

## **Valorisation des déchets de Géranium d'Ambositra par biométhanisation**

J.M. Tolojanahary<sup>1</sup>, B. Randrianjaka<sup>1</sup>, T.Fanjirindratovo<sup>2</sup>, S.C Manjovelo<sup>2</sup>,  
Dr A.D. Razafindrakanakolona <sup>3</sup>, Dr M.M. Rakotoarivelo<sup>4</sup>, P.R Fatiany<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctorant Domaine Science et Technologie à l'Université de Toliara

<sup>2</sup>Domaine Science et Technologie, Université de Toliara

<sup>3</sup> Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement Fianarantsoa

<sup>4</sup> EAD 6 EDT Sciences Humaines et Sociales, Université d'Antananarivo

Correspondant: [jmtolojanahary@gmail.com](mailto:jmtolojanahary@gmail.com)

### **Résumé**

L'objectif principal de ce travail est la recherche des alternatives durables, vis-à-vis de l'accumulation des déchets et la déforestation galopante causées par le développement de la culture de Géranium. Des essais en laboratoire de 4 285 g de résidus de la distillation mélangés avec 857 g d'inoculum pendant 91 jours donnent 502 litres de biogaz, soit 335 L/kg.MS avec une teneur en méthane de 63,26% et 33,04% de CO<sub>2</sub> pour un pouvoir calorifique inférieur à 2 269 kJ/Nm<sup>3</sup>. Ces résultats permettent de valoriser par biométhanisation les 32 000 t de déchets de Géranium disponibles par an, afin de substituer les 64 000 m<sup>3</sup> de bois consommés annuellement pour la distillation et les besoins en combustible domestique des 3 786 foyers à 8 personnes. Une production de 20 800 t de compost est envisagée pour éviter le rejet de gaz toxique estimé à 2 464 teCO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les études de faisabilités techniques d'implantation des infrastructures et d'organisation du projet permettent de résoudre de nombreux problématiques : traitement local des déchets organiques, création d'emplois locaux, indépendance énergétique, maintien de l'agriculture, développement économique.

**Mots clés** : biogaz, développement, digestion anaérobie, fertilisant, Géranium.

### **Abstract**

The general objective of this work is the research of the lasting alternatives of the accumulation of the waste and galloping deforestation caused by the development of the geranium culture. So, to arrive there, a test in laboratory of 4285g mixed with 857g inoculum during 91 days gives 502 liters of biogas in average, i.e. 335 L / kg.DM with a methane content of 63.26% and CO<sub>2</sub> of 33.04%, at a lower calorific value of 2269 kJ / Nm<sup>3</sup>. The extrapolation of these results to the valorization 32 000 Tons of the available waste is able to replace of 64 000m<sup>3</sup> consumed for the distillation and the yearly energizing necessity of wood for 3 786 families of 8 peoples. A production of 20 800 Tons of compost is considered with an emission of 2,464 tonnes of equivalent CO<sub>2</sub> avoided in the atmosphere. The technical study for the installation of infrastructures and the organization of activities provide for a real feasibility of the project, the realization of which provides solutions to several issues: local treatment of organic wastes, creation of local green job, development of local resources, energy independence, maintenance of agriculture, economic development.

**Keywords:** Anaerobic digestion, biogas, développement, fertilizer, geranium.

## **Introduction**

Le Géranium est une plante industrielle dont son huile essentielle est très recherchée sur le marché international pour plusieurs usages, comme dans la parfumerie, la savonnerie, l'agro-alimentaire et les laboratoires pharmaceutiques (Nkurunziza, Ntaganda, & Hitimana, 2008). Sa culture a débuté à Madagascar vers 1980 (Lantomalala, 2013). Actuellement la géraniculture est en phase d'expansion sur les hautes terres malgaches, où les facteurs édaphoclimatiques sont propices et favorables au développement de cette plante.

Depuis 2012 dans le district d'Ambositra, l'exploitation couvre une surface plus de 1000 ha. L'extraction d'huile essentielle consomme plus 64 000 m<sup>3</sup> de bois de chauffe, et génère plus de 32 000 t de déchets issus des unités de distillation. Une quantité négligeable de ces déchets est utilisée comme engrais biologique. Une autre quantité est traitée par incinération non contrôlée. La grande partie de ces déchets est rejetée dans la nature sans traitement ni valorisation.

