
III.1.1 :	Les appareils utilisés par FIFAMANOR	40



III.1.2 :	la consommation énergétique de FIFAMANOR	41
CHAPITRE IV : PRODUCTION DE BIOGAZ A PARTIR DES RESSOURCES DU FIFAMANOR 42		
IV 1	Les Travaux de laboratoire.....	42
IV 2	Les dispositifs de l'expérimentation.....	42
IV.2.1 :	Description de l'expérimentation.....	42
CONCLUSION PARTIELLE..... 50		
TROISIEME PARTIE : PERSPECTIVES EN GRANDEUR REELLE ET ETUDE DE PREFAISABILITE ECONOMIQUE ET DE RENTABILITE FINANCIERE..... 51		
CHAPITRE I : LES PERSPECTIVES D'APPLICATION EN GRANDEUR REELLE 52		
I 1	Les ressources valorisables de FIFAMANOR	52
I.1.1 :	Potentialité des ressources (biomasse) valorisables de FIFAMANOR	52
I.1.2 :	Le régime alimentaire du cheptel de FIFAMANOR	53
I 2	Étude de la disponibilité et de l'évolution en substrat de FIFAMANOR pour les dix années à venir ⁵⁴	
I.2.1 :	Dimensionnement du volume du réacteur (biodigesteur).....	56
I.2.2 :	Conception et composition des installations de production	57
I.2.3 :	Exploitation Prévisionnelle de l'unité de production	59
I.2.4 :	Chargement du digesteur	60
I.2.5 :	Production Prévisionnelle en biogaz	60
I.2.6 :	Bilan Énergétique Prévisionnel annuel de l'unité de biogaz	61
I.2.7 :	La conversion du biogaz en électricité	61
I.2.8 :	Résultats Prévisionnels de la conversion de production.....	62
I 3	Réduction du coût énergétique de la ferme FIFAMANOR	62
CHAPITRE II : ETUDE DE PREFAISABILITE ECONOMIQUE ET DE RENTABILITE FINANCIERE 64		
II 1	Contexte du projet	64
II.1.1 :	Présentation du projet	64
II.1.2 :	Objectifs des études de préfaisabilité économique et financière	66
II 2	La méthodologie des évaluations	66
II.2.1 :	Méthode d'études de l'opportunité économique du projet.....	66
II.2.2 :	Système comptable de mesure de performance de rentabilité.....	68
II.2.3 :	Définition des éléments d'évaluation financière du projet.....	69
II 3	L'étude de rentabilité.....	71
II.3.1 :	Immobilisations	71
II.3.2 :	Charges salariales	72



II.3.3 : Charges d'exploitation.....	72
II.3.4 : Le Fonds de Roulement Initial (FRI) et Investissement (Io).....	72
II.3.5 : Remboursement d'emprunt.....	73
II.3.6 : Chiffre d'affaire.....	73
II.3.7 : Compte des résultats.....	74
II.3.8 : Budget de Trésorerie.....	74
II 4 Indicateur de rentabilité.....	75
II.4.1 : Taux Moyen de Rendement (TMR).....	75
II.4.2 : Délai de récupération (DR).....	76
II.4.3 : Valeur Actuelle Nette (VAN).....	76
II.4.4 : Taux de rentabilité interne (TRI).....	76
II.4.5 : Indice de Profitabilité (Ip).....	76
II.4.6 : Indicateur de rentabilité.....	77
CONCLUSION PARTIELLE.....	78
QUATRIEME PARTIE : RESULTATS - DISCUSSION.....	79
CHAPITRE I : RESULTATS.....	80
I 1 Bilan de la consommation annuelle de la ferme de FIFAMANOR.....	80
I.1.1 : Facture de JIRAMA.....	80
I.1.2 : Consommation électrique journalière, mensuelle et annuelle de FIFAMANOR.....	80
I 2 Résultats de la valorisation énergétique des ressources fermentescibles de FIFAMANOR.....	81
I.2.1 : Bilan énergétique Annuel Prévisionnel de FIFAMANOR.....	81
I.2.2 : Résultat Prévisionnel de la conversion électrique.....	81
I 3 Résultat Récapitulatif de l'évaluation économique et de rentabilité financière.....	82
CHAPITRE II : DISCUSSION.....	84
CONCLUSIONS GENERALES.....	86
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....	I
ANNEXES.....	III
TABLE DE MATIERE.....	XIV