

# REDUCTION DU COUT ENERGETIQUE ET RENTABILISATION DES ACTIVITES DE FIFAMANOR PAR BIOMETHANISATION DES DECHETS ORGANIQUES DE LA FERME

J. L. RASOANAIVO<sup>1</sup>, A.O.RAVONINJATOVO<sup>1</sup>, L. ANDRIANAIVO<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> *Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar*

<sup>2</sup> *Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie, Université d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo*  
e-mail : [jeanlucnj@gmail.com](mailto:jeanlucnj@gmail.com)

## Résumé

L'objectif général de cette étude consiste à valoriser les déchets solides organiques de la ferme de FIFAMANOR qui est généralement la bouse de vache. Après l'évaluation des besoins énergétique de la ferme et après l'étude au laboratoire des déchets, on a observé un fort potentiel énergétique de l'ordre de 24 184 KWh/an qui est un atout pour la réduction du cout énergétique de la ferme. Ainsi FIFAMANOR peut envisager la possibilité de diminuer en grande partie la consommation en énergie fournie par la JIRAMA et même l'autonomisation en énergie de la ferme. En favorisant la valorisation des déchets organiques avec production de biogaz et conversion électrique du biogaz produit il permet à la ferme d'avoir une économie d'énergie de 2 221,91 kWh/mois.

*Mots clés : Déchets solides organiques, valorisation, biogaz, coût énergétique*

## 1. 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.

Le présent travail de recherches essaie d'apporter des éclaircissements sur les différentes questions posées.

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1. Zones d'études

Ce travail de recherches a été focalisé dans la zone d'implantation de la FIFAMANOR sis à Andranomanelatra (Figure 1), dans la région de Vakinankaratra. L'infrastructure à mettre en place pour valoriser les déchets solides organiques de ferme sera réalisée dans son enceinte.

- Présentation de FIFAMANOR et le lieu d'implantation:

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



Figure 1: FIFAMANOR ARMOR

### 2.2. Evaluation du potentiel énergétique de FIFAMANOR

La méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail de recherches consiste respectivement à évaluer les ressources valorisables au niveau de la ferme de FIFAMANOR, inventorier les équipements de production fonctionnant avec les sources d'énergie de la JIRAMA et enfin évaluer le potentiel énergétique obtenu à partir de la valorisation énergétique des ressources organiques disponibles chaque jour.

#### 2.2.1. 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.

- *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 (Figures 2 à 3).



Figure 2 : Tank à lait



Figure 3: Machine à traire

### 2.2.1. 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 1 suivant récapitule la puissance et la durée de fonctionnement journalier de chaque appareil :

Tableau1: 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.

### 2.2.2. Production de biogaz à partir des ressources du FIFAMANOR

La production de biogaz à partir des ressources de FIFAMANOR ne peut se faire qu'à partir des essais d'expérimentation des déchets organiques au niveau laboratoire.

#### 2.2.2.1. *Les Travaux de laboratoire*

La valorisation des déchets solides organiques de la ferme à des fins agro énergétiques doit passer à travers le digesteur de laboratoire pour déterminer le potentiel énergétique des déchets à valoriser.

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
- \*

#### 2.2.2.2. Les dispositifs de l'expérimentation

- 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.

- 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.

- 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 2 suivant montre la proportion de substrats introduit dans le digesteur.

Tableau 2: 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

- Les procédés d'analyses

Pour mener à bien la production de biogaz à partir d'une matière première telle que la bouse de vache, il faut passer 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 étanche 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 digestion, le gaz commence à se produire et est transmis 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 brûleur afin de tester la combustibilité du gaz produit.

- Le suivi de l'expérimentation
  - Productivité en biogaz

Le tableau 3 suivant récapitule la productivité en gaz pour chaque échantillon obtenu.

Tableau 3 : Productivité en gaz pour chaque échantillon

Échantillons	Substrats (g)	Ferments (g)	Eau (l)	Production de gaz(l) pour un cycle de 30 jours	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 4 ci-dessous.



Figure 4: Allure de la flamme

### 2.3. 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 4).

Tableau 4: 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.

### 2.4. Perspectives en grandeur réel

Cette partie met en exergue 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.

#### 2.4.1. 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 5 suivant récapitule la totalité du bétail de FIFAMANOR.

