Valorisation des effluents de karité et étude des sous-produits karité

AKAKPO KOUASSIALE ARLETTE
NITIDAE

Sommaire

Introduction 1
I. Cadre de l'étude 3
1. Présentation des groupements bénéficiaires 3
1.1 Groupement Tchérégnimin de Petit Paris 3
1.2 Groupement Chigata de Natio 3
2. Processus de transformation du beurre de Karité 5
3. Présentation du prototype de biodigesteur 5
4. Généralités sur les biodigesteurs selon les sites d'installation 6
4.1 Modes de valorisation des Eaux de barattages 6
4.2 Composantes du système 7
II. ETAT DE REFERENCE 9
1. Généralité sur l'utilisation des biodigesteurs par les coopératives 9
2. Gestion des effluents 11
2.1 Eau issue du lavage des amandes 11
2.2 Eaux usées issues du barattage et lavage de l'émulsion 12
3. État initial des équipements 12
3.1 Installations de la coopérative Tchérégnimin sur le site de Petit Paris 12
3.2 Installations de la coopérative Chigata sur le site de Natio 13
III. SUIVI DU FONCTIONNEMENT DES BIODIGESTEURS. 14
1. Détermination de la quantité d'effluents produits 14
1.1 Évaluation des pertes 14
1.2 Evaluation de la quantité d'effluent pour 140kg d'amandes 15
1.3 Détermination de la quantité d'effluent rejetée sur une année 15
1.4 Détermination de la quantité de tourteau liquide produit 17
2 Caractérisation des effluents 18
2.1 Paramètres physico-chimiques de la méthanisation 18
2.2 Résultats de la caractérisation du substrat d'entrée 21
3 Suivi de l'utilisation des biodigesteurs 23
3.1 Alimentation des biodigesteurs et mesure de la production de gaz 23
3.2 Essai d'amélioration de la production de gaz 25
3.2 Résultats 27

IV. TESTS D'OPTIMISATION 37
1. Dispositif expérimental 37
2. Démarrage du test 38
3. Principe, alimentation et prise d'informations 38
4. Caractérisation du substrat 39
5. Protocole d'alimentation 41
4. Déroulement des tests 41
5. Résultats obtenus 44
V. VALORISATION DU DIGESTAT 45
1. Caractérisation du digestat 45
2. Sites expérimentaux 46
3. Déroulement du test 47
3.1 Préparation du sol avant semis 47
3.2 Récupération du digestat et préparation des mélanges 48
3.3 Semis 49
4. Suivi et évaluation (voir Annexe) 53
5. Différents problèmes observés au cours du test 53
5.1 Concombre 53
5.2 Laitue 59
6 Bilan des résultats obtenus 59
VI. EFFETS ET IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ SUR LES UNITES. 61
1. Impacts socio-économiques 61
2 Impacts environnementaux 62
2.1 Amélioration des conditions sanitaires 62
2.2 Impacts sur la qualité de l'air 62
VII. PROPOSITION D'AMELIORATION 63
1. Diffusion de l'équipement 63
1.1 Proposition d'amélioration dans la conception du biodigesteur 63
1.2 Recherches approfondies 63
2. Dans la gestion des biodigesteurs par les bénéficiaires 64
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 65
Bibliographie 67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evaluation des pertes en eau lors du Barattage et lavage de l'écume....15
Tableau 2: Evaluation de la quantité d'effluents pour la production de 140Kg d'amandes....15
Tableau 3: Détermination de la production annuelle de beurre (2020)....16
Tableau 4: Production théorique annuelle d'eaux usées....16
Tableau 5: Pourcentage volumique de décantation....17
Tableau 6: Caractérisation du tourteau de karité....21
Tableau 7: Caractéristiques des substrats selon différents auteurs....22
Tableau 8: Informations générales de la phase de suivi....23
Tableau 9: Résultats de la première phase de test.....24
Tableau 10: Alimentation des biodigesteurs....26
Tableau 11: paramètres d'observation des biodigesteurs....26
Tableau 12: Informations générales de la deuxième phase....27
Tableau 13: Bilan des tests....28
Tableau 14: observations faites lors des tests....31
Tableau 15: Problèmes observés et leurs probables causes....36
Tableau 16: Paramètres de caractérisation des substrats d'entrée....40
Tableau 17: Résultats des tests d'optimisation....44
Tableau 18: Paramètres de caractérisation du digestat....45
Tableau 19: valeurs fertilisantes de digestat de la littérature....45
Tableau 20: Subdivision des planches sur le site de maraichage....46
Tableau 21:Subdivision des planches sur le site de Natio....47
Tableau 22: Subdivision des planches sur le site de Chigata....47
Tableau 23: Bilan des résultats e la valorisation Agronomique du digestat....60
Tableau 24:: Quantité de polluants selon le type de combustible utilisé....62

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution de la production de beurre de karité de la coopérative Tchérégnimin.... 3
Figure 2: Evolution de la production de beurre de karité de la coopérative Chigata.... 4
Figure 3: Vue en plan et coupe A-A du biodigesteur (PNB-BF, 2009).... 6
Figure 4: Différents mode de valorisation des eaux issus de barattage.... 6
Figure 5: Composantes du système de méthanisation....7
Figure 6: Schémas simplifiés des installations réalisés sur les sites de Natio et Petit Paris.... 8
Figure 7: Fosses d'infiltration sur le site de Petit Paris (photo prise sur le terrain)....10
Figure 8: Eaux usées déversées aux abords du site de Natio....11
Figure 9: Production de gaz par rapport à l'alimentation....29
Figure 10: Variation de la consommation en gaz en fonction des jours de la semaine de test....30
Figure 11: Variation du temps de combustion du gaz selon les jours de la semaine de test....30
Figure 12: Croûte épaisse recouvrant le digestat à l'intérieur de la fosse de transition du digestat.(photo de terrain BDG2 Natio)....32
Figure 13: Fosse de transition après retrait de la couche épaisse (BDG 2 Natio)....32

Figure 14: Formation de la couche épaisse au lendemain du retrait (BDG2 de Natio) 33
Figure 15: Vidange de la fosse de récupération et observation de la sortie de mousse lourde qui durcit une fois en surface. 33
Figure 16: Fosse de transition vidée du BDG1 de Natio 33
Figure 17:Introduction d'une tige dans le digesteur à partir de la fosse de récupération du digestat (BD1 Natio) 33
Figure 18: Introduction de tige à l'intérieur du digesteur en passant par la fosse de transition du digestat. (BDG2 Natio) 34
Figure 19: Sortie de bulles après l'introduction de la tige (Biodigesteur 2 de Natio) 34
Figure 20: Apparition de grosses bulles en surface de la fosse de transition émanent du fond (BDG 2 Petit paris) 34
Figure 21: Fosse pleine avec apparition de bulles (BDG1 Petit paris) 34
Figure 22: Niveau d'eau bas dans la fosse de transition du digestat (BDG1 Petit Paris) 34
Figure 23: Introduction d'une tige dans le 35
Figure 24: Sortie de liquide sous forme d'éruption au niveau du tuyau de sortie du gaz (BDG 2 Petit paris) 35
Figure 25: Schéma du pilote expérimental mis en place par l'équipe Agrovalor (source : rapport test biogaz) 38
Figure 26: Test d'inflammabilité BDE 4 42
Figure 27: Préparation des planches sur le site de maraichage 48
Figure 28: préparation du terrain site de Chigata 48
Figure 29: récupération du digestat dans la fosse de récupération du BDG 2 de Natio 49
Figure 30: Préparation des dosages 49
Figure 31: confection des lignes de semis 50
Figure 32: Semence 50
Figure 33: Paillage 50
Figure 34: Retrait de la paille au bout de 7 Jours 50
Figure 35: Construction de l'ombrière 51
Figure 36: ombrière achevée 51
Figure 37: création des poquets (site de maraichage) 52
Figure 38: Ajout de la semence (site de maraichage) 52
Figure 39: Arrosage des poquets (planche de 20% et 50%) site de maraichage 53
Figure 40: Planche arrosée avec 50% de digestat jour 7 après semis (site de maraichage) 54
Figure 41:Planche arrosée avec 10% de digestat jour 7 après semis site de maraichage) 54
Figure 42: Planche arrosée avec 20% de digestat jour 7 après semis (site de maraichage) 55
Figure 43: planche arrosée avec un dosage de 50% de digestat(site de Natio 55
Figure 44: Planche arrosée avec 20% de digestat jour 7 après semis (site de Natio) 55
Figure 45: Graines germés en dessous de terre 55
Figure 46: Graines non germées 56
Figure 47: surface des planches asséchées (planche 20% de digestat et 50%) site de maraichage 56
Figure 48:Plantes jauni et asséchée aux jours 8 et 10 après semis (50% de digestat site de Natio). 57
Figure 49: assèchement de plante 28 semaines après semis (planche témoin) 58
Figure 50: pourrissement des feuilles et fruits (planche 20% de digestat et 50%) site de maraichage 58

Figure 51: repiquage de la laitue (site de maraichage) 59
Figure 52: jour 2 Après repiquage de la laitue 59
Figure 53: jour 2 après repiquage de la laitue (site de Natio) 59

Introduction

La filière karité a connu un coup d'accélérateur au cours de ces 20 dernières années, aussi bien au niveau des amandes que du beurre. L'Afrique de l'ouest qui est l'un des plus gros producteurs et exportateurs de beurre de Karité compte dans les premiers rangs des plus gros producteurs de karité la Cote d'ivoire.

En Côte d'ivoire, la production du beurre de karité reste concentrée dans les régions du Nord car on y rencontre assez d'arbres de karité. La préparation et l'usage du beurre de karité semblent représentés pour la population du nord une forte valeur identitaire qui se transmet à travers les générations. La production du beure karité est l'une des activités principales des femmes et repose essentiellement sur la méthode artisanale. Cette transformation artisanale du karité nécessite une grande quantité d'eau et génère de ce fait une quantité importante d'effluents liquides. Ces effluents sont très souvent séparés en deux phases (liquide et boueuse) dans des fosses creusées sur les sites de production. La partie liquide déversée directement sur le site et la partie boueuse transformée en boulettes de tourteaux solides. Cette gestion mal organisée se voit à la longue créer un problème d'assainissement des sites de production. Afin de résorber ce problème d'assainissement et dans le même temps répondre à un besoin énergétique, deux biodigesteurs ont été installés chez des groupements de transformation du karité (groupement Chigata et le groupement Tcheregnimin) dans la mise en œuvre du projet Agrovalor.

Le projet Agrovalor a été mis en œuvre depuis 2017 par l'association Nitidæ en partenariat avec l'ONG Chigata et cofinancé par l'Agence Française de Développement (AFD), le Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole (FIRCA), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et la société RecycLivre. Il vise à promouvoir la valorisation énergétique des déchets agro-industriels en Côte d'Ivoire et à diffuser des équipements de valorisation énergétique adaptés au contexte local (en particulier dans les villes de Bouaké et Korhogo) en assurant un transfert de compétences pour la réplication de ces technologies dans le pays à moyen-long terme. Le projet se base sur deux lignes directrices, synthétisées dans les deux objectifs stratégiques :

• OS1 : Concevoir et commercialiser des technologies adaptées pour la valorisation énergétique des coques d'anacardes et de déchets issus de la transformation du manioc et du karité.

• OS2 : Renforcer les compétences locales par la formation de jeunes techniciens, la structuration d'opérateurs équipementiers et l'appropriation des résultats par une institution publique. Dans le cadre de ses activités, le projet a prévu un dispositif de suivi, optimisation des rendements et évaluation des biodigesteurs installés. Ces activités seront indispensables à l'amélioration et à la création d'une base de connaissances solides, ainsi qu'à son adaptation aux exigences des futures demandes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage qui aura pour objectif le suivi, l'optimisation et l'évaluation des installations.

I. Cadre de l'étude

1. Présentation des groupements bénéficiaires

1.1 Groupement Tchérégnimin de Petit Paris

Situé au quartier Petit paris 2 dans la ville de Korhogo, le groupement Tchérégnimin existe depuis 2002. Cette coopérative composée de 56 femmes entre dans le cadre du projet d'appui à la production de beurre de karité de PNUD et de la FAO. Elle s'est dotée au fil des années d'équipements modernes (foyers améliorés, moulin, broyeur, torréfacteur électrique et magasins de stockage) augmentant ainsi la productivité tout en améliorant les conditions de travail. Malgré ces différents équipements dont est dotée la coopérative, le mode de transformation des amandes de karité reste artisanal. Grace au projet Agrovalor, elle dispose depuis 2019 de deux biodigesteurs de 20 m^3 servant à la production de gaz à partir des effluents issus de la transformation des amandes de karité. De 2013 à 2019, on constate une évolution rapide de la production du beurre de karité de cette coopérative. L'on est passé d'une production de 8,64 tonnes en 2013 à 26,70 tonnes en 2019 (Revue espace géographique et société Marocaine n°50,2021).