L'accumulation de ces déchets dans la nature présente plusieurs impacts négatifs. D'abord, ces déchets constituent une perte économique, car ce sont des matières premières intermédiaires avec lesquelles on peut produire de l'énergie (électricité, combustibles). En outre, ils représentent une pollution environnementale suite aux actions des bactéries sur les matières organiques, qui émettent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère comme le CO<sub>2</sub> et le méthane, dès que les conditions sont favorables

(Ramampihrika, 1997). De plus, ils engendrent une nuisance de l'attractivité du site en raisons de la dégradation du paysage et de l'odeur dégagée désagréables aux riverains. Par la suite, la contamination de l'air, de l'eau et du sol présente une menace sérieuse à la santé publique.

Un autre problème posé par cette filière génératrice de revenu, la consommation de 64 m<sup>3</sup> de bois/ha/an entraîne la déforestation galopante de l'ordre de 100 ha de la forêt primaire d'Ankazomivady, et d'autres forêts aux alentours (Tantelygasy, 2014). Cela a comme conséquences la disparition de la faune et de la flore endémiques de Madagascar, l'érosion du sol.

C'est dans ce contexte que la valorisation des déchets de géranium constitue le développement du concept de l'économie circulaire, considéré comme une des alternatives pour résoudre ces problèmes si épineux, avec comme objectifs spécifiques :

- la production de biogaz à partir des résidus de Géranium afin de substituer le bois énergie ;
- la production d'engrais biologique pour améliorer la plantation de Géranium ;
- la minimisation de la pollution environnementale due à la géraniculture.

## 2-Matériels et Méthodes

### 2-1-Sites de l'étude et choix de l'échantillon

Notre étude est réalisée le long de la route RN7 du PK 20 au PK 60 au sud de la ville d'Ambositra, plus précisément dans les communes rurales d'Ivato Centre, Ambalamanakana, Ambatofitorahana, Fiadanana et Anjoma Nandihizana. Des champs de plantation de géranium y couvrent plus de 1 000ha. L'extraction de l'huile essentielle de cette plante aromatique génère d'incalculables déchets, qui ne sont ni traités ni valorisés.

En plus, leur distillation gaspille 2 m<sup>3</sup> de bois / t des matières vertes. Ce qui entraîne une déforestation galopante, environ 100 ha de forêt primaire d'Ankazomivady (Tantelygasy, 2014). Le choix de l'échantillon réside dans la disponibilité de ces déchets dans le temps et dans l'espace.



Photo 1: Présentation des zones d'études et déchets de Géranium à Antamponala

## **2-2-Évaluation des déchets disponibles**

Pour obtenir des informations fiables autour de la filière Géranium, des enquêtes ont été réalisées dans les cinq communes où l'étude a été effectuée.

La méthode d'enquête est basée sur l'approche de Méthode Accélérée de la Recherche Participative, qui est divisée en trois étapes.

La première étape consiste à des entretiens avec les 12 grands exploitants de Géranium dans les zones d'exploitation, à propos de leurs surfaces cultivées, le rendement, les bois consommés pour la distillation, les déchets et les problèmes autour de la filière Géranium.

La seconde étape consiste à des entretiens auprès des autorités locales afin de mieux assimiler les enjeux socio-économiques et environnementales de la géraniculture dans les zones d'étude.

La dernière étape est basée sur l'observation directe dans les différentes zones d'extraction et de culture, dans le but de valider la cohérence des informations obtenues auprès des exploitants et des autorités locales.

## **2-3-Prélèvement et caractérisation des matières premières mise en fermentation**

### **a) Substrat**

Nous avons prélevé 20 kg de résidus de la distillation après 6 heures où ils ont été sortis de l'alambic. Les échantillons sont conservés dans un sachet

plastique noir lors de voyage Antamponala-Toliara. Une fois arrivée au laboratoire du CREADE Toliara, les échantillons ont été broyés à l'aide d'une machine électrique, puis conservés à 4 °C avant leur utilisation. Ensuite, nous avons déterminé leur taux de matière sèche (MS), leur taux de matière organique (MO) et leur taux en matière minérale (MM).

