

RAPPORT DE L'ETUDE D'OPTIMISATION DU POTENTIEL METHANOGENE DES EFFLUENTS ISSUS DE LA PATE DE MANIOC



Co-rédacteurs : Tra Bi BOUÉ – Consultant expert associé

Eléonore BLEOUE – Chargée de Mission Environnement / NITIDAE

Anthony GUHUR – Chargé de Projets Energie / NITIDAE

Décembre 2020

Un projet financé par

SOMMAIRE

Liste des tableaux	2
Liste des figures	2
1 Introduction	3
1.1 Contexte	3
1.2 Problématique.....	3
1.3 Défis	3
1.4 Objectifs.....	4
1.5 Méthodologie.....	4
2 Dispositif et essais expérimentaux.....	4
2.1 Biodigesteur expérimental.....	4
2.2 Neutralisation du pH des effluents et observation de la stabilité du pH de la solution neutralisée.....	5
2.3 Stabilisation des effluents neutralisés et démarrage après ensemencement avec la bouse de vache	6
2.4 Ajustement de la teneur en azote des effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé...	9
2.5 Conclusion des essais expérimentaux pour l'optimisation de biométhanisation des effluents de manioc	12
3 Application des résultats des essais sur deux sites de production.....	13
3.1 Démarrage des digesteurs sur les sites de production	13
3.2 Production des biodigesteurs après l'incorporation du Substrat d'Effluents de Manioc au Potentiel Méthanogène Optimisé	13
3.3 Conclusion de l'incorporation du Substrat d'Effluents de Manioc Optimisé dans les digesteurs démarrés avec la bouse de vache dans un contexte productif	15
3.4 Considérations financières de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc dans un contexte productif.....	16

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des mesures de pH effectuées sur l'échantillon de 400 ml.....	5
Tableau 2 : Résultats des mesures de pH effectuées sur l'échantillon de 4 000 ml.....	6
Tableau 3 : Relevés des tests de stabilisation du PH des effluents.....	8
Tableau 4 : Résultat des tests de production de biogaz après incorporation substrat d'effluents de manioc au potentiel méthanogène optimisé dans les bio-digesteurs démarrés avec la bouse de vache et l'eau.....	11
Tableau 5 : Présentation des bénéficiaires des deux biodigesteurs installés.....	13
Tableau 6 : Résultat des tests de production du bio-digesteur de 10m ³	14
Tableau 7 : Résultat des tests de production du bio-digesteur de 20m ³	14
Tableau 8 : Intrants nécessaires pour la production de biogaz optimisée avec les effluents de manioc	16
Tableau 9 : Evaluation des coûts d'exploitation directs, des économies financières potentielles et des bénéfices finaux issus de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc	17

Liste des figures

Figure 1 : Schéma et digesteur expérimental finalisé	4
Figure 2 : Biodigesteurs installés sur les sites de production.....	13
Figure 3 : Illustration de l'utilisation du biogaz produit au niveau des digesteurs	15

1 Introduction

1.1 Contexte

La transformation du manioc en pâte et la commercialisation des produits issus de cette pâte est une activité répandue en Côte d'Ivoire et elle constitue une source de revenus, principalement pour les femmes. Dans une grande partie du pays, des coopératives ont été constituées pour transformer le manioc en une pâte qui est ensuite, pressée et transformée par cuisson à la vapeur, en une semoule appelée « attiéké », qui est une pitance spécifique du pays et consommée sur toute l'étendue de territoire national.

Les effluents issus du pressage de la pâte de manioc sont à ce jour, dans la quasi-totalité des cas, déversés dans la nature sans aucun traitement et ils émettent au cours de la fermentation, des odeurs désagréables et des gaz nocifs pour la santé et pour l'environnement.

Pourtant ces effluents pourraient être valorisés pour produire de l'énergie.

La cuisson de l'attiéké à la vapeur requiert une quantité importante d'énergie de cuisson. Le coût du gaz butane étant élevé pour les économiquement faibles, le bois de chauffe est à ce jour, la principale source d'énergie utilisée pour cette activité.

Ainsi la production de l'attiéké en Côte d'Ivoire, contribue également, à la dégradation du couvert forestier.

Pour contribuer à la réduction des externalités négatives produites au cours des activités de production de l'attiéké, le projet Agrovalor mis en œuvre par Nitidæ, avec le cofinancement de l'AFD, le FIRCA, l'ADEME et RECYCLIVRES, a été lancé dans le cadre de son activité **A.2.1. Phase 1 : conception et installation de biodigesteurs et de foyers dans 5 groupements de transformation d'attiéké**, l'installation de biodigesteurs alimentés en effluents de manioc dans le but de produire du biogaz, au bénéfice de deux unités de production de l'attiéké.

Pour pouvoir produire le biogaz avec une bonne teneur en méthane, le substrat introduit dans le biodigester doit avoir une valeur du PH proche du neutre et un ratio carbone azote (C/N) équilibré.

1.2 Problématique

Les effluents issus de la pâte de manioc, définis bio-récalcitrant du fait de leur taux d'acidité élevé et de leur faible teneur en azote, ne peuvent pas produire le biogaz si le PH et le ratio C/N ne sont pas ajustés avant leur introduction dans le bio-digester.

1.3 Défis

Comment et avec quelle matière, parvenir à ajuster à moindre coût et de façon simple, le pH et ratio C/N des effluents issus de la pâte de manioc pressée afin d'élever son potentiel de production de biogaz ?

1.4 Objectifs

Cette étude a donc pour objectif de relever les défis ci-dessus à travers une série d'essais menées au laboratoire et sur deux sites de production afin de parvenir à moindre coût et de façon simple, à l'optimisation de la bio-digestion des effluents de la pâte de manioc pour une diffusion des bio-digesteurs auprès des coopératives de transformation du manioc.