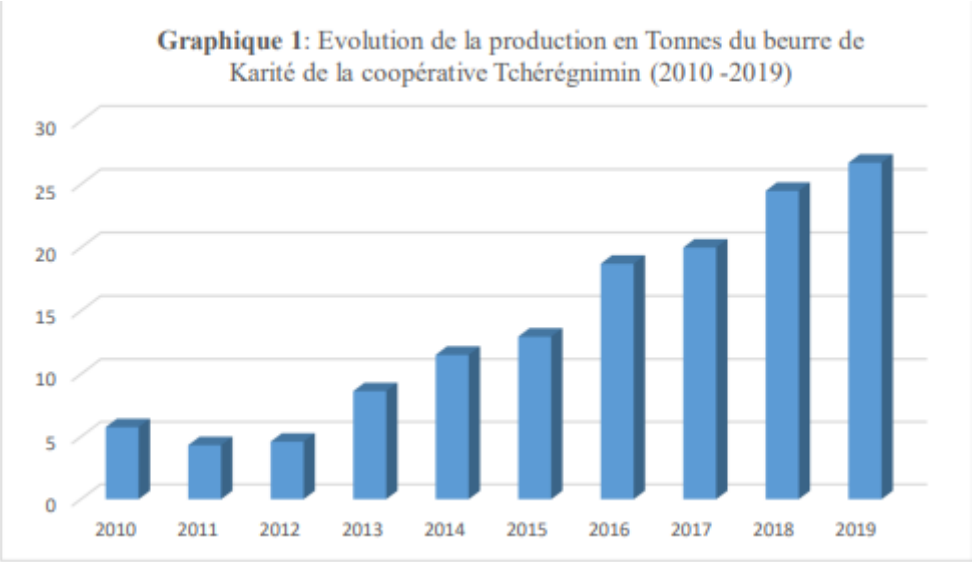


Figure 1: Evolution de la production de beurre de karité de la coopérative Tchérégnimin.

Source : Revue espace géographique et société Marocaine n °50, 2021

1.2 Groupement Chigata de Natio

La coopérative Chigata a été créée 2005 avec pour but d'augmenter et optimiser la production du beurre de karité par les femmes de Natio-kobadara. Composée de 124 membres, elle a débuté ses activités sur un site de production commun depuis 2018 avec l'aide du projet d'appui à la production

de beurre de karité du PNUD et de la FAO. A cause de son nombre élevé de membres et son nombre réduit d'équipements, seulement 12 femmes travaillent à ce jour sur le site de production. A l'instar de la coopérative Tchérégnimin, Chigata a une production artisanale améliorée grâce à plusieurs équipements moderne et bénéficie également de deux biodigesteurs de karité grâce au projet Agrovalor depuis 2018.

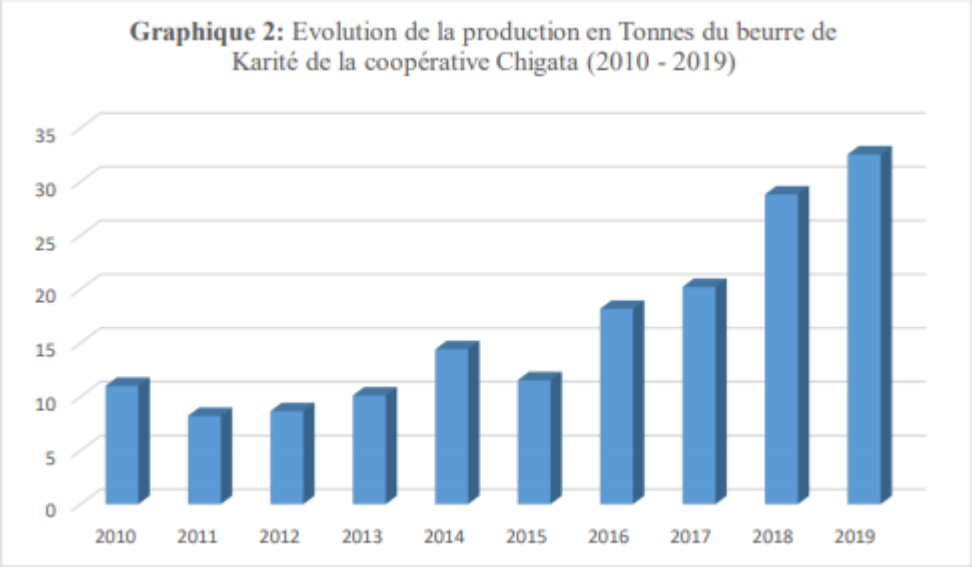


Figure 2: Evolution de la production de beurre de karité de la coopérative Chigata

Source : Revue espace géographique et société Marocaine n °50, 2021

Les données recueillies montrent une évolution en dents de scie de la production du beurre de karité de la coopérative Chigata de 2010 à 2016, puis une évolution constante à partir de 2016 comme l'illustre le graphique. A partir de 2015 jusqu'à 2019, il y a une évolution très rapide de la production de beurre de karité passant de 11,52 tonnes à 32,53 tonnes soit le triple de 2010. (Revue espace géographique et société Marocaine n°50, 2021).

2. Processus de transformation du beurre de Karité

Lavage des amandes

- Les amandes sont lavées à l'eau potable
- Déchets : eaux usées composées de moisisure et de poussiere

Tri et séchage des amandes

- Les amandes de mauvaise qualité sont triées et le reste séché sur des baches --
- Déchets: Amandes de mauvaise qualité

Concassage

Les amandes sechées sont passés dans un concasseur pour les réduire en des morceaux fins

Torréfaction

- Les amandes concassés sont traitées à la chaleur dans des torréfacteurs
- Déchets : cendres de combustion

Mouture

- Broyage des amandes torréfiées au moulin

Barratage

- la pate est malaxée de façon rythmé

Lavage de l'écume

- L'émulsion obténue lors du barratage est lavée avec une grande quantité d'eau
- cette étape produit une grande quantité d'effluent liquide.

Déchets: Eau +tourteaux

Cuisson

- l'émulsion lavée est ensuite cuite durant plusieurs heures pour obtenir de l'huile
- Déchets: Résidu noiratre + cendres de combustion

Décantation et refroidissement

- l'huile est laissée décantée pour en extraire les impuretés puis laissée refroidie.

3. Présentation du prototype de biodigesteur

Les biodigesteurs installés sur les sites de Natio et Petit Paris ont été tirés de l'expérience de la SNV dans la promotion des biodigesteurs en Asie et en Afrique, notamment du prototype GGC 2047 qui est un biodigesteur à dôme fixe utilisé dans les Projets du Programme National de Biodigesteur au Burkina Faso (PNB-BF). Ils ont une capacité de 20 m^3 chacun avec une durée de vie évaluée à vingt (20) ans (PNB-BF,2009).

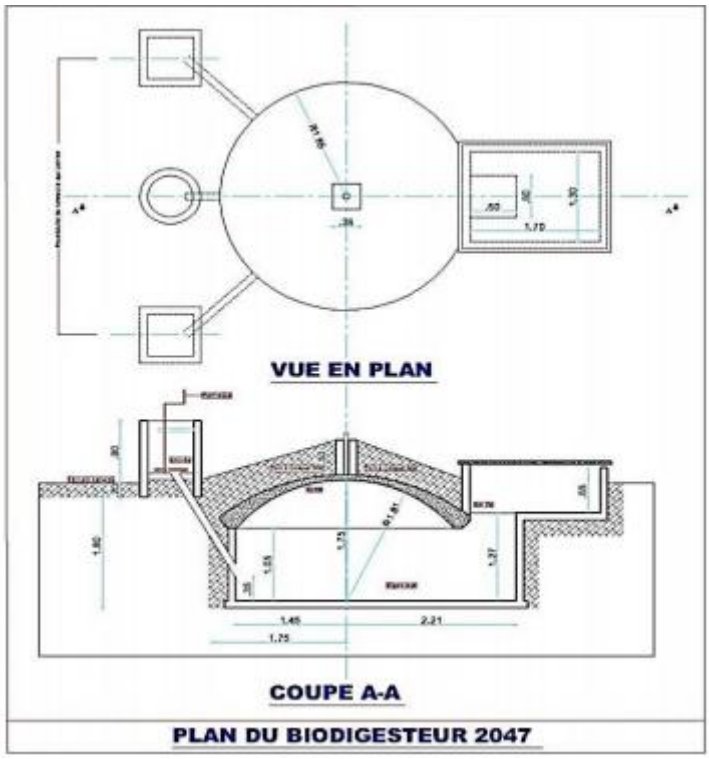


Figure 3: Vue en plan et coupe A-A du biodigesteur (PNB-BF, 2009)

4. Généralités sur les biodigesteurs selon les sites d'installation

4.1 Modes de valorisation des Eaux de barattages

Les déchets liquides produits lors du Barattage sont la principale source d'alimentation des biodigesteurs. Après le lavage de l'écume ces eaux sont soumises à une décantation pour obtenir 3 phases comme décrite dans la figure 4.

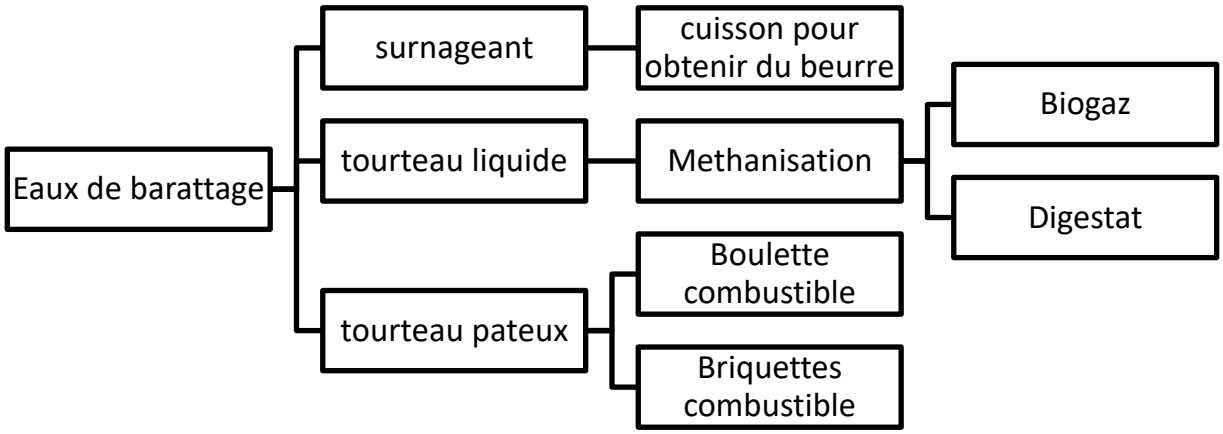


Figure 4: Différents mode de valorisation des eaux issus de barattage

4.2 Composantes du système

Les composantes du système décanteur-biodigesteurs sont donné dans la Figure 5 ci-dessous.

Les bacs de décantation : ils facilitent la séparation des phases des eaux usées issues du barattage ainsi que la récupération du surnageant et du tourteau pâteux grâce aux ouvertures situées à l'arrière des bacs.

Le bac d'alimentation du digesteur : il sert à récupérer l'effluent ainsi que tout autre intrant. Il dispose d'un mélangeur pour homogénéiser les intrants et d'un dispositif permettant la fermeture du tuyau d'alimentation. Il est relié aux bacs de décantation par des vannes.

Le digesteur à dôme fixe : il permet la transformation des intrants (ici l'effluent issu de barattage associé à d'autres matières comme la bouse ou la panse de vache) en gaz et en digestat. Il est enterré et fait 20 m³.

La fosse de transition du digestat : Elle est reliée au dôme par une « porte » et permet l'évacuation du digestat vers la fosse de récupération prévue à cet effet.

La fosse de récupération du digestat : Elle permet de récupérer le digestat provenant du digesteur.

Le tuyau de sortie du gaz : situé tout juste au-dessus du dôme, il permet le transport du gaz vers le brûleur. Il dispose d'une vanne qui permet de fermer la sortie du gaz si nécessaire

Le piège à eau : il se présente sous forme d'un regard avec à l'intérieur une vanne fixée sur le tuyau de transport du gaz pour permettre l'évacuation de l'eau contenue dans le biogaz (par effet de gravité).