Pour ce faire, une quantité  $M_0$  connue du substrat a été introduite dans un étuve maintenu à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante  $M_1$ . Après cela, on a calciné la masse  $M_1$  à 600 °C dans un four jusqu'à un poids constant  $M_2$  pendant plus de 6 heures (Apha, 1998).

$$\%MS = \frac{M_1}{M_0} * 100 \text{ (1)} \quad \%MO = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \text{ (2)} \quad \%MM = \frac{M_2}{M_1} * 100 \text{ (3)}$$

## **b) Inoculum**

Dans cette expérience, nous avons pris l'eau résiduaire de l'abattoir de Befanamy Toliara composé majoritairement de rumen de bovidé comme inoculum. Le rumen a été choisi en raison de ses caractéristiques présumés riches en bactéries méthaniques, qui se développent naturellement dans les voies intestinales des bovins (Jouany, 1994) (Ynagata, Kamagata, Kawaharasak, Suziki, Nakamura, & Minato, 2000). Il est activé avant son utilisation en le laissant 6 jours dans un autre biodigesteur.

## 2-4-Dispositif expérimental

Nos expériences ont été conduites à l'aide d'un digesteur de 20 litres de type discontinu. Il est constitué d'un gazomètre servant à stocker et mesurer le biogaz produit, un port d'analyseur de biogaz permettant de prélever un échantillon de biogaz et un bruleur permettant faire le test d'inflammabilité de biogaz produit. Il est équipé aussi d'un manomètre, un port d'analyseur de liqueur mixte permettant de mesurer la température et le potentiel Hydrogène du substrat à l'aide d'un multimètre qu'on y plonge. Ce digesteur est muni aussi d'une conduite de biogaz sur laquelle connectent deux vannes utilisables pour faire sortir le biogaz issu du gazomètre vers le bruleur.

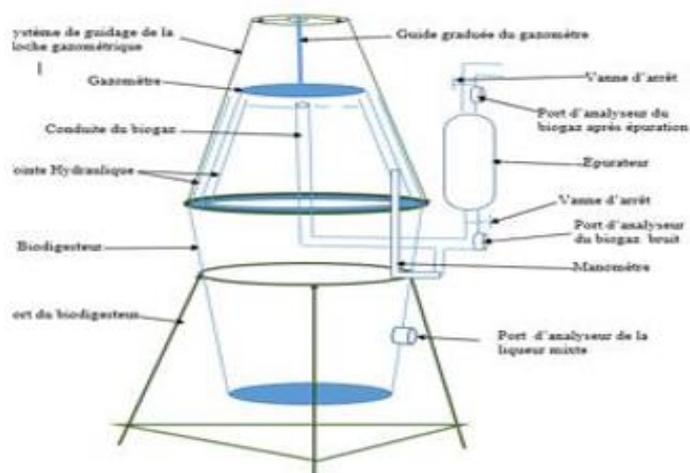


Photo 2 : Digesteur expérimental

## **2-5-Protocole d'essais**

Nous avons introduit dans le biodigester en même temps 4 285g du substrat frais finement broyé mélangé avec 857g d'inoculum préactivé pour cette fermentation. Ensuite nous avons ajouté 10 litres d'eau pour le remplir avant de fermer la cloche gazométrique et toutes les vannes d'arrêt. Et puis, nous avons rempli le joint hydraulique de l'eau pour assurer l'étanchéité du système. Le dispositif est déposé à l'air libre à température ambiante.

## **2-6-Suivi de la fermentation**

### **2-6-1-Mesure de pH et de la température**

Ces deux paramètres sont mesurés tous les jours à la même heure à l'aide d'un multimètre de type by HANNA muni d'une électrode en verre de précision 0,01. La première étape avant l'utilisation est l'étalonnage de l'appareil à l'aide de deux solutions tampons de pH=4 et pH=7. Après l'étalonnage, on immerge l'électrode dans la liqueur mixte et on lit directement les valeurs stables affichées

### **2-6-2-Production journalière du biogaz**

Elle est obtenue en multipliant la surface de la base du gazomètre par la hauteur prise par le mouvement vertical ascendant de la guide graduée

### **2-6-3-Composition du biogaz, pouvoir calorifique et équivalence énergétique**

Le biogaz est composé majoritairement du méthane et du gaz carbonique et quelques gaz traces ( $H_2S$ ,  $H_2$ ...). Tjalfe affirme que, pour