1.5 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs de cette étude, des essais expérimentaux à échelle réduite ont été effectués à travers quatre (4) petits bio-digesteurs installés sur le site expérimental. Les résultats de ces essais ont été appliqués sur deux (2) sites de production disposant un bio-digesteur de 10m³ pour et un de 20 m³ pour le second.

2 Dispositif et essais expérimentaux

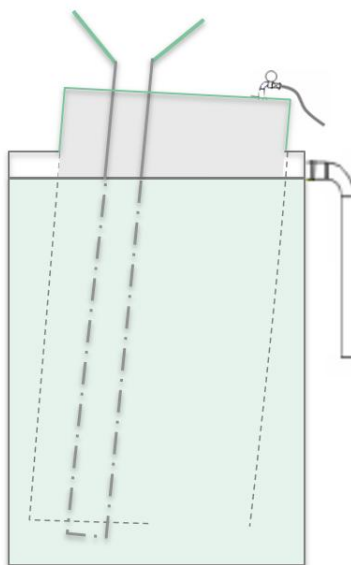
2.1 Biodigesteur expérimental

Chacun des quatre (4) bio-digesteurs expérimentaux construits avec du matériel local, est composé de deux fûts plastiques dont le premier fût de 150 litres défini comme la cloche, est emboîté dans un second de 220 litres, défini comme le socle.

Le fût du socle est entièrement ouvert sur le dessus et, à environ 10 cm en dessous du bord, le tuyau (PVC) d'évacuation des effluents (digestat) est fixé de manière à garantir l'étanchéité.

Quant au fût de la cloche, il a été partiellement coupé et ouvert sur la partie du haut (la fermeture) et la canalisation d'alimentation (en PVC) pourvue d'un entonnoir à son extrémité, est introduit dans deux trous opposés (le premier se trouvant sur le fond du fût et le second se trouvant sur la partie restante de la fermeture qui est restée en place). Sur le fond du fût de la cloche, le robinet de sortie du gaz est fixé à l'opposé de l'entrée de la canalisation d'alimentation. L'étanchéité du tuyau d'évacuation et le robinet installés sur le fond a été assurée. L'étanchéité est assurée entre les deux fûts emboîtés à travers une chambre à air d'une bicyclette.

Figure 3: Schéma et digesteur expérimental finalisé



2.2 Neutralisation du pH des effluents et observation de la stabilité du pH de la solution neutralisée

2.2.1 Matériels et méthode

2.2.1.1 Equipements

Les matériels utilisés pour les essais sont les suivants :

- Un verre doseur de capacité 500 ml ;
- Une balance de précision 1 g ;
- Un pH-mètre ;
- Une baguette pour agiter ;
- Un verre en plastique et un seau pour les mélanges.

2.2.1.2 Intrants

- Effluents de manioc avec un pH=4,30 ;
- Cendre de bois tamisée.

2.2.1.3 Méthodes expérimentales

Un volume donné d'effluents de manioc est prélevé et son pH est relevé.

Ensuite, la cendre de bois initialement tamisée est ajoutée progressivement et bien incorporée aux effluents de manioc. Après l'incorporation de chaque quantité de cendre avec les effluents, le pH de la solution est relevé jusqu'à obtenir la valeur visée du pH (autour de 7).

La stabilité du pH de la solution neutralisée est vérifiée 48 heures après la neutralisation. Toutes les données obtenues sont relevées pour analyse finale.

Deux tests ont été effectués en utilisant des proportions différentes d'effluents. Le premier avec 400 ml d'effluents et le second avec 4.000 ml d'effluents.

- Test 1 ($V_1 = 400$ ml) :

Après ajout de 25 g de cendre, $pH_{\text{solution}} = 7,10$.

Des mesures ont été effectuées chaque 12 heures afin de contrôler la stabilité du pH de la solution. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 1 ci-après :

Tableau 3 : Résultats des mesures de pH effectuées sur l'échantillon de 400 ml

Pas de temps	0h	12h	24h	36h	48h
pH mélange	7,1	6,89	6,66	6,06	5,86
Ratio effluent manioc : cendre	16 : 1				



- Test 2 ($V_2 = 4\ 000\ \text{ml}$) :

Après ajout de 225 g de cendre, $\text{pH}_{\text{solution}}=7,34$.

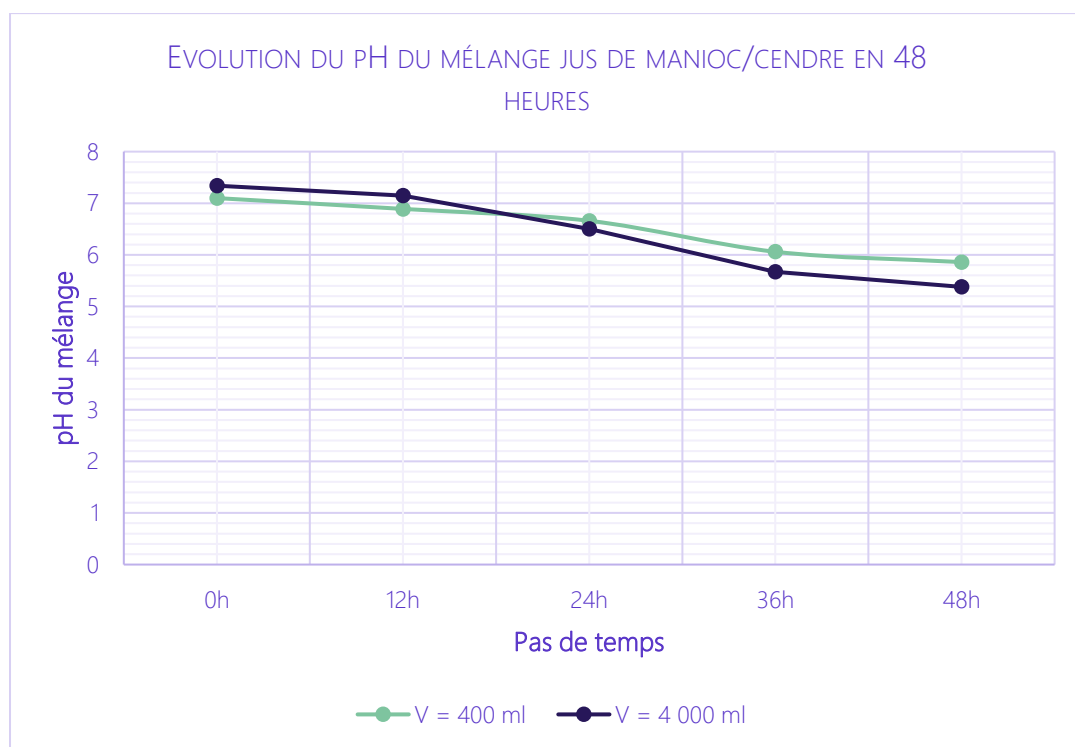
Les résultats des mesures effectuées pour vérifier la stabilité du mélange sont récapitulés dans le tableau 2 ci-après :