Tableau 5 : 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

#### 2.4.1.1. 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 6 : Evaluation de la potentialité en ressources (biomasse) valorisables

Cheptels	Effectifs	Déchets générés par jour et par type de bétail (kg/j)	Déchets totaux générés par jour et par type de bétail (kg/j)	Déchets totaux générés par mois et par type de bétail (kg/mois)	Déchets totaux générés 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.

#### 2.4.2. 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 7 suivant :

Tableau 7 : 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.



### 2.4.3. 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 8 suivant informe le volume du digesteur requis en adéquation avec les ressources disponibles de la ferme de FIFAMANOR.

Tableau 8 : 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 m<sup>3</sup> ou 142 m<sup>3</sup>

## 2.5. Conception et composition des installations de production

### 2.5.1. Conception du biodigesteur

Plusieurs modèles de digesteur 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 m<sup>3</sup>.

### 2.5.2. 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):

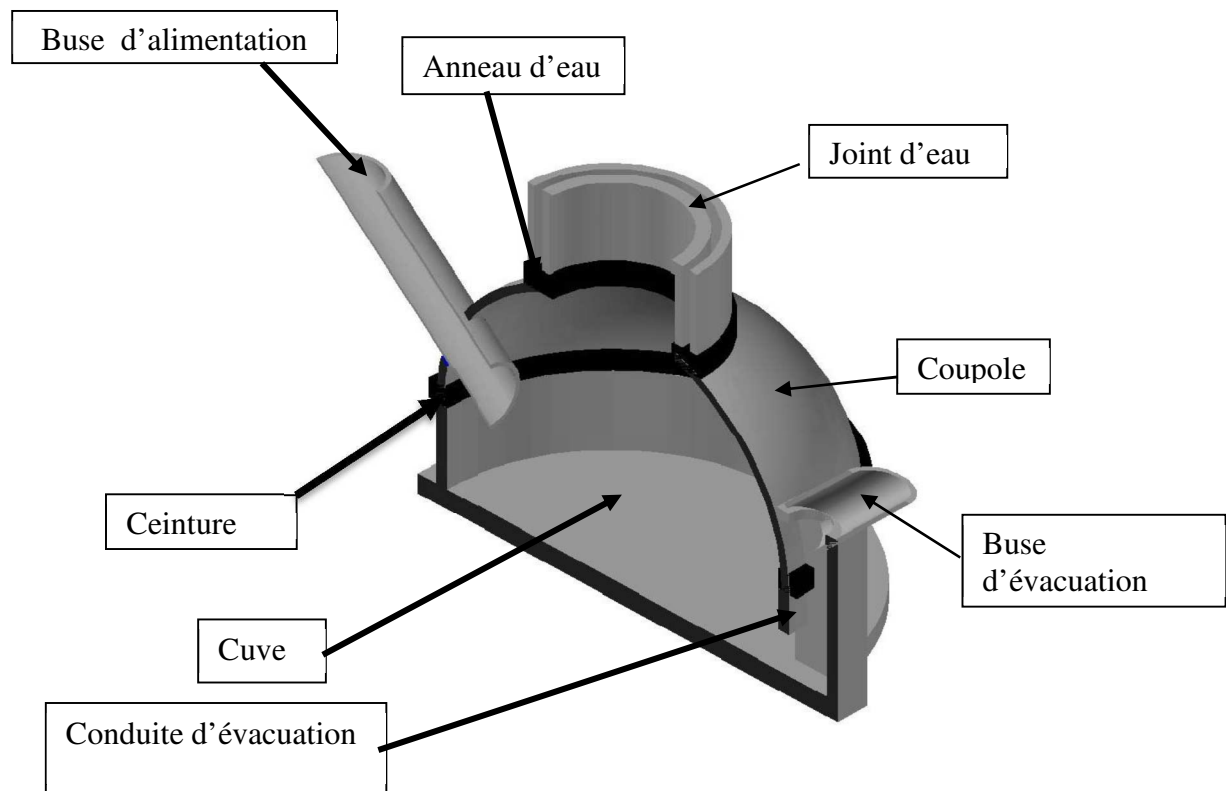


Figure 5 : Composante d'un biodigester (vue en coupe)

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Modèle et volume utile biodigesteur

Le digesteur à installer au niveau de la ferme de FIFAMANOR est de modèle à cloche flottante avec un volume utile de : 142,2 m<sup>3</sup>.