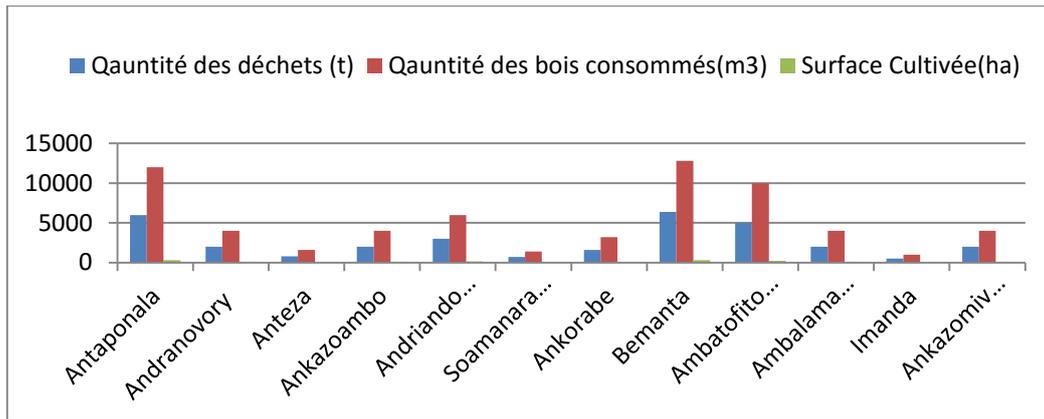
substrat solide ces gaz traces varient de 0-3% du biogaz (Tjalfe & Poulsen, 2003). L'absence de matériel sophistiqué nous a obligé à utiliser de matériel Orsat pour déterminer les composantes majoritaires du biogaz dans ce travail. Le principe de cette méthode est la capacité de la solution alcaline telle que KOH de 40% d'absorber le gaz carbonique à température ambiante pour donner de sel soluble  $K_2CO_3$  (Tjalfe & Poulsen, 2003).

L'injection de volume connu du biogaz à l'aide de seringue avec agitation nous permet savoir la teneur en gaz carbonique absorbée. Le restant non absorbé est considéré comme teneur en méthane plus 3% des autre gaz traces (Abdel-Hadi, 2008).

Le pouvoir calorifique du biogaz produit est obtenu en multipliant la teneur en méthane du biogaz par  $35,874 \text{ kJ/Nm}^3$  étant pouvoir calorifique du méthane pur.

L'équivalence énergétique du biogaz par rapport à d'autres sources énergétiques est obtenue en divisant le pouvoir calorifique d'un mètre cube de biogaz par celui d'une unité de source d'énergie à comparer (Ramampihrika, 1997)

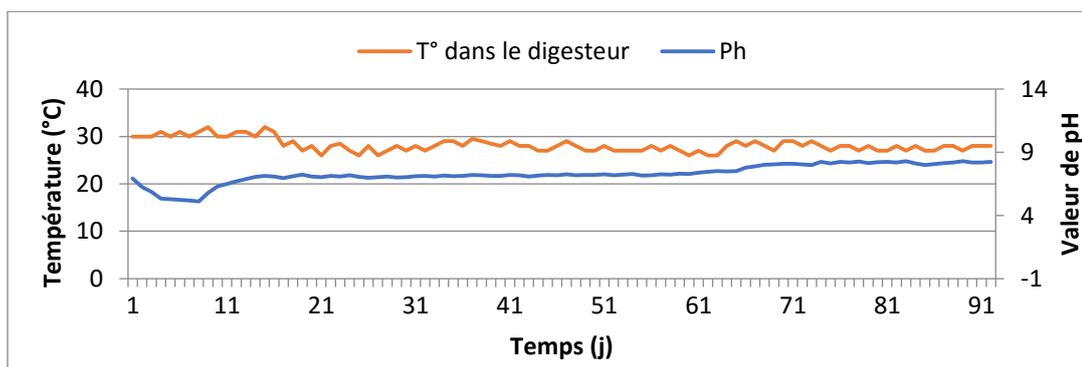
### **3-Résultats**



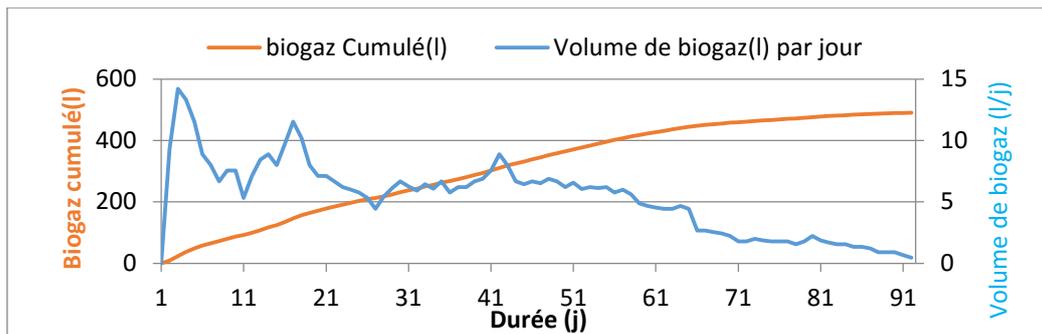
**Figure 1: Quantité des déchets Géranium disponibles et bois consommés par la distillation par an**