Tableau 4 : Résultats des mesures de pH effectuées sur l'échantillon de 4 000 ml

Pas de temps	0h	12h	24h	36h	48h
pH mélange	7,34	7,15	6,50	5,67	5,38
Ratio effluent manioc : cendre	17,8 : 1				



Graphique 1 : Synthèse des résultats



2.3 Stabilisation des effluents neutralisés et démarrage après ensemencement avec la bouse de vache

2.3.1 Matériels et méthode

2.3.1.1 Equipements

- Un peson SALTER de précision 1 kg ;
- Une balance Kitchen Scale de précision 1 g ;
- Un seau de 15 litres ;
- Un pH mètre VOLTCRAFT ;
- Un bâton pour le mélange ;

- Une bassine d'une capacité d'environ 200 litres pour le mélange ;
- Des gants pour le malaxage de la bouse ;
- Un thermomètre portatif de haute précision YC747UD.

2.3.1.2 *Intrants*

- Effluents de manioc ;
- Cendre de bois ;
- Carbonate de calcium ;
- Bouse de vache.

2.3.1.3 *Méthodes expérimentales*

3.2.1.3.1. **Stabilisation du pH des effluents neutralisés avec la cendre**

Un volume donné des effluents de manioc est prélevé et son pH est relevé.

Ensuite, la cendre de bois initialement tamisée est ajoutée progressivement et bien incorporée aux effluents de manioc. Après l'incorporation de chaque quantité de cendre avec les effluents, le pH de la solution est relevé jusqu'à obtenir le pH=8,50.

Afin de stabiliser le pH de la solution (effluents + cendre) à 8,90 (valeur attendue), une certaine quantité de carbonate de calcium (CaCO_3) est ajoutée à la solution (effluents + cendre), et l'ensemble est agité pour une dissolution totale du CaCO_3 dans la solution jusqu'à obtenir une certaine valeur du pH. Après 15 heures de repos, le pH obtenu avec l'ajout du CaCO_3 baissera jusqu'à se stabiliser à une valeur finale.

Trois tests suivants ont été effectués :

- ECC (Effluents-Cendre-Carbonate de calcium) ;
- ECCB (Effluents-Cendre-Carbonate de calcium-Bouse de vache) ;
- ECB (Effluents-Cendre-Bouse de vache).

Tableau 3 : Relevés des tests de stabilisation du PH des effluents

Référence des Tests	ECC	ECCB	ECB
Quantité effluents de manioc	120 litres	120 litres	120 litres
pH effluents de manioc	3,96	4,08	3,86
Quantité de cendre de bois ajoutée	27 kg	25 kg	29 kg
pH de la solution (effluents-cendre)	8,50	8,50	8,50
Quantité de carbonate de calcium (CaCO ₃) ajoutée à la solution	108 gr	125 gr	--
pH de la solution + CaCO ₃	8,68	8,49	--
Quantité de bouse de vache ajoutée	--	24 kg (20% par rapport à la quantité des effluents)	24 kg (20% par rapport à la quantité des effluents)
pH de la solution + bouse de vache	--	--	8,70
pH de la solution + CaCO ₃ + bouse de vache	--	9,04	--
pH stabilisé après 15 heures de repos de la solution finale	8,35	8,44	8,61

3.2.1.3.2. Démarrage des digesteurs expérimentaux et test de combustion

a) Démarrage avec les effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé

Les biodigesteurs expérimentaux utilisés sont alimentés chaque jour à la même heure. Après leur stabilisation, chaque substrat préparé (les différentes solutions finales) est introduit dans un digesteur expérimental pour démarrer le processus de bio-méthanisation des effluents de manioc avec le pH ajusté et stabilisé.

Constat après démarrage des digesteurs expérimentaux alimentés avec les effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé

Il a été constaté après une dizaine de jours, la monté de la cloche au-dessus de laquelle des pierres ont été déposées pour créer plus de pression pour permettre l'évacuation du gaz à l'ouverture du robinet.

Après 34 jours de permanence des différents substrats dans les digesteurs, le gaz produit contenait un très faible pourcentage de méthane puisqu'il pouvait à peine s'allumer en présence de la flamme des allumettes utilisées pour le test de combustion.

Il en ressort que les effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé produisent un gaz en petite quantité et dont la teneur en méthane est relativement faible.

b) Démarrage avec la bouse de vache et l'eau.