Le brûleur à gaz : il est précédé d'un compteur pour quantifier la quantité de gaz utilisé et d'un manomètre pour mesurer la pression du gaz à l'intérieur du dôme. Il dispose d'un robinet dont le réglage permet de contrôler la hauteur de la flamme de gaz.

Figure 5: Composantes du système de méthanisation

Le schéma ci-dessous représente l'installation mise en place sur les deux sites :

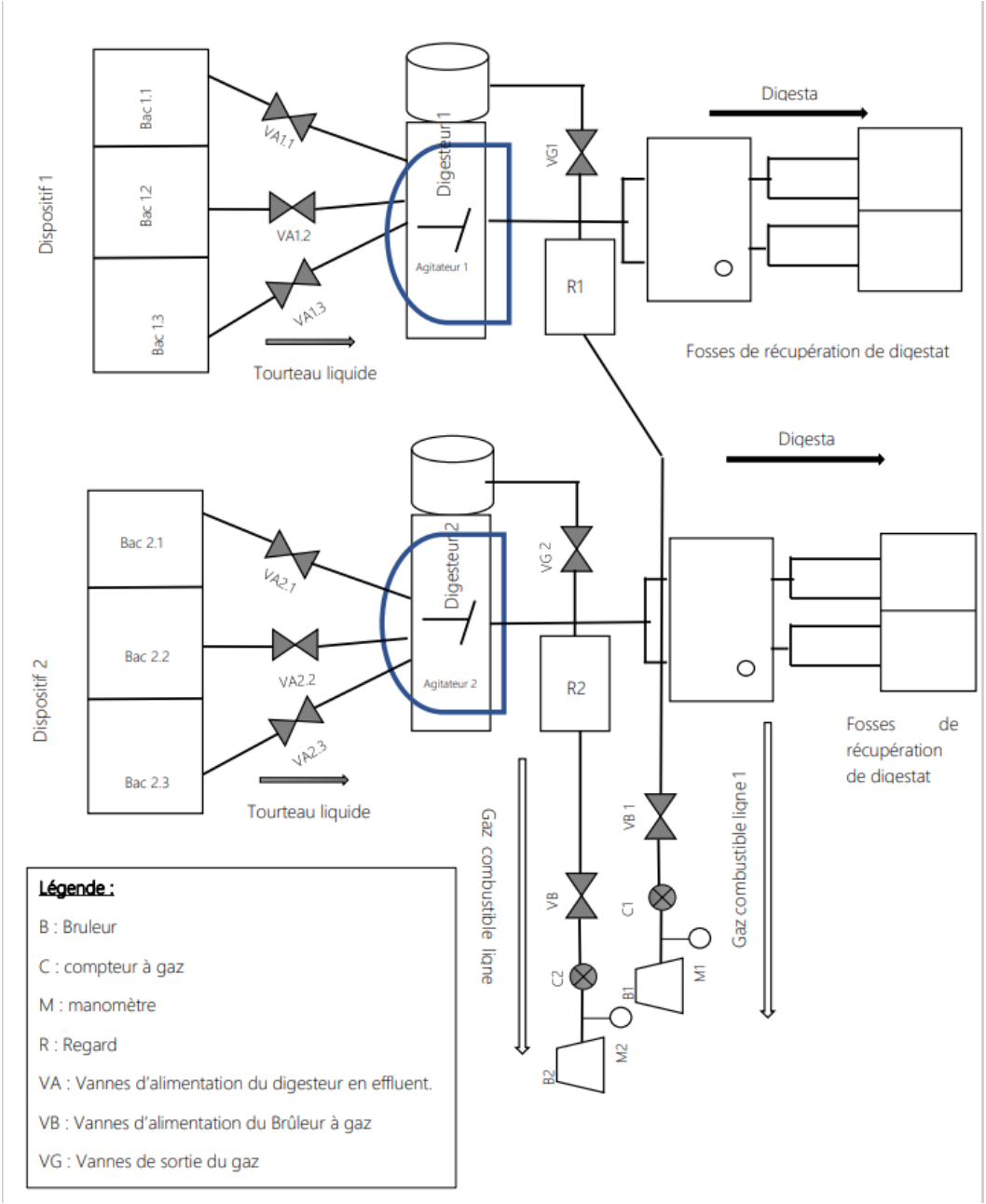


Figure 6: Schémas simplifiés des installations réalisés sur les sites de Natio et Petit Paris

Le biodigesteur est alimenté avec du tourteau liquide. À la suite de la décantation des effluents obtenus lors du lavage de l'émulsion issu du barattage, le tourteau liquide transite à l'ouverture des vannes (VA) vers un bac de récupération du tourteau liquide. Ce bac permet d'alimenter le biodigesteur directement et dispose d'un mélangeur qui sert à homogénéiser le substrat en cas d'ajout.

Le digestat après le temps de séjour, transite dans une fosse de transition puis est déversé dans les fosses de récupérations prêt à être valorisé. Parallèlement le gaz produit est évacué vers le bruleur par la vanne de sortie du gaz (VG) en passant par un piège à eaux (Regard R) qui a pour but d'évacuer l'eau contenue dans le gaz.

II. ETAT DE REFERENCE

Un diagnostic préliminaire a été réalisé avant tout pour mieux cerner l'état des équipements mais également l'avis des bénéficiaires sur les équipements. Il en ressort les points qui suivent :

1. Généralité sur l'utilisation des biodigesteurs par les coopératives

Une enquête auprès des bénéficiaires des deux (2) sites de production a fait ressortir que la mise en place du biodigesteur a été faite suite à une volonté exprimée par les productrices de karité de bénéficier d'un moyen qui leur permettrait de mieux gérer les eaux usées issues de la production du beurre de karité. Cela intervient après plusieurs plaintes du voisinage, gêné par la mauvaise gestion de ces eaux.

Informées de l'utilité d'un biodigesteur et de son mode d'utilisation, les bénéficiaires ont pu observer le bien-fondé de sa mise en place et les avantages qu'il procure à savoir : la disponibilité du gaz, l'assainissement du cadre de travail ainsi que la facilité d'extraction des tourteaux solides pour en faire des boulettes combustibles (après décantation et vidange de la partie liquide). Les productrices de beurre rencontrent néanmoins quelques difficultés dans l'utilisation du biodigesteur dont la principale reste la gestion du digestat qui n'est pas exploité, bien qu'il pourrait être bénéfique comme engrais.

L'utilisation du biogaz produit est d'une grande aide pour les femmes car cela leur permet de cuire leur repas directement sur le site de production (cas de la coopérative Tchérégnimin) ou juste chauffer de l'eau (cas Chigata).

Pour une meilleure organisation, les bénéficiaires optent pour une utilisation des bacs de décantation réservée uniquement pour six (6) femmes qui disposent chacune d'un bac. Les autres femmes utilisent des fosses d'infiltration.

Figure 7: Fosses d'infiltration sur le site de Petit Paris (photo prise sur le terrain)

Ci-dessous, un tableau résume les similarités et les différences dans l'utilisation des biodigesteurs par les deux coopératives.

	Chigata	Tchérégnimin
Nombre de productrices sur site	12	56
Année d'installation	2018	2020
Nombre de bacs de décantation reliés aux biodigesteurs	6	6
Présence de fosses d'infiltration	Oui	Oui
Nombre de biodigesteurs installés	2	2
Capacité d'un biodigesteur	$20m^3$	
Remplissage initial	7000 kg de panse de bovin	
Type de biodigesteurs installés	Biodigesteur à dôme fixe	
Vidange des fosses de récupération du digestat	Aucune vidange depuis son installation	Une fois chaque deux mois

Utilisation du gaz à notre arrivée	Non	Non
Utilisation du gaz pour :	Pour chauffer de l'eau par crainte de ne pas voir les repas cuir*.	Cuire les repas
Organisation pour l'utilisation des bacs de décantations	Uniquement 6 femmes ont droit chacune à 1 bac	
Présence de gaz observée	Un biodigesteur sur deux produits du gaz	Un biodigesteur sur deux produits du gaz

* On note un désintéressement total de la coopérative Chigata quant à l'utilisation du gaz. Le gaz a été utilisé uniquement dans les premiers mois puis délaissé. La raison évoquée par les utilisatrices est la quantité insuffisante du gaz.

2. Gestion des effluents

2.1 Eau issue du lavage des amandes

Le lavage d'amandes de karité se fait chaque jour avec une quantité de 300 l d'eau en moyenne pour 7 sacs d'amandes. Chaque jour, une quantité de 20 sacs de 140 kg est lavée. Ce qui fait une production d'effluents de 860 L par jour.

Les effluents ainsi produits sont à ce jour déversés aux abords des habitations ou dans les fosses de récupération du digestat.

Figure 8: Eaux usées déversées aux abords du site de Natio

2.2 Eaux usées issues du barattage et lavage de l'émulsion

Le lavage de l'émulsion demande une quantité importante d'eau. Cette eau est recueillie après le lavage et est laissée décantée pendant une semaine. A l'issue de cette période, l'effluent se décompose en trois parties distinctes que sont :

- le surnageant ;
- le tourteau liquide et
- le tourteau pâteux.

Surnageant : Il est constitué éssentiellement de matière grasse. Il est passé au feu pour être cuit et produire du beurre.

Tourteau liquide: Il est totalement liquide et constituera le substrat d'alimentation des biodigesteurs

Tourteau pâteux: Il represente une pate qui sera transformée en boulette séchée combustible

3. État initial des équipements

En vue de mieux comprendre les raisons techniques qui peuvent entraver l'utilisation normale des biodigesteurs, un constat a été réalisé sur les différents sites. De ce constat est ressorti de nombreux dysfonctionnements et absence de plusieurs composants.

3.1 Installations de la coopérative Tchérégnimin sur le site de Petit Paris

Les observations réalisées sur le terrain illustrés si dessous nous montrent les différents problèmes rencontrés sur les installations de Petit Paris.

Absence de l'un des deux manomètres installés (M2)

Robinet du milieu ne tournant pas (bruleur 1)
il reste continuellement en position ouverte

Robinet du milieu faisant un tour de 360° et ne bloquant pas (bruleur 2)

Orifices bouchés

Vanne VG1 défaillante (Mise en évidence de la Fuite de gaz à l'aide de l'eau savonnée)

Fuite mise en évidence sur la conduite à l'aide de l'eau savonnée (juste avant le compteur C2)

3.2 Installations de la coopérative Chigata sur le site de Natio

Les observations réalisées sur le terrain illustrés si dessous nous montrent les différents problèmes rencontrés sur les installations de Petit Paris.

Fosse 1 de transition du digestat pleine

Fosse 2 de transition du digestat pleine

Tête de la vanne d'alimentation VB1 absente

Bruleurs à gaz B1 et B2 mal entretenus et exposés à la pluie

Manivelle de l'agitateur 2 absente

Tête de vanne (VG1) de sortie du gaz 1 absente

Tête de vanne (VG2) de sortie du gaz 2 absente

Fosses pleines et comportant des déchets solides

Dans le cadre du stage, tous ces dysfonctionnements observés ont été réparés et les équipements remis en état dans le but de réaliser les tests et aussi permettre aux utilisatrices de reprendre l'utilisation de ces équipements.

III. SUIVI DU FONCTIONNEMENT DES BIODIGESTEURS.

1. Détermination de la quantité d'effluents produits

1.1 Évaluation des pertes

Deux tests distincts ont été réalisés sur les sites (un test sur chaque site) afin d'évaluer le taux de perte en eau entre le début et la fin du lavage de l'écume.

Les pertes sont évaluées en mesurant la quantité d'eau initiale et la quantité d'eau résultante à la fin du lavage de l'écume. Les données recueillies sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Evaluation des pertes en eau lors du Barattage et lavage de l'écume

Test	Nombre de Sac d'amandes de 140kg	Quantité d'eau potable utilisée (L)	Effluent produits (L)	Pertes (L)
Natio	6	2000	1910	90
Petit Paris	6	2000	1900	100
Total	12	4000	3810	190
Moyenne par sac d'amande 140kg		333,3333333	317,5	15,83
Pourcentage (%)		100%	95%	5%

1.2 Evaluation de la quantité d'effluent pour 140kg d'amandes

Afin de déterminer la quantité d'effluents produits sur les différents sites, il a été noté la quantité d'eau potable utilisée pour le barattage et le lavage de l'écume en tenant compte des pertes évaluées à 5 %.

Tableau 2: Evaluation de la quantité d'effluents pour la production de 140Kg d'amandes

	Conso en eau potable pour 140kg d'amande*	Pertes	Rejet en eau usée
Tchérégnimin	235,02	5%	223,27
Chigata	396,97	5%	377,12

*La consommation en eau potable pour 140 kg d'amande est la moyenne des consommations obtenue le long de la période de suivi soit 2 mois.