**Tableau 1: Caractéristiques du substrat avant et après digestion anaérobie**

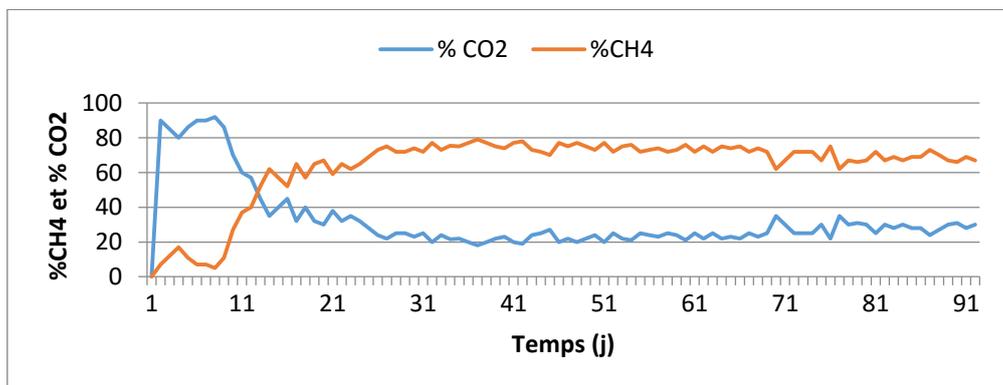
Constituants	Humidité	Matières sèches	Matières organiques	Matières minérales
Avant fermentation	65%	35%	90%	10%
Après fermentation	80%	20%	54%	46%



**Figure 2: Evolution de la température et du pH dans le digesteur**



**Figure 3: Evolution de la production du biogaz**



**Figure 4: Evolution des composantes majoritaires du biogaz**

**Tableau 2: Pouvoir calorifique inférieur de quelques combustibles (Maes, 1986)**

Combustibles	Pouvoir calorifique inferieur
Ethanol	21.4 10 <sup>6</sup> kJ/Nm <sup>3</sup>
Essence	33.3 10 <sup>6</sup> kJ/Nm <sup>3</sup>
Gasoil	34.5 10 <sup>6</sup> kJ/Nm <sup>3</sup>
Charbon de bois	18 804 kJ/kg
Méthane	35.874 kJ/Nm <sup>3</sup>

**Tableau 3: Equivalences énergétiques de la totalité des déchets disponibles**

Déchets disponibles	Autres sources d'énergie	Equivalences
32 000 t	Ethanol	4 125 mètres cube
	Charbon de bois	4 650 t
	Gasoil	2 437 mètres cube
	Bois de chauffe	101 373 mètres cube

## **4-Discussions**

### **4-1-Déchets de Géranium disponibles et bois consommés pour l'extraction**

D'après la **figure 1**, nous pouvons en déduire que l'exploitation de Géranium d'Ambositra génère 20 t de déchets/ha/an et consomme 64 mètres de bois/ha/an pour la distillation d'huile essentielle. Ces déchets sont disponibles dans le temps et dans l'espace, ne présentant pas d'utilisations concurrentielles. Comme la combustion d'un mètre cube de bois libère environ 920 kg de gaz carbonique (Ariane, Ruedi, & Veronice, 2010). Alors la distillation des huiles essentielles de Géranium d'Ambositra contribue à la restitution de 58 880 t de gaz carbonique par an dans l'atmosphère. Il est vrai que la combustion des bois présente un bilan de carbone nul mais dans ce cas la régénération de la plante ne suit pas le rythme d'exploitation. Comme conséquences les rôles des forêts de stocker de gaz carbonique et de rafraichissement de l'air s'interrompent. L'utilisation de bois comme combustible pour l'extraction prive l'atmosphère de cet effet rafraîchissant, créant ainsi un cercle vicieux qui accentue le changement climatique. Il est évident que si des mesures ne sont pas prises, des services écosystémiques rendus par les forêts, essentiels à la vie seront disparues.