Tout comme les digesteurs sur les sites de production, un substrat composé de bouse de vache et eau est utilisé pour démarrer les digesteurs expérimentaux. Trois digesteurs expérimentaux sont alimentés avec différentes proportions de bouse et eau variables et un quatrième digesteur expérimental est alimenté avec les effluents de manioc et eau uniquement.

Cela donne ceci:

- BV22 : 36 kg de bouses de vache et 130 litres d'eau ;
- BV40: 60 kg de bouses de vache et 90 kg d'eau ;
- BV63 : 125,4 kg de bouse et 75 litres d'eau ;
- Test 4 : 90 kg d'eau et 90 kg d'effluent de manioc (+ 2 kg cendre + 0,5 kg soude).

Constat après démarrage des digesteurs expérimentaux alimentés avec la bouse de vache et l'eau

Dix jours après le démarrage, chaque digesteur expérimental rempli avec la bouse et l'eau produit du biogaz et le test de combustion effectué est positif.

Cinquante jours après le démarrage, la production du biogaz s'est stabilisée à environ 0,020 m³ par jour.

Quant au digesteur démarré avec les effluents et l'eau, il produit un gaz non combustible.

2.4 Ajustement de la teneur en azote des effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé

Avant d'introduire les effluents de manioc dans les digesteurs démarrés avec la bouse de vache et l'eau, il est nécessaire de neutraliser et stabiliser le pH desdits effluents comme présenté aux sections 2.2 et 2.3. Les effluents de manioc étant pauvres en azote, il est également nécessaire d'ajuster sa teneur en azote pour équilibrer le rapport C/N.

Plusieurs matières organiques fermentescibles avec une teneur en azote élevée sont identifiées. Parmi ces matières, hormis la bouse de vache utilisée lors du remplissage initial, le contenu de la panse de bovin est choisi pour sa disponibilité dans tous les abattoirs en quantité suffisante et à un coût quasiment nul (sans comptabiliser les frais de ramassage et de transport). En outre, par rapport aux autres matières identifiées, la panse de bovin qui a un potentiel élevé d'ensemencement du substrat du fait de sa richesse en micro-organismes méthanogènes, est déjà prête à l'usage.

2.4.1 Matériels et méthode

2.4.1.1 Intrants

- Les effluents de manioc ;
- La cendre de bois pour la neutralisation du pH des effluents ;
- CaCO₃ pour la stabilisation du pH de la solution ;
- La panse de bovin pour ajuster la teneur en azote de la solution et équilibrer le rapport C/N.

2.4.1.2 Méthodes expérimentales

2.4.1.2.1 Ajustement de la teneur en azote des effluents neutralisés et stabilisés

Un volume donné d'effluents de manioc est prélevé et son pH est neutralisé et stabilisé. Ensuite, une proportion donnée de paille de bovin est ajoutée aux effluents neutralisés et stabilisés pour relever sa teneur en azote.

Le procédé de production d'un substrat d'effluents de manioc au potentiel méthanogène optimisé est le suivant :

- a) Disposer à portée de main une bonne quantité de cendre de bois passée sur un tamis pour avoir un produit le plus propre et homogène possible ;
- b) Disposer à portée de main une bonne quantité de paille de bovin fraîche ;
- c) Mettre dans un grand récipient, la quantité d'effluents de manioc désirée et relever son pH ;
- d) Ajouter graduellement aux effluents, la cendre de bois précédemment pesée à chaque fois, en mélangeant soigneusement la solution et mesurant le pH au fur et à mesure de l'ajout de la cendre jusqu'à obtenir un pH de 6,0 à 6,5. Noter le poids de la cendre utilisée pour cette opération de neutralisation du pH ;
- e) Ajouter à la solution neutralisée, le CaCO_3 jusqu'à atteindre une valeur comprise maximale entre 7 et 8. Prendre note du poids du CaCO_3 ajouté ;
- f) Ajouter au mélange la paille de bovin selon les quantités prédéfinies et mélanger soigneusement pour obtenir un mélange homogène ;
- g) Laisser le substrat ainsi préparé au repos pour affiner la dissolution de la cendre et du CaCO_3 en l'agitant et vérifiant le pH de temps en temps. Entre temps, prédisposer le bio-digester expérimental de destination, démarré avec la bouse de vache et l'eau, pour l'incorporation du substrat d'effluents de manioc au potentiel méthanogène optimisé en fin de préparation ;
- h) Relever et noter le pH du substrat contenu dans le bio-digester avant ajout du nouveau substrat.

2.4.1.2.2 Incorporation du substrat d'effluents de manioc optimisé aux digesteurs en cours de production

La référence et les composantes du substrat des digesteurs expérimentaux en cours de production sont les suivantes :

- **BV22** : 36 kg de bouses de vache et 130 litres d'eau (composition du substrat au démarrage) ;
- **BV40** : 60 kg de bouses de vache et 90 kg d'eau (composition du substrat au démarrage) ;
- **BV63** : 125,4 kg de bouse et 75 litres d'eau (composition du substrat au démarrage) ;
- **TEST 4** (0% de bouse de vache) : 90 kg d'eau et 90 kg d'effluent de manioc (composition du substrat au démarrage).