1.3 Détermination de la quantité d'effluent rejetée sur une année

Les valeurs utilisées pour ces différents calculs sont les valeurs issues de la Revue espace géographique et société Marocaine n °50, 2021 (voir Annexe) Calcul du Taux de variation moyen de la production de beurre de karité des coopératives

$$Le\ taux\ de\ Variation\ sur\ la\ plage\ d'année = \frac{(indicateur\ année\ 2\ -\ indicateur\ année\ 1)}{indicateur\ année\ 1} x\ 100$$

- Calcul du taux de variation moyen

$$\frac{Le\ taux\ de\ Variation\ sur\ la\ plage\ d'année}{Année\ 2 - Année\ 1}$$

- Evaluation de la production de beurre estimée en 2020

$$Production\ en\ 2020 = \frac{Production\ en\ 2019 \times taux\ de\ variation\ moyen}{100} + Production\ en\ 2019$$

Tableau 3: Détermination de la production annuelle de beurre (2020)

Site	Années	Production de beurre (t/an)	Taux de variation sur la plage (%)	Taux moyen (%)	Production de beurre en 2020 (t/an)
Tchérégnimin	2013	8,63	209,03	34,84	36
	2019	26,73			
Natio	2015	11,52	182,37	45,59	47,36
	2019	32,53			

- Evaluation de la quantité d'effluents rejetée annuellement

Sachant que la transformation d'un sac d'amande produit en moyenne 50kg de beurre de karité, nous évaluerons la quantité d'eau usée produite en 2020.

Tableau 4: Production théorique annuelle d'eaux usées

	Production de beurre en 2020	Nombre de sac d'amandes transformé	Rejet en eau usée pour un sac d'amande de 140Kg (L)	Rejet en Eau usée annuel (m3)
Tchérégnimin	36	720,03	223,27	160,76
Natio	47,36	947,2	377,12	357,22

1.4 Détermination de la quantité de tourteau liquide produit

La quantification des différentes phases s'est faite par la mesure avant et après décantation des effluents obtenus après barattage et lavage de l'écume. Différents pourcentages ont donc été déterminés qui serviront dans la suite de nos travaux. Le Tableau 5 nous donne les valeurs obtenues.

Tableau 5: Pourcentage volumique de décantation

Pourcentage volumique de décantation											
Sites	Nombre de sac d'amandes	Volume d'effluent total (m^3)	Surnageant		Tourteau liquide		Tourteau pâteux		Moyenne (%)		
			Volume (m^3)	Pourcentage	Volume (m^3)	Pourcentage	Volume (m^3)	Pourcentage	Surnageant	Tourteau liquide	Tourteau pâteux
Natio	5	1,09837	0,01547	1,41	0,5746	52,31	0,5083	46,28	1,73	51,93	46,34
	6	1,6133	0,0221	1,37	0,8177	50,68	0,7735	47,95			
	5	1,38125	0,03315	2,40	0,7293	52,80	0,6188	44,80			
Petit Paris	4	1,0166	0,0221	2,17	0,5304	52,17	0,4641	45,65	2,66	51,44	45,89
	4	0,884	0,03315	3,75	0,4641	52,5	0,38675	43,75			
	4	1,60225	0,03315	2,07	0,7956	49,6551724	0,7735	48,28			
Moyenne									2,20	51,69	46,12

2 Caractérisation des effluents.

2.1 Paramètres physico-chimiques de la méthanisation

Plusieurs paramètres influencent la méthanisation et nécessitent donc un contrôle et un suivi continu pour le déroulement optimal de la méthanisation. Ce sont les paramètres nécessaires pour maintenir la stabilité du processus, des qualités et quantités de biogaz et de digestat produits (Ofosu, 2009) (FAO, 1997) (Almansour, 2011) (Moletta 2008) (Oost JFr., De Toffoli M. 2011).

2.1.1 Potentiel hydrogène pH

Le pH est un paramètre chimique important puisque la communauté bactérienne méthanogène est sensible aux variations de pH. Cette communauté requiert un milieu neutre avec une valeur de pH comprise entre 6,5 et 8,5 pour son fonctionnement optimal. Les bactéries méthanogènes ne se développent pas en dessous d'un pH de 6,5. Plus tard, alors que le processus de digestion se poursuit, la concentration d'ammoniac augmente en raison de la digestion de l'azote, ce qui peut augmenter le pH au-dessus de 8. Si le pH du contenu d'un digesteur baisse, cela indique une défaillance du mécanisme de maintien du pH et donc trop d'acide est produit. Une meilleure mesure de la stabilité d'un digesteur est son alcalinité (Eggling et al., 1979).

L'accumulation d'acides gras volatils ou d'hydrogène peut produire une acidification dans le méthaniseur et inhiber ainsi la méthanisation. Par voie de conséquence, il est très important de suivre la valeur de pH et de l'ajuster si nécessaire en injectant de la lessive de soude (Hydroxyde de Sodium) normalement sous forme liquide pour baisser l'acidité du milieu dans le digesteur. (Almansour, 2011).

2.1.2 Température de digestion

La température est un paramètre physique qui agit directement sur l'activité des microorganismes anaérobies, et par conséquence sur la stabilité de la digestion, sur les rendements de production de biogaz et sur la performance de traitement (Almansour, 2011).

L'activité métabolique des bactéries augmente avec la température et la matière organique se dégrade plus rapidement à des températures plus élevées parce que toute la gamme des bactéries est en action. Ainsi, on peut s'attendre à ce qu'un digesteur fonctionnant à une température plus élevée produise une plus grande quantité de biogaz. Cependant, la quantité d'ammoniac libre augmentant également avec la température, la performance biodigestive pourrait être inhibée ou

réduite en conséquence. Le processus de biométhanisation est très sensible aux changements de température. Le degré de sensibilité, quant à lui, dépend de la plage de température. (OFOSU 2009)

Les différents groupes bactériens responsables des étapes successives de méthanisation ont des températures optimales de fonctionnement différentes. On distingue trois niveaux de température pour le fonctionnement des biodigesteurs.

- Psychrophile à basse température 5°C-25°C : utilisée normalement dans les méthaniseurs fonctionnant à la température ambiante. Cette technique exige des longs temps de rétention.
- Mésophile à moyenne température 25°C-38°C : la plupart des digesteurs anaérobies européens opèrent dans cette gamme de température.
- Thermophile à haute température au-dessus de 50 °C jusqu'à 70 °C. (Almansour, 2011).

Les digesteurs anaérobies conventionnels sont généralement conçus pour fonctionner soit dans la plage de température mésophile, soit dans la plage de température thermophile. Il y a généralement deux raisons pour lesquelles les températures mésophile et thermophile sont préférées. Premièrement, il permet de traiter un taux de chargement plus élevé de matières organiques et un Temps de Séjour Hydraulique plus court est associé à des températures plus élevées, et des rendements accrus pour une capacité de digesteur donnée.

Deuxièmement, des températures plus élevées augmentent la destruction des agents pathogènes qui peuvent être présents dans le substrat brut. (OFOSU 2009).

2.1.3 Concentration de matière organique dans les substrats

Le niveau de concentration en matière organique dans les substrats est important pour le fonctionnement de l'installation et pour la prévision de la quantité de biogaz produit. Ce paramètre peut être mesuré par la « Demande Chimique en Oxygène » (DCO) avec comme unité courante la masse d'oxygène consommé pour la dégradation biologique (gO2/l). La mesure de cette grandeur à l'entrée et à la sortie du méthaniseur permet de calculer l'efficacité du traitement. Ce paramètre peut également être mesuré par le COT « Carbone Organique Total » (Almansour, 2011) ou à travers la matière volatile.

2.1.4 Disponibilité des nutriments

Les bactéries ont besoin de plus qu'un simple approvisionnement en substances organiques comme source de carbone et d'énergie. Outre le carbone, l'oxygène et l'hydrogène, la production de biogaz nécessite un apport suffisant en azote, soufre, phosphore, calcium, magnésium et un certain nombre d'oligo-éléments (Hohlfeld et Sasse, 1985). Les résidus agricoles contiennent généralement des quantités adéquates des éléments susmentionnés, d'où leur aptitude à la production de biogaz. (Ofosu 2009).

Les exigences nutritionnelles des bactéries méthanogènes permettent de les distinguer de l'ensemble des autres bactéries. Globalement, leurs milieux de culture doivent avoir des teneurs en C, N et P dans la proportion 100 - 5 - 1 ou 100 - 4 - 1. Ces bactéries consomment à peu près 30 fois plus de carbone que d'azote (Demuer et al., 1982).

2.1.5 Rapport carbone / azote (rapport C/ N)

C'est la relation entre la quantité de carbone et d'azote présente dans les matières organiques. L'azote présent dans la matière première présente deux avantages : (a) il fournit un élément essentiel pour la synthèse des acides aminés, des protéines et des acides nucléiques ; et (b) il est converti en ammoniac qui, en tant que base forte, neutralise les acides volatils produits par les bactéries fermentatives, et contribue ainsi à maintenir des conditions de pH neutre essentielles à la croissance cellulaire. Une surabondance d'azote dans le substrat peut entraîner une formation excessive d'ammoniac, entraînant des effets toxiques. Il est important que la quantité appropriée d'azote soit dans la charge d'alimentation, pour éviter la limitation des éléments nutritifs (trop peu d'azote) ou la toxicité de l'ammoniac (trop d'azote) (Ofosu 2009).

Un rapport C/N allant de 20 à 30 est considéré comme optimal pour la digestion anaérobie (FAO, 1997). Si le rapport C/ N est très élevé, l'azote sera consommé rapidement par les méthanogènes pour rencontrer la protéine et ne réagira plus sur le carbone. En conséquence, la production de gaz sera faible. En revanche, si le rapport C/N est très faible, de l'azote sera libéré et accumulé sous forme d'ion ammonium (NH4 +). NH4 + augmentera la valeur de pH du contenu dans le digesteur.

2.1.6 Inhibiteurs de la méthanisation.

Outre les facteurs physico-chimiques, comme le pH et la température, plusieurs substances peuvent avoir un effet nocif sur la digestion anaérobie.

Ammoniac (NH_3) : l'ammoniac en concentrations au-delà de quelques grammes par litre peut inhiber la phase méthanogène de la digestion anaérobie. Ces concentrations de NH3 peuvent être causées par un apport élevé de matières riches en protéines, comme les restes d'élevage et les déchets agroalimentaires (Amarante J. 2010 ; Amahrouch A. 2010.

L'hydrogène sulfuré (H_2S) : des substrats riches en protéines soufrées et en sulfates peuvent mener à une augmentation de la production de H_2S. Il est également toxique pour les microorganismes méthanogènes, en plus d'être corrosif pour les matériaux (Amarante J. 2010 ; Amahrouch A. 2010).

Substances toxiques : les hydrocarbures aliphatiques chlorés et les acides gras à longue chaîne (AGLC) sont les substances organiques les plus toxiques pour la digestion anaérobie ; les antibiotiques et les antiseptiques entravent également le développement des bactéries méthanogènes.

À propos des éléments inorganiques, les plus toxiques sont les cations comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et les métaux lourds comme le cuivre, le nickel, le zinc et le plomb, en plus du NH_3 et du H_2S (Amarante J. 2010 ; Amahrouch A. 2010).

2.2 Résultats de la caractérisation du substrat d'entrée

Un échantillon unique a été prélevé pour les analyses du substrat d'entrée avec l'hypothèse que les deux sites utilisent la même qualité d'amandes et les mêmes procédés de transformation des amandes en beurre. A la sortie des biodigesteurs, deux échantillons ont été prélevés sur le BDG 1 de Petit Paris et le BDG 2 de Natio.

Ci-dessous, le Tableau 6 présente les résultats.

Tableau 6: Caractérisation du tourteau de karité

Paramètres	Entrée	Sortie		Taux d'élimination	
		BDG 1 PP	BDG 2 NATIO	BDG 1 PP	BDG 2 NATIO
pH	4,9	6,54	6,86	-	-
DCO mgO2/L	865,48	392,55	794,88	54,64%	8,16%
MS (%)	15,38%	8,11%	9,79%	-	-
MSV de MS (%)	57,91%	14,67%	48,33%	74,67%	16,54%

Carbone Organique Total COT	33,57	20,33	28,01	39,44%	16,56%
Azote total : N (%)	0,84%	0,73 %	0,67%	-	-
Carbone Total (%)	21,2%	10,5%	11,57%	-	-
Azote ammoniacal : NH4+ (mg/L)	125,25	325,2	315,75	-	-
C/N	25	14,38	17,26	-	-

Pour analyser ces résultats, nous nous réfèrerons à quelques valeurs de la littérature consignés dans le Tableau 7.