### **4-2-Caractéristiques physico-chimiques des déchets de Géranium**

La teneur en matière sèche de ces déchets est supérieure à 15% ce qui les classe dans les substrats solides (S3d & Apesa, 2014). Ils présentent une teneur en eau plus importante. Donc ils sont très difficilement combustibles. On devra attendre tant de temps pour qu'ils puissent être incinérés sans

compter la pollution causée par les fumées et la perte de 90% de matière première.

Par rapport aux traitements des déchets, l'incinération et l'enfouissement entérique, la digestion anaérobie reste la technologie de traitement déchets moins agressive vis-à-vis de l'environnement.

À la fin de la fermentation, nous avons ouvert la cloche gazométrique, nous avons constaté l'inexistence de l'odeur. Cela veut montrer que les matières organiques responsables de cette nuisance olfactive sont transformées en biogaz. D'après le **tableau1**, on remarque que la teneur en matière organique du substrat passe du 90% au 54%. Il y a une perte de 36% qui sont transformées en biogaz. Par contre, il y a une augmentation celle de la matière minérale. Ceci s'explique à la minéralisation du substrat après fermentation. En effet, l'azote change de forme pendant le processus : présent sous forme d'azote organique dans les substrats frais, il se retrouve sous forme d'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  dans le digestat. L'ammonium est une forme d'azote, facilement assimilable par les plantes (Valbiom, 2013). Il y a une amélioration de la valeur fertilisante du digestat par rapport au substrat de départ.

La digestion anaérobie est un procédé permettant produire source d'énergie renouvelable et d'élaboration d'engrais organique en valorisant les déchets biodégradables.

### **4-3-Évolution de la température et du potentiel hydrogène**

Le pH est un indicateur très important dans la stabilité et le bon déroulement de la digestion anaérobie. Au cours de cette expérience, toutes les valeurs de pH mesurées sont comprises entre 5.12 et 8.3, avec une valeur moyenne de 7.32, étant incluse dans le seuil idéal à l'exigence des bactéries méthanogènes.

Les températures prises pendant 91 jours de la digestion anaérobie de ce substrat tournent autour de 26 et 32 °C, avec une valeur moyenne de 28,18 °C. Cela nous permet de dire que les populations des bactéries actives pendant la fermentation sont des bactéries mésophiles survivant entre 20 à 45 °C avec un temps de digestion supérieur à 20 jours (Ramampihirika, 1997).

### **4-4-Production de biogaz**

Nous arrêtons la fermentation à 91 jours où la production journalière en gaz est inférieure à 0.444 litre même si elle peut se poursuivre en petite quantité. Aucun blocage de production ni phase de latence n'a été observé. Dès le premier jour après la mise en digesteur, le gaz commence à se produire avec forte teneur en gaz carbonique.

On peut expliquer ce phénomène par l'activation préalable des bactéries de rumen de bovidés utilisés. Le volume total du biogaz obtenu est de 502 litres pour 4,285 kg de résidu de Géranium, soit 335 litres/kg de Matière sèche ou 117 litres/ kg de substrat brute. Il se répartit en fonction de temps : 51% sont formés en 31 jours avec 14,208 litres au maximum le 2<sup>ème</sup> jour, 30%

produits du 31 au 54<sup>ème</sup> jours, les 18% restant produits lentement après 55<sup>ème</sup> jours jusqu'à la fin de la fermentation.

Les résultats obtenus ne sont pas loin de ce que les autres littératures ont trouvé sur le potentiel et les compositions du biogaz. Les résidus agricoles produisent en moyenne 450 litres par kilogramme de biomasse sèche (Goma & Yamego, 1981). Ici celui du déchet de Géranium est 335 litres/kg de matière sèche, étant inférieure parce que la partie de matière organique est déjà extraite sous forme d'huile essentielle.

Mais il est en conformité à celui que Nkurunziza Théo a trouvé, 331 litres (64.5% CH<sub>4</sub>) par kilogramme de Géranium sèche pendant 112 jours de fermentation (Nkurunziza, Ntaganda, & Hitimana, 2008). En se basant sur les déchets disponibles, on peut produire par an 3 750 116 mètres de biogaz moyen à partir de ces 32 000 t de résidus de Géranium disponibles.