Tableau 4 : Résultat des tests de production de biogaz après incorporation du substrat d'effluents de manioc au potentiel méthanogène optimisé dans les bio-digesteurs démarrés - la bouse de vache et l'eau

	BV22		BV40		BV63			TEST 4	
	(45% de panse)	(33% de panse)	(25% de panse)	(12,5% de panse)	(45% de panse)	(25% de panse)	(12,5% de panse)	(21% de panse)	(11% de panse)
Volume du SEBDG	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres	180 litres
PMB durant 40 jours avant l'incorporation de EPHNS	20 litres/jour	20 litres/jour	20 litres/jour	20 litres/jour	20 litres/jour	20 litres/jour	20 litres/jour	0 litres/jour	0 litre/jour
Composition SEMOp	EPHNS : 3 litres	EPHNS : 4 litres	EPHNS : 3 litres	EPHNS : 3 litres	EPHNS : 3 litres	EPHNS : 4,5 litres	EPHNS : 5,25 litres	EPHNS : 3,5 litres	EPHNS : 4,75 litres
	PB : 2,5 litres	PB : 2 litres	PB : 1,5 litres	PB : 0,75 litres	PB : 2,5 litres	PB : 1,5 litres	PB : 0,75 litres	PB : 1,25 litres	PB : 0,65 litres
	E : 0 litre	E : 0 litre	E : 1,5 litres	E : 2,25 litres	E : 0 litre	E : 0 litre	E : 0 litre	E : 1,25 litre	E : 0,65 litre
% apport PB par rapport EPHNS	83,3%	50%	50%	25%	83,3%	33,3%	14,3%	35%	14%
% apport E dans EPHNS + PB	0%	0%	33%	60%	0%	0%	0%	26%	12%
% apport SEMOp dans SEBDG :	3,3%	3,6%	4,0%	4,0%	2,7%	3,0%	3,0%	3,3%	3,3%
PMB après incorporation EPHNS	46,9 litres/jour	44,2 litres/jour	46,6 litres/jour	37,6 litres/jour	48,0 litres/jour	40,7 litres/jour	23,5 litres/jour	37,8 litres/jour	27,8 litres/jour
Période du début des relevés de la PMB après l'incorporation du SEMOp	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour	5ème jour
Durée des relevés de la PMB après l'incorporation du SEMOp	37 premiers jours	49 jours suivants	60 premiers jours	26 jours suivants	37 premiers jours	23 jours suivants	26 jours suivants	28 premiers jours	26 jours suivants
Variation de la PMB après l'incorporation du SEMOp	+26,9 litres/jour	+24,2 litres/jour	+26,6 litres/jour	+17,6 litres/jour	+28,0 litres/jour	+20,7 litres/jour	+03,5 litres/jour	+17,8 litres/jour	+07,8 litres/jour

Légende :

- SEBDG : Substrat Existant dans Bio-digesteur
- BDG : Bio-digesteur
- PMB : Production Moyenne de Biogaz
- EPHNS : Effluents au pH Neutralisé et Stabilisé
- SEMOp : Substrat d'Effluents de Manioc au Potentiel Méthanogène Optimisé
- PB : Panse de Bovin
- E : Eau du robinet

2.5 Conclusion des essais expérimentaux pour l'optimisation de biométhanisation des effluents de manioc

Les résultats de ces essais mettent en évidence les points suivants :

- L'acidité des effluents de manioc peut être neutralisée et stabilisée grâce au recours à des matières alcalines comme la cendre de bois et la soude, ce qui peut réduire l'impact de la pollution d'un tel déchet sur les sols et les eaux de surface ou souterraines ;
- Même une fois son pH stabilisé et neutralisé, le potentiel méthanogène des effluents de manioc dilués avec de l'eau, semble très faible puisque la production de biogaz généré par ce déchet était quasiment nulle. Ceci paraît être essentiellement dû à sa faible teneur en azote ;
- L'incorporation de matières fermentescibles à forte teneur en azote - comme la bouse ou la panse de vache - dans les effluents de manioc à pH neutralisé et stabilisé, génère une augmentation significative de la production du biogaz soit *a priori* jusqu'à presque quatre fois plus selon les matières et dosages utilisés ;
- La production de biogaz varie en fonction de la quantité de matière riche en azote ajoutée aux effluents neutralisés et stabilisés, notamment la panse de bovin dans la cadre de cette étude. Ainsi, comme démontré avec les tests BV22, BV40 et BV63, l'apport d'une proportion élevée de panse de vache augmente la production de biogaz et la réduction de sa proportion entraîne une baisse de cette production ;
- Le démarrage du digesteur avec la bouse de vache étant assez onéreux du fait de (i) la grande quantité requise et (ii) la difficulté de trouver localement la bouse fraîche dépourvue de terre ou de boue, le TEST 4 met en évidence la possibilité de démarrer le digesteur directement avec les effluents de manioc, sans aucun apport de bouse de vache mais en procédant (i) à la neutralisation et la stabilisation de son pH grâce à l'ajout de cendre et soude ainsi que (ii) au mélange des effluents avec une certaine quantité de panse de bovin et (iii) à sa dilution avec l'eau du robinet¹ ;

¹ La dilution des effluents de manioc avec l'eau n'est pas forcément nécessaire pour effectuer le remplissage initial et débiter la production de biogaz.

3 Application des résultats des essais sur deux sites de production

Dans le cadre du projet AGROVALOR, deux coopératives de production d'attiéké ont été choisies pour bénéficier de l'installation de biodigester. Il s'agit de la COFEMVIB et de l'unité artisanale de la famille N'GUESSAN.

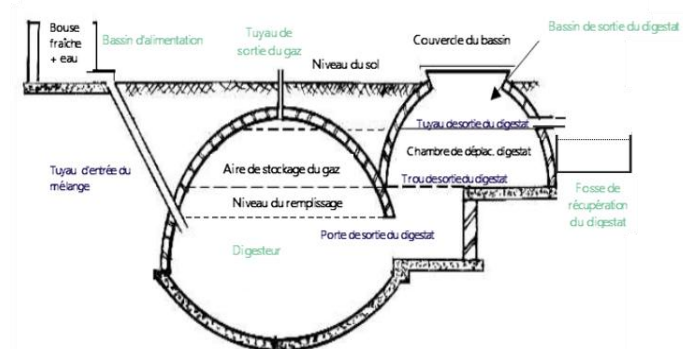
Pour optimiser la production de biogaz des installations destinées à ces deux transformateurs de manioc, il a été décidé d'appliquer les résultats des essais expérimentaux dans un contexte productif.