Tableau 7: Caractéristiques des substrats selon différents auteurs

Auteur	**Substrat**	**pH**	**Matière sèche**	**Matière Volatile sèche**	**DCO (mg O2/L)**	**Le taux de dégradation de la DCO**	**Le taux de dégradation des MVS (ou MS)**
CAFIPOC,1996	Lisier de Porc	-	1% à 15% à l'entrée		22000 à 169 000mg/L	-	-
OFOSU, 2009	Tourteau de Karité	Entre 5,69 et 6,68	90,40%	85,9% à 94,6%	-	-	12,16%
Farcia Adeossi	Bouse de Vache	-	Entre 10,52 % et 12,94 % à l'entré et entre 5,15% et 11,47% à la sortie	Comprises entre 74,76% et 85,79% à l'entrée et entre 58,10 % et 75,19% à la sortie	De 60 760 à 79 520 mg O2/l	Varie de 33,35 % à 39,98 %	Le taux de dégradation des MVS varie de 10,54 % à 16,66 %.
ONAS,2013	Contenu de panse		5 à 15 %	13%			
Almansour	Lisier de Porc + Substrat Agricole	-	De 22 à 60%	-	Entre 284 et 900 à l'entrée du digesteur	75 à 97%	Le taux de dégradation des MS varie de 35 à 66%

La valeur de MS est de 15,38% à l'entrée et entre 8,11% et 9,79% à la sortie. La valeur à l'entrée se rapproche des valeurs de CAFIPOC (1996) et

Nos résultats montrent des valeurs de MSV du tourteau liquide de 57,91% à l'entrée et comprise entre 14,67% et 48,33 % à la sortie des biodigesteurs. La littérature considère rarement les déchets contenant moins de 60 % de MSV comme substrats précieux qui en valent la peine pour une digestion anaérobie. Les valeurs obtenues étant proche de la valeur de référence nous pouvons estimer qu'elle est adaptée pour une méthanisation bien que légèrement inférieur à la valeur limite.

Le taux de dégradation des MVS est de 16,54% pour BDG-2 Natio et de 74,67 % pour le BDG-1 de Petit Paris. Le taux de dégradation de la matière sèche volatils (MSV) est une indication de l'efficacité de digestion du procédé de biogaz. Cependant, le taux de dégradation dépend de la matière première et des conditions de fermentation. Les résultats montrent donc une meilleure performance en termes d'efficacité de digestion du BDG-1 de Petit Paris par rapport au BDG-2 Natio.

La Demande chimique en oxygène (DCO) traduit la charge polluante des substrats d'entrée. La valeur de DCO obtenue pour le substrat est de 865,48 mg O_2/L avec un taux de dégradation de la DCO varie de 8,16% à 54,64% suivant les sites. Cette dégradation est faible comparée aux données de la littérature qui donnent des rendements épuratoires allant de 33,35% à 97% (Almansour, 2011 ; Farcia Adeossi,2013). Pour un rejet du digestat dans la nature le digestat du biodigesteur 2 de Natio ne réponds pas aux normes qui limite la quantité résiduelle de DCO dans l'effluent a 500mgO_2/L.

Le rapport C/N de 25,23 est compris entre les valeurs optimales (20 à 30) recommandées par plusieurs auteurs pour une digestion anaérobie.

3 Suivi de l'utilisation des biodigesteurs

3.1 Alimentation des biodigesteurs et mesure de la production de gaz

Sur une période variant selon les biodigesteurs, des tests ont effectués sur les quatre biodigesteurs afin d'évaluer leurs caractéristiques à l'état initial principalement leur mode d'alimentation et la fréquence d'utilisation du gaz selon la coopérative. Ces différents paramètres ont été consignés dans les Tableau 8: Informations générales de la phase de suivi et Tableau 9: Résultats de la première phase de test.Tableau 9.

Tableau 8: Informations générales de la phase de suivi

	BDG-1	**BDG-2**	**BDG-1**	**BDG-2**
	Alimentation des biodigesteurs			
Période d'observation	***Du 29 mars au 14 Avril***	***Du 29 mars au 08 Avril***	***Du 29 mars au 15 Avril***	***Du 29 mars au 15 Avril***
Nombre de jours dans la période	***17***	***11***	***18***	***18***
Nombre d'alimentations	***2***	***2***	***3***	***2***
Fréquence des tests	***En fonction de la disponibilité du tourteau***	***En fonction de la disponibilité du tourteau***	***En fonction de la disponibilité du tourteau***	***En fonction de la disponibilité du tourteau***
Jours d'alimentation	***Jour 1, jour 8***	***Jour 5, jour 9***	***Jour1, jour 2, jour 12***	***Jour 4, jour 8***
	Tests d'inflammabilité			
Période de test	***Du 29 mars au 16 Avril***	***Du 29 mars au 16 Avril***	***Du 29 mars au 16 Avril***	***Du 29 mars au 16 Avril***

Nombre de tests réalisés	***8***	***5***	***4***	***4***
Fréquence des tests	***Aléatoire***	***Aléatoire***	***Aléatoire***	***Aléatoire***
Jours de tests d'inflammabilité	***Jour 4, jour 6, jour 8, jour9, jour 11, jour 12, jour 18, jour 19***	***Jour 4, jour 6, jour 8&², jour9, jour 11***	***Jour 4, jour 9, jour 11, jour 18***	***Jour 4, jour 9, jour 11, jour 18***

L'alimentation des biodigesteurs s'est révélée être aléatoire, cela est dû à la disponibilité du tourteau liquide qui n'est pas toujours observée. La quantité de déchets produits dépend fortement de la production de beurre de karité par les femmes. Cette production dépend elle-même de plusieurs facteurs à savoir :

- La période de production (période d'intense production située entre octobre et avril)
- La demande du marché en beurre
- Les moyens dont dispose une femme pour produire (chaque femme produit selon ses capacités financières).

En plus de ces facteurs conditionnant la production du beurre, nous avons aussi le temps de décantation (une semaine minimum) de l'effluent qui limite la disponibilité immédiate du substrat d'alimentation des biodigesteurs qui est ici le tourteau.

Tableau 9: Résultats de la première phase de test.

	Natio		**Petit Paris**	
	BDG-1	**BDG-2**	**BDG-1**	**BDG-2**
Production d'effluent (	***7237***		***20000***	
Alimentation totale en tourteau (L)	***1350,24***	***300***	***1605***	***630***
pH moyen	***4,9***	***4,72***	***5,05***	***4,32***
Alimentation moyenne (L/jr)	79,4	27,3	89,2	35,0
Temps de combustion (moyenne)	**00 :03 :10**	**Pas de gaz**	**01 :24 :30**	**00 :02 :15**
Temps de combustion total	**00 :19 :00**	**Pas de gaz**	**05 :38 :00**	**00 :09 :01**
Production gaz totale(m^3)	**Quasi nulle**	**Non**	**7,1837**	**Quasi nulle**
Production gaz (m^3/jr de test)	**0**	**0**	**1,8**	**0**

La quantité de tourteau liquide intégrée dans les biodigesteurs est largement inférieure à la quantité théorique de production de tourteau dans la même période. Cela peut s'expliquer par le temps de décantation comme signifié plus haut qui fait que le tourteau produit dans une période donnée ne peut être utilisé que plus tard pour l'alimentation des biodigesteurs. L'une des raisons qui ne peut être négligée est la recirculation du tourteau liquide par les productrices (principalement celles de

Tchérégnimin) qui consiste à réutiliser le tourteau liquide pour effectuer à nouveau le barattage. Aucun des biodigesteurs n'arrive à combler l'alimentation journalière recommandée qui est de 400Ll/jr pour un bon fonctionnement.

La production de gaz est quasiment nulle sur le site de Natio. Le biodigesteurs 1 ne produit qu'une quantité faible de gaz qui n'a pas réussi à faire bouillir de l'eau. Le biodigesteur 2, quant à lui, ne montre aucun signe de production de gaz.

Sur le site de Petit Paris, le biodigesteur 1 montre une production plus élevée que les autres biodigesteurs 1,8 m^3 par jour qui est néanmoins inférieure à la capacité de production du biodigesteur qui est de 4 m^3 par jour. Le biodigesteur 2, lui, ne produit quasiment pas de gaz. La moyenne de temps de combustion est extrêmement faible (09 min 01s /Jr de test).

3.2 Essai d'amélioration de la production de gaz

Pour donner suite à cette première série de tests, une liste d'hypothèse sur les causes probables des dysfonctionnements a été énoncée en vue de trouver la cause réelle du manque de production de gaz des biodigesteurs 1 et 2 de Natio et 2 de Petit Paris.

- Le pH acide du tourteau liquide : le tourteau liquide a un pH allant jusqu'à 4,5 ; ce qui n'est pas idéal à une méthanisation dont le pH optimal varie de 6.5 à 8.5.
- Formation de croute (écume) à l'intérieur des biodigesteurs : une formation de croute en surface du biodigesteur entrainera l'impossibilité du gaz de remonter en surface.
- Production insuffisante de bactéries méthanogènes.
- Bouchage de la canalisation de transport de gaz.

Afin de déterminer cette cause, une seconde série de tests a été réalisée mais cette fois en tenant compte des probables causes précitées.

3.1.1 Amélioration des substrats d'entrée

Suivant le protocole établi, l'alimentation des biodigesteurs a été modifiée en intégrant de la bouse de vache pour l'augmentation du rapport carbone-azote ainsi que de la cendre pour l'augmentation du pH.

Tableau 10: Alimentation des biodigesteurs

	Natio		Petit Paris	
	BDG-1	BDG-2	BDG-1	BDG-2
Introduction tourteau liquide	Oui	Oui	Oui	Oui
Introduction cendre	Oui	Oui	Oui	Non
Introduction bouse	10%	30%	25-30%	0%

3.1.2 Observations effectuées sur les biodigesteurs

Suite à l'ajout de la bouse, une phase d'observation a été réalisée en tenant compte toujours des probables causes de la baisse de production du gaz.

Tableau 11: paramètres d'observation des biodigesteurs

Natio		Petit Paris	
BDG-1	BDG-2	BDG-1	BDG-2
Vérification du tuyau de sortie du gaz	Vérification du tuyau de sortie du gaz	- Vérification du tuyau de sortie du gaz	Vérification du tuyau de sortie du gaz
Vérification du niveau d'eau dans la fosse de transition du digestat	Vérification du niveau d'eau dans la fosse de transition du digestat	Vérification du niveau d'eau dans la fosse de transition du digestat	Vérification du niveau d'eau dans la fosse de transition du digestat
Vidange de la fosse de transition et introduction de tige dans le digesteur	Vidange de la fosse de transition et introduction de tige dans le digesteur		Recirculation du digestat

3.2 Résultats

3.2.1 Amélioration de l'alimentation des biodigesteurs

Tout en se basant sur le protocole établi mais également des réalités du terrain, l'alimentation a été cette fois améliorée avec des pourcentages prédéfinis de bouse de vache ajoutée au tourteau liquide avant introduction dans les digesteurs. Toutefois, les réalités du terrain ne nous ont pas permis de réaliser une alimentation régulière des biodigesteurs initialement prévu par le protocole.

Tableau 12: Informations générales de la deuxième phase

	Natio		Petit Paris		
	BDG-1	BDG-2	BDG-1		BDG-2
	Alimentation des biodigesteurs				
Période d'observation	*Du 15 Avril au 02 mai*	*Du 09 Avril au 02 mai*	*Du 16 Avril au 02 Mai*	*Du 03 Mai au 30 Mai*	*Du 16 Avril au 02 Mai*
Nombre de jour dans la période	*18*	*23*	*17*	*27*	*17*
Nombre d'alimentation	*2*	*2*	*2*	*3*	*2*
Ajout de co-substrat	*Oui*	*Oui*	*Oui*	*Oui*	*Non*
Fréquence des alimentations	*En fonction de la disponibilité du tourteau*	*En fonction de la disponibilité du tourteau*	*En fonction de la disponibilité du tourteau*	*En fonction de la disponibilité du tourteau*	*En fonction de la disponibilité du tourteau*
Jours d'alimentation	*Jour 1, jour 8*	*Jour 5, jour 9*	*Jour1, jour 7*	*Jour1, jour 12, jour 24*	*Jour1, jour 12*
	Tests d'inflammabilité				
Période de test	*Du 19 Avril au 02 mai*	*Du 12 Avril au 02 mai*	*Du 19 Avril au 02 Mai*	*Du 03 Mai au 30 Mai*	*Du 19 Avril au 02 Mai*
Fréquence des tests	*Tous les jours sauf dimanche et jours fériés*	*Tous les jours sauf dimanche et jours fériés*	*Tous les jours sauf dimanche et jours fériés*		*Tous les jours sauf dimanche et jours fériés*

Le bilan des tests est contenu dans le Erreur ! Source du renvoi introuvable.ci-après.