#### **4-5-Évolution de la composition du biogaz**

Durant les 91 jours de temps de rétention, la teneur en CO<sub>2</sub> varie entre 92% et 18% et celle de méthane varie entre 5% et 79% avec une valeur moyenne de 34,04% pour le CO<sub>2</sub> et 63,26% celle du méthane. C'est un biogaz moyen dont son pouvoir calorifique est de l'ordre de 2 269 kJ/Nm<sup>3</sup>. Pour cette fermentation, la flamme de biogaz commence être inflammable le 9<sup>ème</sup> jour après la mise en digestion mais elle ne persiste pas. Elle devient seulement stable à partir du 10<sup>ème</sup> jour où la teneur en CO<sub>2</sub> est égale à 40%.

D'après le **figure 6**, au début de la fermentation, il y a une forte augmentation de la teneur de CO<sub>2</sub> (1<sup>er</sup> à 7<sup>ème</sup> jour) et baisse de pH de l'ordre de 5,12 qui caractérise la phase hydrolyse et acidogénèse. Cette augmentation est due à l'accumulation de l'acide gras volatil.

Dès le 8<sup>ème</sup> jusqu'à la fin, il y a une diminution peu à peu de la teneur en CO<sub>2</sub> et une augmentation celle du méthane. Ce phénomène nous permet de dire le déclenchement de la phase acétogénèse et méthanogénèse.

#### **4-6-Equivalences énergétiques des déchets disponibles**

Sachant qu'un mètre cube de biogaz suffit pour le besoin d'un foyer à 8 personnes pour la cuisson de repas trois fois par jour s'ils utilisent ensemble un bruleur. Et environ 37 m<sup>3</sup> de biogaz peut remplacer 1 m<sup>3</sup> de bois de chauffe (Ramampihirika, 1997).

D'après le **tableau 3**, nous pouvons déduire qu'une production annuelle des 3 750 116 m<sup>3</sup> de biogaz est envisagée à partir de 32 000 t des résidus disponibles. Avec lesquels nous pouvons substituer les 64 000 m<sup>3</sup> de bois consommés par 2 368 000 m<sup>3</sup> du biogaz.

Les restes 1 382 116 m<sup>3</sup> du biogaz suffisent pour les besoins énergétiques annuels des 3 786 foyers des 8 personnes si on considère que l'utilisation de ce combustible que pour la cuisson de repas (Ramampihrika, 1997). L'investissement à la construction des digesteurs et ses équipements est envisageable à la place des sommes dépensées à l'achat de bois de chauffe. On peut donc cultiver le Géranium sans toucher la forêt si on valorise leur déchet par digestion anaérobie.

La biométhanisation produit deux types de produits conduisant à des émissions évitées de gaz à effet de serre (Ademe, 2016):

- du méthane, valorisé en chaleur ou électricité, 44 kg éq.CO<sub>2</sub>/t évités
- du compost, valorisé comme amendement en substitut des engrais de synthèse ; la production moyenne est de 650 kg par tonne de déchets entrant en méthanisation 33 kg éq.CO<sub>2</sub> /t. Les émissions évitées pour la biométhanisation est alors 77kg éq.CO<sub>2</sub> /t de déchets.
- En se basant sur 32 000 t des déchets de Géraniums disponibles annuels, on pourra envisager de produire 20 800 t de compost et 2 464 t éq.CO<sub>2</sub> d'émissions évitées par an.

La valorisation par biométhanisation de ces déchets permet de déployer une nouvelle économie circulaire, et non linéaire, fondé sur le principe de « refermer le cycle de vie » des produits, des services, des déchets. C'est-à dire, elle permet de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage en matière première.

## **Conclusion**

L'objectif général de ce travail est la recherche des alternatives durables vis-à-vis l'accumulation des déchets et déforestation galopante causée par le développement de la culture de Géranium. En effet, pour y parvenir, un essai en laboratoire de 4285 g mélangé avec 857 g d'inoculum pendant 91 jours donne 502 litres de biogaz moyen de pouvoir calorifique 2 269kJ/Nm<sup>3</sup>. L'extrapolation de ces résultats à la valorisation 32 000 t des déchets disponibles peut remplacer les 64 000 m<sup>3</sup> de bois consommés pour la distillation et les besoins énergétiques annuels en bois des 3 786 familles de 8 personnes. Une production de 20 800 t de compost est envisagée avec une émission évitée estimée à 2 464 t éq.CO<sub>2</sub>.

La valorisation des déchets Géranium d'Ambositra par biométhanisation dégagent quelques axes stratégiques.

- Freiner la déforestation ;
- Traitement et valorisation des matières organiques biodégradables ;
- Exploitation massives des énergies renouvelables et pauvres en carbone (méthane);
- Substitution d'engrais de synthèse par engrais organique produit localement ;

Ces axes constituent des perspectives intéressantes, ils répondent aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs, c'est le « concept de développement durable ».