Tableau 5 : Présentation des bénéficiaires des deux biodigesteurs installés

Bénéficiaire	Localisation	Quantité d'effluents de manioc générée	Volume du bio-digester destiné au bénéficiaire
COFEMVIB	Bromakoté (Bouaké)	250 litres /jour	20m ³
N'Guessan	Tchêlèkro (Bouaké)	118 litres/jour	10 m ³

Les biodigesteurs installés dans le cadre du projet sont de type indien *Deenbandhu* construits avec des briques. Ils ont un dôme fixe. Leur durée de vie est estimée entre 20 et 25 ans à condition que la construction soit exécutée avec succès et les règles pour l'entretien soient respectées.

Figure 4 : Modèles de Biodigesteurs installés sur les sites de production



3.1 Démarrage des digesteurs sur les sites de production

Le remplissage initial des biodigesteurs (BDG) installés sur les deux sites s'est opéré comme suit :

- Substrat utilisé pour charger le BDG de 10m³ pour le démarrage de la biométhanisation : 4.140 kg de bouse de vache et 1.860 litres d'eau ;
- Substrat utilisé pour charger le BDG de 20m³ pour le démarrage de la biométhanisation : 7.776 kg de bouse de vache et 4.320 litres d'eau.

3.2 Production des biodigesteurs après l'incorporation du Substrat d'Effluents de Manioc au Potentiel Méthanogène Optimisé

Les résultats obtenus en termes de production de biogaz selon les différents dosages réalisés sur chacun des sites sont résumés dans les deux tableaux suivants :

Tableau 6 : Résultat des tests de production du biodigesteur de 10m³

BIO-DIGESTEUR DE 10m ³						
Composition substrat de démarrage (Substrat Existant dans Bio-digesteur - SEBDG) : Bouse de vache : 4.140 Kg + Eau : 1.860 Litres				PMB avant l'incorporation de EPHNS : 2,8 m ³ /jour		
Durée des relevés de la PMB après l'incorporation du SEMOp	Composition du SEMOp			% apport PB par rapport EPHNS	% apport SEMOp dans SEBDG	PMB après incorporation EPHNS
	Quantité EPHNS/jour	Quantité E/jour	Quantité PB/jour			
28 premiers jours	120 L	40 L	40 L	33,0%	3,3%	3,5 m ³
27 jours suivants	120 L	40 L	20 L	16,7%	3,0%	3,2 m ³
24 jours suivants	120 L	20 L	10 L	08,3%	2,5%	1,7 m ³
21 jours suivants	120 L	20 L	10 L	08,3%	2,5%	1,9 m ³
<p><u>Légende :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - SEBDG : Substrat Existant dans Bio-digesteur - BDG : Bio-digesteur - PMB : Production Moyenne de Biogaz - EPHNS : Effluents au pH Neutralisé et Stabilisé - SEMOp : Substrat d'Effluents de Manioc au Potentiel Méthanogène Optimisé - PB : Panse de Bovin - E : Eau 						

Tableau 7 : Résultat des tests de production du bio-digesteur de 20m³

BIO-DIGESTEUR DE 20m ³						
Composition substrat de démarrage (Substrat Existant dans Bio-digesteur - SEBDG) : Bouse de vache : 7.776 Kg + Eau : 4.320 Litres				PMB avant l'incorporation de EPHNS : 3,0 m ³ /jour		
Durée des relevés de la PMB après l'incorporation du SEMOp	Composition du SEMOp			% apport PB par rapport EPHNS	% apport SEMOp dans SEBDG	PMB après incorporation EPHNS
	Quantité EPHNS/jour	Quantité E/jour	Quantité PB/jour			
14 jours	142 L	0 L	126 L	89%	2,2%	3,3 m ³
26 jours	227 L	0 L	97 L	43%	2,7%	3,0 m ³
21 jours	250 L	0 L	50 L	20%	2,5%	2,7 m ³
16 jours	250 L	0 L	50 L	20%	2,5%	3,5 m ³
14 jours	250 L	0 L	25 L	10%	2,3%	2,3 m ³
15 jours	250 L	0 L	0 L	0%	2,1%	1,0 m ³
<p><u>Légende :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - SEBDG : Substrat Existant dans Bio-digesteur - BDG : Bio-digesteur - EPHNS : Effluents au pH Neutralisé et Stabilisé - SEMOp : Substrat d'Effluents de Manioc au Potentiel Méthanogène Optimisé - PB : Panse de Bovin - PMB : Production Moyenne de Biogaz - E : Eau 						

Figure 3 : Illustration de l'utilisation du biogaz produit au niveau des digesteurs



3.3 Conclusion de l'incorporation du Substrat d'Effluents de Manioc Optimisé dans les digesteurs démarrés avec la bouse de vache dans un contexte productif

Les résultats obtenus lors des tests expérimentaux ont été confirmés dans un contexte productif en grandeur nature.

Les effluents de manioc peuvent être valorisés en biogaz à condition de neutraliser et stabiliser son pH et d'ajouter des matières riches en azote, tels que la bouse ou la panse de vache, tant pour le remplissage initial que pour les remplissages quotidiens.

La production de biogaz augmente avec la proportion de panse bovine contenue dans le substrat d'effluents de manioc au potentiel méthanogène optimisé. Une proportion élevée de panse dans ce dernier optimise effectivement la production du biodigesteur démarré avec la bouse de vache.