Tableau 13: Bilan des tests

	Natio		Petit Paris		
	BDG-1	**BDG-2**	**BDG-1**		**BDG-2**
Production d'effluent	*6720*		*13207*		
Alimentation totale en tourteau (L)	*1406,5*	*1,68*	*1005*	*2400*	*2,535*
pH moyen	*5,235*	*4,53*	*4,82*	*5,14*	*4,75*
% bouse	*10*	*30*	*25*	*30*	*0*
Quantité de bouse (L)	*1406,5*	*760,00*	*280*	*1030*	*0*
Quantité moyenne de cendre (kg)	*17*	*19,5*	*11,2*	*2,41*	*0*
Alimentation moyenne (L/jr)	*122,3043478*	*33,11652174*	55,9	149,1	110.2
Temps de combustion (moyenne)	00:06:54	00:00:00	00:42:48	00:46:53	00:00:30
Temps de combustion total	01:22:43	Pas de gaz	12:50:21	14:03:59	00:09:01
Production gaz totale(m^3)	Quasi nulle	Non	22,2647	20,5601	Quasi nulle
Production gaz (m^3/jr de test)	0	0	1,2	1,3	0

L'ajout de bouse de vache dans le substrat d'entrée et la régulation du pH du biodigesteur 1 de Natio n'ont montré aucune augmentation significative de la production de gaz. Le compteur installé n'a enregistré aucune variation malgré la présence d'une combustion moyenne de 6 min observée au niveau du bruleur. La pression relevée demeure faible variant de 1 à 0,5kPa à l'ouverture de la vanne pour passer à 0 kPa à l'allumage du gaz.

Malgré l'ajout de 30 % de bouse dans la quantité totale de substrat d'entrée, le biodigesteur 2 de Natio n'a montré aucun signe de présence de gaz.

Le biodigesteur 1 de Petit Paris reste le seul biodigesteur qui produit une quantité significative de gaz. Le passage de 25% à 30% de bouse a montré une légère variation de la production de gaz avec également l'augmentation de la quantité de matière intégrée. La figure 9 montre les différentes variations énoncées.

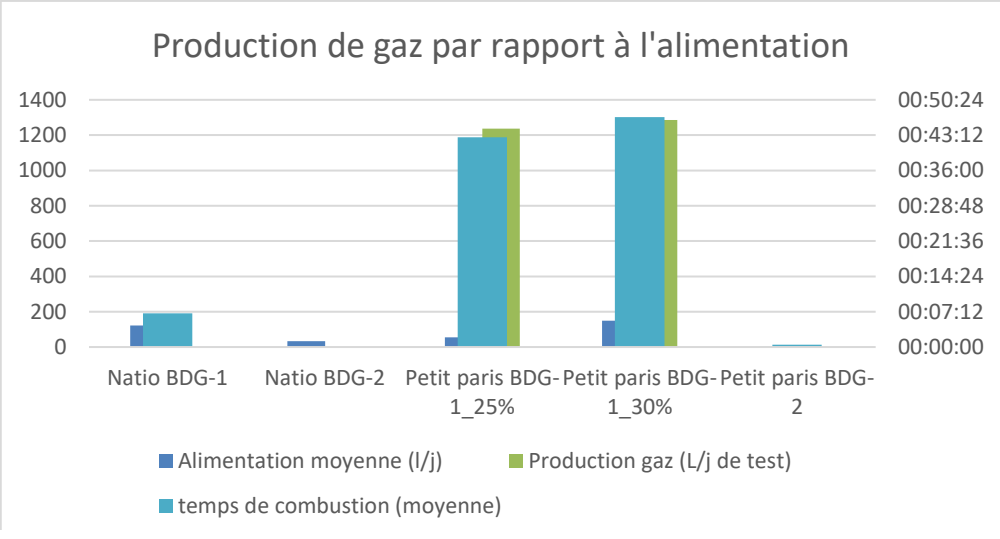


Figure 9: Production de gaz par rapport à l'alimentation

Au cours des tests, la fluctuation de la quantité de gaz consommé (ainsi que du temps de combustion observé) varie en général de façon décroissante au cours de la semaine. La variation du temps de combustion dépend de la pression de sortie du gaz qui varie de 12 à 10 en début de semaine à une pression comprise entre 7 et 5 en fin de semaine. On peut observer ces variations sur les graphiques ci-dessous.

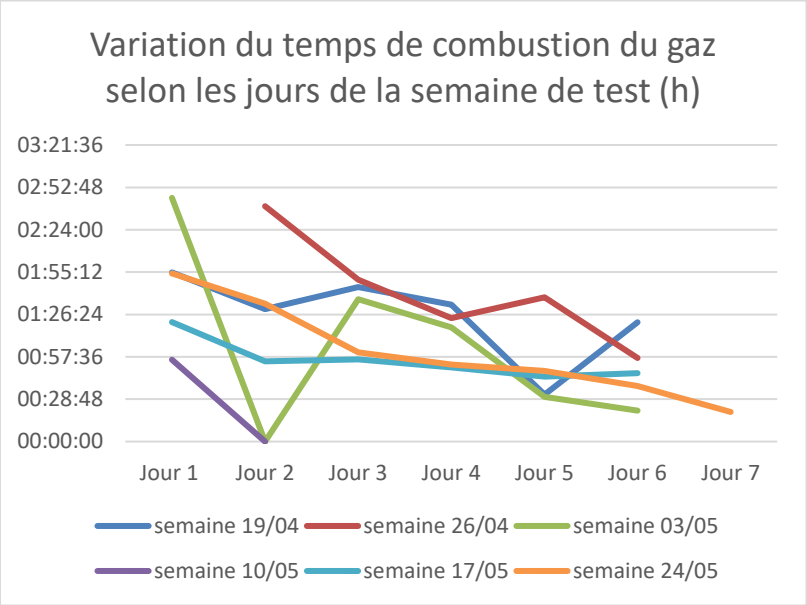


Figure 11: Variation du temps de combustion du gaz selon les jours de la semaine de test

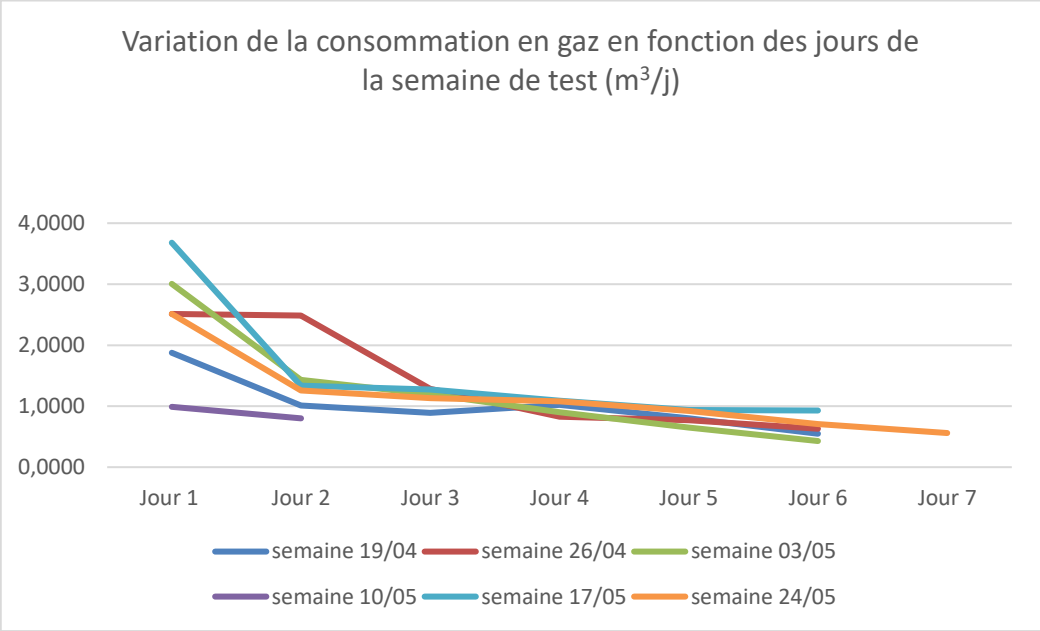


Figure 10: Variation de la consommation en gaz en fonction des jours de la semaine de test

Le biodigesteur 2 de Petit Paris laissé sans ajout de bouse n'a montré aucun changement quant à la quantité de gaz produit. Notons aussi que la quantité de substrat d'entrée est très faible (110,2 L/jr).

3.2.2.1 Observation réalisée au cours des tests

Une observation minutieuse et des manipulations des biodigesteurs ont montré des irrégularités sur le fonctionnement de ceux-ci.

Tableau 14: observations faites lors des tests

Natio		Petit Paris	
BDG-1	BDG-2	BDG-1	BDG-2
Croute fine dans le tuyau sortie gaz	Croute fine dans le tuyau sortie gaz	----	Croute très dur tuyau Sortie du gaz
Présence de bulles dans la fosse de transition du digestat	Présence de bulles dans la fosse de transition du digestat	Grosses bulles dans la fosse de transition du digestat (uniquement avant utilisation du gaz)	Grosses bulles dans la fosse de transition du digestat (de façon permanente)
Mélange très dense dans la cuve	Mélange très dense dans la cuve	Mélange très dense dans la cuve	Mélange très dense dans la cuve du digesteur

Ces observations peu communes nous ont amenés à faire des manipulations afin d'avoir une idée générale sur les causes de ces réactions.

Figure 12: Croûte épaisse recouvrant le digestat à l'intérieur de la fosse de transition du digestat.(photo de terrain BDG2 Natio)

Figure 13: Fosse de transition après retrait de la couche épaisse (BDG 2 Natio)

Figure 14: Formation de la couche épaisse au lendemain du retrait (BDG2 de Natio)

Figure 15: Vidange de la fosse de récupération et observation de la sortie de mousse lourde qui durcit une fois en surface.

Figure 16: Fosse de transition vidée du BDG1 de Natio

Figure 17:Introduction d'une tige dans le digesteur à partir de la fosse de récupération du digestat (BD1 Natio)

Figure 18: Introduction de tige à l'intérieur du digesteur en passant par la fosse de transition du digestat. (BDG2 Natio)

Figure 19: Sortie de bulles après l'introduction de la tige (Biodigesteur 2 de Natio)

Figure 20: Apparition de grosses bulles en surface de la fosse de transition émanent du fond (BDG 2 Petit paris)

Figure 21: Fosse pleine avec apparition de bulles (BDG1 Petit paris)

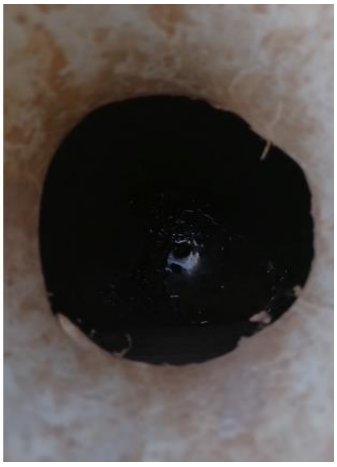


Figure 22: Niveau d'eau bas dans la fosse de transition du digestat (BDG1 Petit Paris)

Figure 23: Introduction d'une tige dans le Tuyau de sortie du gaz (BDG 2 Petit paris)

Figure 24: Sortie de liquide sous forme d'éruption au niveau du tuyau de sortie du gaz (BDG 2 Petit paris)

Les manipulations mettent en évidence les points suivants :

- Sur le site de Natio :
- La formation de croûte à l'intérieur des digesteurs 1 et 2.
- La présence de croute fine dans le tuyau de sortie du gaz des BDG 1 et 2.
- Niveau d'eau toujours élevée dans la fosse de transition du digestat
- Matière dense à l'intérieur du digesteur, facteur d'un piégeage du gaz dans le fond des digesteurs 1 et 2.
- Sur le site de Petit Paris.
- Variation du niveau d'eau dans la fosse de transition du digestat du BDG1: un niveau d'eau élevé lorsque le gaz n'est pas utilisé avec sortie de bulles de gaz et un niveau bas lorsque le gaz est utilisé confèrent figures 20 et 21
- La sortie de grosses bulles de gaz émanant du biodigesteur 2 figure 19
- Un niveau d'eau élevé dans le digesteur BDG 2 (voir figure 20)
- Formation de croûte à l'intérieur du BDG 2 (mise en évidence en insérant une tige à l'intérieur du biodigesteur 2 : figure 11
- Matière dense à l'intérieur du biodigesteur 2.