## Remerciements

Nous exprimons nos remerciements et notre gratitude au Cellule Régionale des Energies Alternatives pour le Développement et Environnement (CREADE), au Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles (LCSN) et à Monsieur RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel directeur du CREADE pour leur soutien et leur constante disponibilité.

## Bibliographie

Abdel-Hadi, M. A. (2008, July). A simple apparatus for biogas quality determination. *Agricultural Engineering*, 25(3), pp 1055-1066.

Ademe. (2016, Mars). *Bilan Gaz à Effet de Serre*. Consulté le Novembre 2020, sur [https://.bilanges.ademe.fr/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?emissions\\_evitees.html](https://.bilanges.ademe.fr/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?emissions_evitees.html)

Apha. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 20th ed.*

Ariane, W., Ruedi, T., & Veronice, S. (2010, Juillet 7). L'utilisation du bois est plus efficace que les puits de carbone. *Pour une protection optimale du climat grace aux forêt*, pp. 27-30.

Consort manual. (2012). Handleiding, mode d'emploi, Anleitung. pp. 18-19.

- Goma, G., & Yamego, T. R. (1981). Production de méthane et d'éthanol par voie biologique à partir de la biomasse : potentialités et concepts technologiques. *Actes du deuxième colloque international de technologie, Lomé (Togo) du 14 au 20 janvier 1981*, (pp. pp121-121).
- Jouany, J. P. (1994). Les fermentations dans le rumen et leur optimisation. *INRA Productions Animales, Vol.7(n°3)*, pp 207-225.
- Kajangwe, V., Kamanzi, J. B., & Mukarusine, E. (2002). *Pelagonium graveolens* (Geranium rasant), essai de culture et de production d'huile essentielle. *Bulletin de l'institut de Recherche Scientifique et Technologique, IRST(2)*, pp. pp26-37.
- Lantomalala, F. (2013). *Caractérisation des exploitations agricoles familiales accompagnées par cap malagasy fert du point de vue production rizicole: cas de la Région Amoron'i Mania*. .
- Laura, A., Nicolas, D., Ludovic, V., André Pausse, Thierry Ribeiro, & Bassard, D. (2014). A simple and rapid one-time method to evaluate the non-acidic gas content from bioprocesses. (D. Weuster-Botz, Éd.) *Bioprocess and Biosystems Engineering, Vol.37(2)*, pp337-341.
- Maes, M. (1986). *Déchets industriels: mode d'emploi*.
- Nkurunziza, T., Ntaganda, J., & Hitimana, N. (2008). Laboratory scale biogas production from geranium distilled leaves. *3rd International Conference on Appropriate Technology*, (pp. 18-27). Kigali, Rwanda.

- Ramampihrika, K. D. (1997). *Biométhanisation appliquée à la valorisation agroénergétique et chimique des déchets : développement lié à la protection de l'environnement cotier et marin*. Toliara.
- Record. (2014). *Les filières de valorisation du CO<sub>2</sub>: Etat de l'art et avis d'expert. Cas des activités de traitement et valorisation des déchets*.
- S3d, & Apesa. (2014). *Guide pédagogique: La biologie des digesteurs à destination des exploitants d'unité de méthanisation*. (ADEME, Éd.)
- Sawyer C.N. and McCarty Perry, L. (1978). *Chemistry for environmental engineering*. (McGraw, Éd.) -Hill Publishing Company, 3<sup>rd</sup> edition .
- Tantelygasy. (2014). *agence de presse Océan Indien*. Consulté le Octobre 12, 2018, sur Il faut sauver la forêt d'Ankazomivady: <https://agencepresse-oi.com/il-faut-sauver-la-foret-dankazomivady>
- Tjalfe, G., & Poulsen. (2003). *Solid waste management. Chapter 5 Anaerobic digestion*, Aalborg University. Denmark. .
- Valbiom. (2013). *Estimation de la valeur fertilisante de digestats issu de la biométhanisation*. (UCL, Éd.)
- Ynagata, K., Kamagata, Y., Kawaharasak, M., Suziki, T., Nakamura, Y., & Minato, H. (2000). Phylogenetic analysis of methanogens in sheep rumen ecosystem and detection of Methanomicrobium mobile by Fluorescence in Situ Hybridization. *Biosc. Biotechnol. Biochem*, Vol.64, 1737-17412.