Il a ainsi été démontré par cette étude, la possibilité d'optimiser le potentiel méthanogène des effluents issus du pressage de la pâte de manioc. La clé de cette transformation est la neutralisation et la stabilisation du pH desdits effluents, avec la cendre de bois et la soude suivies de l'ajustement du ratio carbone-azote (C/N) de la solution ainsi obtenue, notamment avec la panse de vache.

De plus, l'ajout de panse en faible quantité dans les effluents de manioc à pH neutralisé et stabilisé, soit environ 07% du mélange total pour le BDG-10 m³ et 09% pour le BDG-20 m³, semble l'une des solutions optimales pour maintenir une production de biogaz minimale relativement acceptable.

Par ailleurs, pour le cas particulier du BDG-20 m³, certaines appréhensions des utilisatrices du biogaz au début des tests de production (peur du biogaz, suspicion sur sa capacité à cuire de l'attiéké...) ont contribué à biaiser les résultats car le biogaz produit n'était pas totalement utilisé. C'est ce qui explique certaines incohérences comme les 30% de biogaz produit en plus avec le même dosage en panse (la production de biogaz étant passée de 2,7 à 3,5 m³/j avec un mélange composé de 17% de panse et 83% d'effluent de manioc). La sensibilisation et la formation des bénéficiaires s'avèrent alors nécessaires pour optimiser en partie la production de biogaz.

Enfin, la capacité de production de biogaz des deux biodigesteurs installés pourrait être améliorée si les bénéficiaires arrivaient à les remplir correctement selon les normes définies par les installateurs, soit 200 L/j pour le BDG-10 m³ et de 400 L/j pour le BDG-20 m³.

3.4 Considérations financières de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc dans un contexte productif.

La mise en œuvre de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc, à travers l'utilisation de la cendre de bois, la soude et la panse de bovin, engendre des coûts d'exploitation.

Sur la base des résultats de production de gaz obtenus avec un dosage global en panse de l'ordre de 07% et 09%² respectivement pour les BDG-10 m³ et 20 m³, les quantités d'intrants extérieurs indiqués ci-dessous sont nécessaires³.

Tableau 8 : Intrants nécessaires pour la production de biogaz optimisée avec les effluents de manioc

	Soude			Panse		
	Gamme de pH visée	Quantité journalière (g)	Quantité mensuelle (kg)	Quantité journalière (l)	Quantité mensuelle ² (l)	Equivalent en nombre de sac vide « 50kg »
BDG-10 m3 (site 1)	6-8	300	9,0	10	300	06,7
BDG-20 m3 (site 2)		610	14,6 ⁴	25	600	13,3

Pour chacun des sites, le bilan des coûts d'exploitation directs, induits par la mise en pratique de cette solution technique (achat de la soude et dosage en panse à raison de 07% et 09%), est présenté dans le tableau ci-après.

A noter qu'ils ont été calculés sur la base de la position géographique et des conditions réelles au sein de chaque groupement et sont donc susceptibles de changer pour une autre configuration.

Ainsi, les dépenses mensuelles liées à l'utilisation de ces deux intrants ont été évaluées approximativement à hauteur de 15.500 FCFA et 35.000 FCFA respectivement pour les sites 1 & 2.

Quant aux économies financières potentielles générées par l'installation et l'utilisation de ces deux biodigesteurs, celles-ci ont été évaluées à partir de la réduction des dépenses liées à :

- (i) l'achat de combustibles de cuisson : le charbon de bois pour la préparation des repas quotidiens du groupement féminin du site 1⁵ (à raison de 10.000 FCFA/mois) et le bois de chauffe pour la cuisson de l'attiéké pour le site 2 (environ 14.500 FCFA/mois),
- (ii) et, uniquement pour le deuxième site, la vidange de la fosse de récupération des effluents de manioc (ceci probablement en raison des enjeux liés à l'assainissement du fait du voisinage), soit une épargne évaluée à 8.000 FCFA/mois pour ce site.

² Ces dosages sont respectivement de 08% et 10% lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage d'apport de panse de bovin par rapport aux effluents de manioc au pH neutralisé et stabilisé.

³ La cendre n'est pas considérée ici puisqu'elle est gratuite et disponible localement.

⁴ Car 24 jours d'activités par mois.

⁵ Plus la famille habitant sur le site.

Tableau 9 : Évaluation des coûts d'exploitation directs, des économies financières potentielles et des bénéfices finaux issus de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc

	Coûts d'exploitation directs					Total dépenses par mois (F CFA)	Economies financières potentielles					Bénéfices finaux mensuels tirés des biodigesteurs
	Achat de la soude (NaOH) ⁶		Collecte de la panse				Achat en de charbon de bois		Achat de bois de chauffe		Vidange de la fosse de récupération des effluents de manioc	
	Coût/kg (F CFA)	Coût mensuel (F CFA)	Coût ramassage /sac (F CFA)	Transport /sac (F CFA)	Coût mensuel (F CFA)		Coût /sac (F CFA)	Coût mensuel (F CFA)	Coût / jour (F CFA)	Coût mensuel (F CFA)	Coût mensuel (F CFA)	
BDG-10 m ³ (site 1)	1 000	9 000	300	667	6 444	15 444	5 000	10 000 ⁷	0	0	0	-5 444
BDG-20 m ³ (site 2)		14 640		467	20 444	35 084	0	0	600 ⁸	14 400 ⁹	8 000 ¹⁰	-12 684

Au vu de l'analyse de ce bilan économique, il y a lieu de constater que le fonctionnement de ces deux biodigesteurs selon la configuration retenue engendre *in fine* une perte allant aux environs de 5.500 FCFA pour les bénéficiaires du BDG-10 m³ à 12.700 FCFA pour ceux du 20 m³.