L'utilisation de ces biodigesteurs et les caractéristiques de leur mise en place sont les facteurs majeurs dans les dysfonctionnements observés. Le Tableau 15: Problèmes observés et leurs probables causes.

Tableau 15: Problèmes observés et leurs probables causes

Problèmes généraux observés	Probable causes
Sédimentation au fond de la cuve du digesteur	- Fond plat de la cuve - Irrégularité de la fréquence de chargement - Manque d'agitation à l'intérieur du biodigesteur - L'introduction de tourteau pâteux dans les biodigesteurs
Perte de gaz dans la fosse de transition du digestat	- Niveau de la porte de sortie du digestat égal au niveau minimum d'eau dans la cuve - Gaz piégé dans le fond dense de la cuve - Surproduction de gaz
Présence d'écume dans le digesteur	- Température variante dans le biodigesteur - Teneur en graisse élevée dans le tourteau liquide - Manque d'agitation dans la cuve du digesteur
Difficulté dans l'alimentation des digesteurs	Pente faible dans l'installation du tuyau d'alimentation de la cuve (voir annexe)

Les résultats de cette étude ont montré que les paramètres principaux entrant dans l'optimisation de la production de biogaz sont la quantité du substrat apportée qui ne répond pas aux besoins des digesteurs installés, la qualité physico-chimique du substrat (le tourteau liquide), puis la fréquence du chargement qui n'a pas été régulière au cours de la période de suivi.

Les tests ont été réalisés dans la fin du cycle de production du beurre de karité entrainant le manque de substrat disponible pour l'alimentation des biodigesteurs. Les informations reçues auprès des groupements dénotent que l'alimentation des biodigesteurs varie en fonction de la production de beurre. On passe donc de la période de sous-alimentation à celle de suralimentation. La sous-alimentation d'un biodigesteur occasionne une faible production de gaz. A l'inverse, la suralimentation du digesteur en matières premières favorise l'accumulation de matière grasse volatile avec pour conséquence une inhibition de la production de biogaz.

Les observations faites à partir des tests montrent que le substrat de karité est une matière qui pourrait former de l'écume (croûte). L'écume est généralement décrite comme l'un des principaux problèmes de fonctionnement des digesteurs anaérobies. Sa formation peut être attribuée à un mélange insuffisant, à une teneur élevée en graisse contenue dans l'effluent, aux fortes fluctuations de température, élevées ou mal contrôlées, ainsi qu'aux taux de charge et concentrations élevés d'acides gras. La littérature montre que le temps de séjour et la température affectent la formation d'écume potentielle. La littérature a aussi montré que la probabilité de formation d'écume augmente avec la diminution du pH de la solution. Cette probabilité est d'autant plus élevée pour le digesteur fonctionnant à 15 jours qu'à 75 jours de temps de rétention hydraulique pour une même valeur de pH (OFOSU 2009). Il est impératif donc que les caractéristiques du substrat d'entrée (tourteau liquide de karité) doit être pris en compte dans la conception et la construction du digesteur de biogaz.

Lorsque le tourteau de karité a été tamponné avec une quantité allant de 2 à20 Kg de cendres par alimentation en fonction du pH de départ et de la quantité de liquide disponible, le pH du substrat d'entrée a augmenté d'une valeur moyenne de 7,11 à 7,35 dans le but de stabiliser le pH du contenu du digesteur à une valeur moyenne comprise entre 6,5 et 8,5, recommandée dans la littérature pour une méthanisation idéale.

IV. TESTS D'OPTIMISATION

1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est celui qui a été réalisé pour la fermentation des déchets de production de l'attiéké sur le projet Agrovalor. Les composantes et caractéristiques restent donc les mêmes.

Le pilote expérimental retenu pour les tests se présente comme suit.

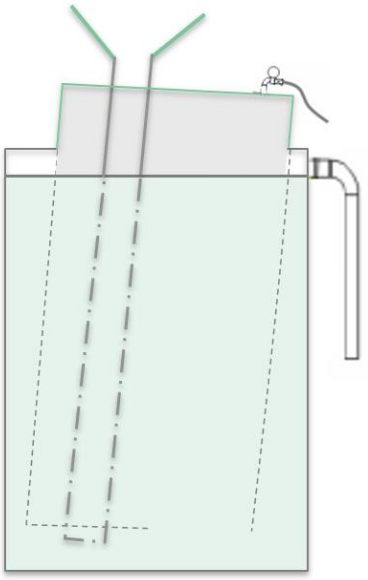


Figure 25: Schéma du pilote expérimental mis en place par l'équipe Agrovalor (source : rapport test biogaz)

Le premier fût (grand) est appelé socle. Il est perforé sur le côté, pour fixer un petit tuyau d'où les effluents sortiront. Le couvercle a été retiré pour accueillir le deuxième fût. L'idéal serait que l'espace entre le grand et le petit fût soit le plus petit possible.

Le deuxième fût (petit) est appelé cloche. D'un côté, elle est perforée à la taille du tuyau pour fixer le robinet. De l'autre côté, le tuyau ressort, il est soutenu par une partie du fond qui sera découpée.

L'étanchéité est vraiment essentielle au niveau du tuyau et du robinet logé dans la cloche (le fût renversé) . Des fûts en plastique ont été choisis pour les travailler facilement à l'aide d'outils métalliques simples (machette, conserve, boulon, clous), chauffés dans le feu. (Rapport test biogaz, Agrovalor 2020)

2. Démarrage du test

Les tests ont été réalisés directement sur quatre dispositifs expérimentaux qui seront utilisés afin d'évaluer la mono fermentation du tourteau de karité et d'avoir des données comparatives aux données obtenues sur les biodigesteurs grandeur nature.

3. Principe, alimentation et prise d'informations

Le principe des biodigesteurs expérimentaux est basé sur une alimentation en continu en tourteau liquide d'autres matières.

Biodigesteur expérimentale (BDG E1) : il a été ensemencé uniquement avec le tourteau liquide pour évaluer la mono fermentation du tourteau de karité.

- **Biodigesteur expérimentale 2 (BDG E2) :** 90% tourteau liquide + 10% Bouse de vache + Cendre
- **Biodigesteur expérimentale 3 (BDG E3)** : 75% tourteau liquide + 25% Bouse de vache + Cendre
- **Biodigesteur expérimentale 4 (BDG E4)** : 60% tourteau liquide + 40% Bouse de vache + Cendre
- **Biodigesteur expérimentale 2 (BDG-E2 test témoin) :** 50% panse+ 50% eau

Une série d'annotation a été réalisé en vue de noter la production de gaz et les caractéristiques liées à ces différents tests (Voir Annexe).

4. Caractérisation du substrat

La caractérisation des substrats d'entrée a été faite une seule fois au début de l'expérimentation pour connaitre la nature de ces substrats. Les résultats obtenus sont donnés par le *Tableau 16*

Tableau 16: Paramètres de caractérisation des substrats d'entrée

Paramètres	Tourteau liquide			Tourteau liquide + 10% de bouse de vache + Cendre (BDG-E2)			Tourteau liquide + 25% de bouse de vache + Cendre (BDG-E3)		
	Entrée	Sortie BDG 1 PP	Sortie BDG 2 NATIO	Entrée	Sortie	Taux de dégradation	Entrée	Sortie	Taux de dégradation
pH	4,9	6,54	6,86	7,21	7,47		7,21	6,97	
DCO mgO_2/L	865,48	392,55	794,88	878,95	657,79	25,2	965,35	765,52	20,7
Matière Volatile Sèche (%)	57,91	14,67	48,33	86,65	80,86	6,68	87,6	70,47	19,55
Matière sèche (%)	15,38	8,11	9,79	37,59	35,08	-	46,71	37,58	-
Carbone total (%)	21,2	10,5	11,57	17,5	9,58	-	51,55	24,68	-
Azote total: N (%)	0,84	0,73	0,67	0,86	0,78	-	1,84	2,04	-
C/N	25,24	14,38	17,27	20,35	12,28	-	28,02	12,1	-

Les valeurs de DCO et de la matière volatile sèche (MSV) des substrats d'entrée du BDG-E2 (878,95 mg O_2/L, pour la DCO et 86,65% en MSV) et BDG-E3(965,35 mg O_2/L pour la DCO et 87,6 % en MVS) sont supérieur à la valeur de la DCO et de la MVS du tourteau liquide sans ajout. La charge organique du substrat a donc augmenté avec l'ajout de la cendre et de la bouse de vache. Les taux de dégradation de la DCO et de la MSV sont respectivement de 25,2% et 6,68% pour le BDG-E2 et de 20,7% et 19,55% pour BDG-E3. Ce taux est faible en comparaison aux taux obtenus pour les biodigesteurs grandeur nature et explique la faible production de gaz par ces biodigesteurs expérimentaux. on observe une augmentation du rapport C/N avec l'augmentation de la bouse de vache (entre le BDG-E2 et le BDG-E3)

5. Protocole d'alimentation

L'alimentation des biodigesteurs expérimentaux s'est faite en respectant les étapes suivantes :

- Noter la quantité de matières alimentées chaque fois que l'alimentation est réalisée.
- Préparation des mélanges :
  - Disposer à portée de main de la cendre de tourteau ou de bois et passer sur un tamis pour avoir un produit plus propre et homogène possible.
  - Disposer à portée de main de bouse de vache.
  - Relever le pH du tourteau liquide.
  - Ajouter graduellement au liquide de la cendre de tourteau ou 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 7 à 8. Noter le poids de la cendre utilisée pour cette opération de neutralisation.
  - Ajouter au mélange la bouse selon les quantités prédéfinies et mélanger soigneusement pour obtenir un mélange homogène.

4. Déroulement des tests

Jour 1 (11/04/21) :

Remplissage des biodigesteurs d'après le protocole établi et les informations recueillies dans la littérature ; l'objectif était d'apporter dans les méthaniseurs expérimentaux de la bouse de vache ainsi que le tourteau liquide. La littérature préconise un remplissage initial en bouse de vache diluée avec de l'eau afin de développer à l'amont les bactéries nécessaires à la fermentation. Cependant, dans notre cas, le temps faisant défaut, l'ensemencement initial a été fait directement avec le tourteau liquide et la bouse de vache. Par manque de bouse de vache fraiche, la bouse utilisée dans notre cas est la bouse sèche.

Selon les différentes proportions, le biodigesteur a été rempli jusqu'à une différence de hauteur avec le tuyau d'évacuation du digestat de 5 cm.

Jour 4 (15/04/21)

Selon le protocole, 5 litres de substrat étaient supposés être ajoutés chaque jour. Toutefois, du fait d'un manque de main d'œuvre, l'alimentation a débuté effectivement au quatrième jour.

A partir du quatrième jour, l'alimentation a continué dans les mêmes proportions, avec la vérification des paramètres préétablis par le protocole. La montée de la cloche a été notée chaque jour pour déterminer le moment propice pour la réalisation des tests d'inflammabilité.

Jour 8 (20/04/21)

La proportion initiale prévue dans l'alimentation du biodigesteur expérimental 4 qui était d'un rapport 1 :1 (50% de bouse de vache 50%de tourteau liquide). Néanmoins, sa consistance ne permettant pas de faciliter l'alimentation journalier, le biodigesteur a donc été rempli initialement au jour 8 qui devient pour lui, le jour 1.

Jour 19 : test d'inflammabilité 1 (30/04/21)

Une fois que la cloche du biodigesteur expérimental 4 a montré une élévation, un test de combustion a été réalisé et le gaz a été brûlé.

Le premier test d'inflammabilité constituait un essai préliminaire pour mettre en évidence la capacité du gaz à se consumer ou non.

Les tests ont été réalisés sur une gazinière modifiée pour s'adapter à la combustion du biogaz.

Le test de combustion s'est caractérisé par les éléments suivant :

Figure 26: Test d'inflammabilité BDE 4

BDG-E4 (60%Tourteau +40% bouse de vache)

- Une durée de combustion d'environ 5 min.
- Une flamme bleue mais faible.
- Plusieurs rallumages (plus de 5 fois) étalés tout au long du test ont été nécessaires.
- Une pression de 0 kPa affichée par le manomètre. L'ajout d'une pierre sur la cloche fut nécessaire pour obtenir une flamme satisfaisante.

BDG-E3 (75%Tourteau +25% bouse de vache) :

Nous avons observé un léger soulèvement de la cloche et la présence d'une odeur de gaz mais le test de combustion n'a montré aucune présence de gaz combustible.