#### 3.2. 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 9 : Proportion requise pour le chargement du digesteur

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

#### 3.3. 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 10 suivant.

Tableau 10 : Évaluation de la production de biogaz à grande échelle

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

#### 3.4. 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 11 suivant.

Tableau 11 : Récapitulation du Bilan énergétique Prévisionnel Annuel

	Quantité (m <sup>3</sup> )	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/m<sup>3</sup>, l'énergie calorifique prévisionnelle pour le volume annuel de gaz produit est de 20 822 406 kcal.

#### 3.5. 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.

- 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 / m<sup>3</sup> (Electrigaz, 2010). Mais en pratique, il est d'environ 2 kWh / m<sup>3</sup> suivant le rendement du générateur, le reste de l'énergie est perdu et dissipé sous forme de chaleur irrécupérable.

- Matériels de conversion 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 m<sup>3</sup> de biogaz consommé.

- Caractéristiques et fonctionnement du matériel

Les caractéristiques de ce générateur et son rendement de production sont récapitulées dans le tableau 12 suivant.

Tableau 12 : 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 <sup>3</sup>

### 3.6. 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 13 suivant.

Tableau 13 : Production Prévisionnelle en Energie électrique

Biogaz converti (m <sup>3</sup> )		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.

### 3.7. 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 m<sup>3</sup> de biogaz obtenus par mois correspondant à 2015,33 kWh/mois, on peut dire qu'on a pu réduire le coût énergétique de FIFAMANOR.

Tableau 14 : Réduction coût énergétique FIFAMANO

Désignation	Energie correspondante (kWh/mois)	PU (Ar/kWh)	Prix Total (MGA)
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 MGA.

### 3.8. Résultats de l'étude de préfaisabilité économique et de rentabilité financière du projet

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. Il est aussi à 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.

#### 3.8.1. Présentation et Fiche technique 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 15 essaie d'apporter les informations relatives aux caractéristiques du projet et un aperçu des démarches relatives à sa réalisation.

Tableau 15 : 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 sauve garde 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)

#### 3.8.2. Immobilisations

##### 3.8.2.1. Investissements d'immobilisation

L'investissement des immobilisations du projet est de Soixante-quinze million deux cent vingt-neuf mille cent quarante Ariary, soit MGA 75 229 140,00

##### 3.8.2.2. Amortissements d'immobilisation

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

### 3.8.3. Charges salariales

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

### 3.8.4. 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.

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

## **3.9. Plan de financement**

Il est représenté par le tableau 16.

Tableau 16 : Plan de financement

Rubriques	Pourcentage	Montant
Apport Des Associés	30%	29 680 032
Emprunt	70%	69 253 408
Investissement En Ariary	100%	3 33 440

## **3.10. Indicateurs de rentabilité**

### 3.10.1. Valeur Actuelle Nette (VAN)

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

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

$VAN = 37\,659\,021,67 \text{ MGA}$

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

### 3.10.2. 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.  $TRI (\%) = 38,5$

### 3.10.3. Indice de Profitabilité (Ip)

L'indice de profitabilité ( $I_p$ ) d'un investissement est défini comme étant le quotient de la somme des cashs – flows (flux générés) actualisés par le montant du capital investi.

$$I_p = 1 + VAN/I_o$$

$$I_p = 1 + 0,383098917$$

$$I_p = 1,38$$

#### 3.10.4. Délai de récupération (DR)

C'est le nombre d'années nécessaire pour faire revenir le capital investi à partir des résultats des activités.

$$DR = I_o/b$$

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

### **4. 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.

## **5. CONCLUSION**

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.

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

## **REFERENCES**

- [2] Andriamamonjy J.D., Herivololona B., Ramanitriniaina V., Rajaonarivo M. – 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



- [7] Hess J. : 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] Njampou Ph - Dimensionnement d'une installation de Biométhanisation, 2011
- [12] Raharijaona O.T. « Contribution à l'étude technico-économique comparative de deux modes de biodigesteur : cloche flottante et plug-flow. - cas de fermes de vaches laitières »
- [13] Rakotoarimanana N., Etude sur les potentiels de développement et de protection du forêt 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 modèle allométrique 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 Epuvaleur, 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](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]