A noter que ces pertes pourraient probablement être revues à la baisse en considérant (i) les frais de transport (carburant de la moto : environ 1.000 FCFA) pour l'achat mensuel des deux sacs de charbon de bois pour le site 1 (ceci n'étant pas inclus dans l'évaluation des coûts d'exploitation directs) et (ii) le fait que la vidange de la fosse de récupération des effluents de manioc peut s'opérer plus d'une fois par mois pour le site 2 (la fréquence habituelle de cette opération étant d'au moins une fois par mois, suppose qu'elle peut se faire jusqu'à deux par mois selon le niveau de production des effluents).

⁶ Aucun frais de transport pour acheter ce produit (09,0 à 14,6 kg par mois selon les sites) puisque cette opération se fait en même temps que le collecte de la panse.

⁷ Car 2 sacs de charbon de bois (grand modèle) achetés en moyenne par mois.

⁸ Ceci correspond au prix d'achat du bois de chauffe. Il n'y a aucun frais de transport puisque le bois est vendu à proximité du site (environ 100m).

⁹ Car 24 jours d'activités par mois.

¹⁰ Avant l'installation du biodigesteur de ce site, le groupement assurait au moins une fois par mois l'évacuation des effluents de manioc pour éviter son débordement sur le site. C'est cette opération qui coûtait 8.000 F CFA/mois.

Aussi, il y a lieu de souligner que les économies financières potentielles liées à la baisse des dépenses en combustibles de cuisson peuvent être fortement réduites voire quasiment nulles selon le niveau de production de l'attiéké pour les deux sites. En effet, une baisse significative de l'activité de production engendre une réduction de la quantité des effluents de manioc disponibles pour la méthanisation, diminuant ainsi la capacité de production de biogaz utilisé comme combustion de substitution au charbon de bois ou bois de chauffe.

Toutefois, il est à rappeler que l'installation de ces biodigesteurs tel que constaté répond absolument non seulement à un souci d'assainissement, d'amélioration du cadre de travail et de la santé des groupements féminins mais également à la gestion définitive des conflits avec le voisinage immédiat gêné par les nuisances olfactives créées par le rejet anarchique des ces effluents de manioc ; ceci peut être une source de motivation pour bon nombre de groupements de production d'attiéké à vouloir en posséder.

La valorisation des effluents de manioc par voie de méthanisation permet effectivement de réduire la pollution olfactive (sans oublier la pollution organique du sol et des nappes d'eau souterraines) causée par le rejet d'un tel déchet.

Conclusion de la considération financière

L'évaluation des coûts d'exploitation directs de l'optimisation du potentiel méthanogène des effluents de manioc met ainsi en évidence le caractère légèrement non rentable du point de vue financier de cette activité.

De plus, la prise en compte des coûts indirects liés à l'amortissement de l'installation, notamment le renouvellement des équipements dégradables à moyen terme tels que la tuyauterie, les vannes et le brûleur à gaz, accentuerait l'insuffisance de la rentabilité économique de l'opération.

Cependant, la valorisation des effluents de manioc en deux sous-produits, à savoir le biogaz comme de cuisson ainsi que le digestat comme engrais naturel, pourrait probablement s'avérer moins déficient économiquement voire rentable en tenant compte des deux aspects suivants :

- La commercialisation par les bénéficiaires du digestat solide et/ou liquide, comme engrais naturel/biologique, auprès des maraîchers locaux (un démarchage de la clientèle serait tout de même nécessaire) ;
- L'application d'une amende financière par les autorités locales (service d'hygiène, mairie...), pour cause environnementale et hygiénique, pour tout manquement de traitement ou d'évacuation des effluents de manioc générés par l'activité des groupements féminins provoquant un problème d'assainissement au niveau local (ceci étant valable uniquement pour le premier site puisque le groupement féminin de ce dernier ne procède pas à la vidange de la fosse de récupération de ce déchet) ;

Aussi, d'autres avantages externes de cette valorisation énergétique, au niveau environnemental et social mais pouvant avoir une incidence économique favorable, mériteraient d'être mis en exergue :

- La réduction locale de la pollution et de la dégradation environnementale, que ce soit sur le plan de l'assainissement (nuisance olfactive, pollution du sol et des eaux de surface et souterraines, etc.), de la déforestation (le charbon de bois et le bois de chauffe utilisées comme

combustible de cuisson contribuant généralement à dégradation des forêts) et des émissions de gaz à effet de serre (la combustion de ces deux types de combustibles engendrant des émissions de carbone ; la valorisation de effluents de manioc en biogaz permettant de réduire les émissions de méthane qui est un puissant gaz à effet de serre).

NB : Via la mise en œuvre d'un programme de finance carbone sur une échelle donnée, des crédits « carbone » pourraient être accordés aux bénéficiaires, ce qui pourrait permettre de rentabiliser davantage le fonctionnement et l'entretien d'une telle installation.

- L'amélioration de la santé des bénéficiaires (notamment la forte réduction des risques de contracter une maladie respiratoire causée par l'exposition aux fumées nocives de la combustion du charbon ou du bois) pouvant potentiellement diminuer les dépenses effectuées par les groupements féminins dans ce domaine ;
- L'amélioration sur plan social des conditions de travail des groupements féminins (meilleur cadre de vie, arrêt du conflit de voisinage dû au problème d'assainissement, etc.).

Par ailleurs, l'installation rentable d'un biodigesteur sur un site doit tenir compte du type d'usage du biogaz produit envisagé par les bénéficiaires ainsi que la localisation, les moyens d'approvisionnement et le stockage des intrants mais également l'organisation du groupement ou l'unité bénéficiaire. Ne pas tenir compte de ces paramètres constituerait un ensemble de facteurs favorisant l'abandon de l'ouvrage à court ou moyen terme.