BDG-E2 (90%Tourteau 10% bouse de vache) : Aucune présence de gaz

BDG-E1 (100%Tourteau +0% bouse de vache) : Aucune présence de gaz

Jour 37 :

BDG-E4 (60%Tourteau +40% bouse de vache)

- Une durée de combustion d'environ 6 min
- Une flamme bleue-orangée mais faible
- Flamme stabilisée après 2 rallumages étalés tout au long du test ont été nécessaires.
- Une pression de 0kilo pascale affiché par le manomètre.

BDG-E3 (75%Tourteau +25% bouse de vache) :

Elévation de la cloche de 3cm mais aucun gaz inflammable.

BDG-E2 test témoin :

Il faut savoir que ce test avait pour seul but de vérifier la fonctionnalité des biodigesteurs expérimentaux et s'assurer que le principe de fonctionnement permet effectivement de produire du gaz. Le test de combustion c'est déroulé sans mode opératoire précis et devait mettre simplement en évidence la capacité du gaz à se consumer ou non. On observe une durée de combustion d'environ 30 min avec une flamme bleue-orangée

BDG-E1 (100%Tourteau +0% bouse de vache +cendre) : Aucune présence de gaz

5. Résultats obtenus

Les résultats obtenus au bout de la période de tests sont consignés dans le Tableau 177.

Tableau 17: Résultats des tests d'optimisation

BILAN des tests – 31/05	Période	Pourcentage de bouse appliquée	Bouse (l/j)	Tourteau liquide (l/j)	Ajout de cendre	Qté moyenne Mélange total (L/jr)0	Hauteur de cloche maxi (cm)	Production de gaz
BDG-E1	11/04 - 09 /05	0%	0	5	Non	5	0	Non
	10/05 – 28/05	0%	0	5	Oui	5	0	Non
BDG-E2	11/04 – 22/05	10%	0,5	4,5	Oui	5	2,4	Non
BDG-E3	11/04 – 28/05	25%	1,25	3,75	Oui	5	3	Oui
BDG-E4	20/04 – 28/05	40%	2	3	Oui	5	7,6	Oui
BDG-E2 test témoin	22/05 – 31/05	50% (panse+ 50% eau)	2,5	2,5	Non	5	15,7	Oui

Les résultats obtenus ont montré une production de gaz dans le biodigesteur témoin au bout de 9 jours d'alimentation. Le biodigesteur BDG-E4 alimenté avec 40% de bouse a également produit du gaz mais en faible quantité (5 min de combustion) après 11 jours d'alimentation. Les proportions 10% de bouse/90 % de tourteau et 25% de bouse/75 % de tourteau ont produit une quantité de gaz infime et non inflammable.

De ce fait, nous pouvons envisager la possibilité d'ensemencer les biodigesteurs à venir avec une co-digestion (40% de bouse de vache + 60 % de panse + la cendre). De plus, en se basant sur les résultats du biodigesteur 1 de Petit Paris, après la période de d'ensemencement et les premiers tests d'inflammabilité, on pourrait simplement alimenter les biodigesteurs avec 100% de tourteau liquide neutralisé jusqu'à ce qu'il y ait baisse de production de biogaz. Un apport en bouse sera alors nécessaire pour améliorer la production de gaz.

L'ensemencement des digesteurs avec 0% de bouse et 100 % de tourteau de karité n'est pas à envisager car cela ne produirait à priori pas de gaz inflammable.

V. VALORISATION DU DIGESTAT

1. Caractérisation du digestat

Le digestat qui est un résidu liquide de la digestion pourrait être valorisé. En effet, le digestat peut être utilisé comme fertilisant en agriculture car il possède une bonne valeur nutritive pour les cultures agricoles De plus, il pourrait améliorer la qualité microbienne et chimique des sols.

Cependant, de nos recherches il n'existe pas d'expérimentation réalisé sur le digestat de karité il est donc difficile de se prononcer sur les qualités nutritives de ce digestat en particulier. Il est donc indispensable de faire certains tests sur le digestat de karité avant l'épandage ou application sur les cultures pour connaitre sa teneur en nutriments pour les sols, à savoir : l'azote ammoniacal, le phosphore et le potassium.

Les résultats obtenus pour nos différents digestats sont les suivants :

Tableau 18: Paramètres de caractérisation du digestat

Paramètres	Digestat BDG 1 PP (100% Tourteau de Karité	Digestat BDG 2 NATIO	Digestat avec 10% de bouse	Digestat avec 25% de bouse
Phosphore Total : P (mg/L)	463,5	235	381,4	281,6
Potassium K+ (mg/g)	0,303	0,45	0,34	0,452
Azote ammoniacal : NH4+ (mg/L)	325,5	835,1	289,36	275,25
Rapport C/N	14,38	17,27	12,28	12,1

Les éléments solubles ammonium ($NH4^+$), phosphore (PT) et potassium (K^+) déterminent la valeur fertilisante. Ainsi, concernant le $NH4^+$ les concentrations dans les digestats varient de 275,55 mg/l à 835,1 mg/l. Pour le Phosphore Total PT on enregistre les concentrations de 235mg/l à 463,5 mg/l ; les concentrations de K + sont comprises entre 0,303mg/g et 0,45 mg/g.

Le Tableau 19 ci-dessous montre quelques valeurs nutritives des digestats obtenus à partir d'autres études disponibles.

Tableau 19: valeurs fertilisantes de digestat de la littérature

Auteurs	Déchets	Azote mg/l	Phosphore mg/l	Potassium mg/g
Ofosu (2009)	Bouse de vache	175	34	0,39
	50%Karité+50% de bouse de vache	219	29	0,71
Fulford, 1998 Buffalo	Bouse de vache	101	1110	0,92
Farcia Adéossi (2013)	Lisier de porc	1112	506,67	1,370

Les valeurs de NPK dans le digestat sont variable d'un auteur à l'autre. Afin de pouvoir comparer nos données a d'autres, nous avons sélectionné quelques valeurs obtenues à partir d'études réalisées par d'autres auteurs. Le digestat issu du biodigesteur 2 de Natio a le taux d'azote le plus élevé. Les valeurs de potassium provenant de nos différents échantillons se sont cependant avérées inférieur à celles obtenues par Fulford (1998), Ofosu (2009) et Adéossi (2013). Les résultats

Obtenus sont en accord avec les résultats trouvés dans différentes littératures avec des valeurs de pourcentage d'azote étant encore supérieure dans la présente étude. La littérature considère les fertilisants de sol de valeurs du rapport C/N supérieurs à 12 comme des amendements satisfaisant dans la fertilisation du sol. Les valeurs obtenues dans cette étude étant toutes supérieure a 12 nous pouvons donc utiliser le digestat comme fertilisant.

2. Sites expérimentaux

L'expérimentation relative à l'utilisation du digestat de karité comme fertilisant pour amender les plantes a été faite sur trois sites conjointement :

- Un premier test est réalisé sur un site de maraichage qui respectera toutes les conditions de production généralement utilisée par les femmes ;
- Le second test est réalisé sur le site de production de beurre de karité de Natio.
- Et le dernier dans les locaux de l'ONG Chigata.

➢ Site de maraichage

Pour le site de maraichage le dispositif qui a été utilisé est celui de deux planches avec pour semence la laitue et le concombre.

Ces planches ont été divisées pour former quatre planches de même dimension chacune, et séparées en lots repartis suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 20: Subdivision des planches sur le site de maraichage

Planches	Lots	Cultures	Apport	Volume
Planche 1	Lot 1	Concombre	Engrais	0.03 kg par m^2
	Lot 2	Laitue		
Planche 2	Lot 1	Concombre	10% de digestat	9 volumes d'eau pour 1 volume de digestat
	Lot 2	Laitue		
Planche 3	Lot 1	Concombre	20% de digestat	4 volumes d'eau pour 1 volume de digestat
	Lot 2	Laitue		
Planche 4	Lot 3	Concombre	50% de digestat	1 volume de digestat pour 1 volume d'eau
	Lot 4	Laitue		

- Site de production du karité de Natio

Pour le second site expérimental, le dispositif a été constitué de quatre planches de 4 m^2 divisées en lots de 2 m^2 chacune, avec pour semence le concombre et la laitue.

Tableau 21:Subdivision des planches sur le site de Natio

Planches	Lots	Cultures	Apport	Volume
Planche 1	Lot 1	Concombre	Engrais	0.03 kg par m^2
	Lot 2	Laitue		
Planche 2	Lot 1	Concombre	10% de digestat	9 volumes d'eau pour 1 volume de digestat
	Lot 2	Laitue		
Planche 3	Lot 1	Concombre	20% de digestat	4 volumes d'eau pour 1 volume de digestat
	Lot 2	Laitue		
Planche 4	Lot 3	Concombre	50% de digestat	1 volume de digestat pour 1 volume
	Lot 4	Laitue		

Pour le dernier site expérimental, le dispositif a été constitué de quatre planches de 4 m^2 avec pour semence le concombre.

Tableau 22: Subdivision des planches sur le site de Chigata

Planches	Cultures	Apport	Volume
Planches 1	Concombre	Engrais	0.03 kg par m^2(Application avant semis)
Planches 2	Concombre	10% de digestat	9 volumes d'eau pour 1 volume de digestat (Application avant semis)
Planches 3	Concombre	20% de digestat	4 volumes d'eau pour 1 volume de digestat (Application avant semis)
Planches 4	Concombre	50% de digestat	1 Volume de digestat pour 1 volume d'eau (Application avant semis)

3. Déroulement du test

3.1 Préparation du sol avant semis

Sur les différents sites, des planches ont été réalisées en tenant compte du protocole établi. Les jours précédant les semis, les planches ont été préparés. Les actions réalisées sont :

- Labour et confection des planches
- Désherbage
- Retrait des gros cailloux et des pierres qui pourraient déranger les plants dans leurs évolutions.
- Apport d'une petite quantité d'eau pour éviter que le sol soit sec.
- Apport du digestat dosé et de l'engrais en fonction des différentes planches une semaine avant semis (pour le site 3)

Figure 27: Préparation des planches sur le site de maraichage

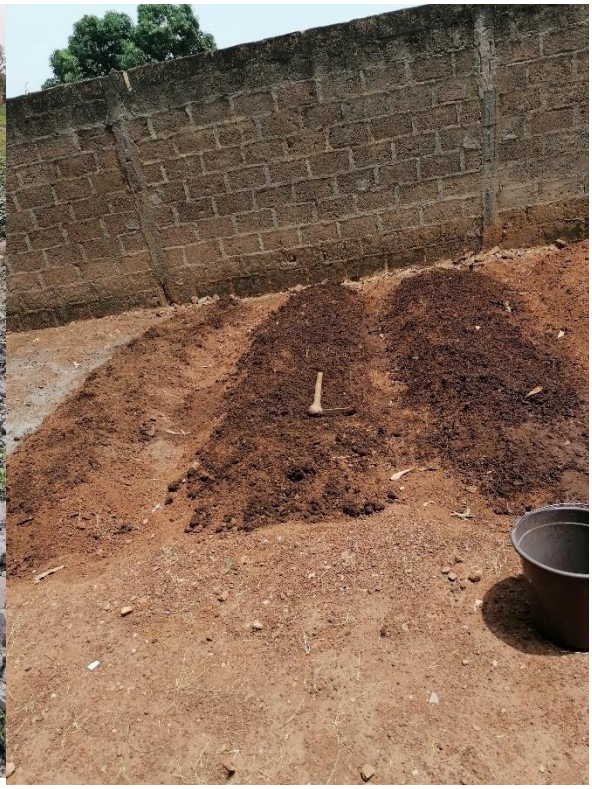


Figure 28: préparation du terrain site de Chigata

3.2 Récupération du digestat et préparation des mélanges

Le digestat qui servira aux tests a été puisé au niveau du biodigesteur 2 de Natio et conservé dans des bidons de 25 l pour faciliter son transport vers les différents sites. Les bidons ont été gardés ouverts pour limiter la production de nouvelles réactions du digestat. Les dosages effectués selon les proportions prédéfinies ont été réalisés de la manière suivante :

- Dosage avec 10% de digestat : 2,5 L de digestat + 22,5L d'eau
- Dosage avec 20% de digestat : 5 L de digestat + 20L d'eau
- Dosage avec 50% de digestat : 12,5 L de digestat + 12,5L d'eau

Ce dosage a été réalisé tout au long du test, en moyenne chaque 3 jours.

Figure 29: récupération du digestat dans la fosse de récupération du BDG 2 de Natio

Figure 30: Préparation des dosages

3.3 Semis

3.3.1 Mise en place de la pépinière de la laitue

La pépinière de la laitue a été réalisée sur une planche préparée préalablement à cet effet sur le site de maraichage. Les étapes sont données ci-dessous avec l'appui des images.

- Confection des lignes de semis espacé de 10cm avec une profondeur d'environ 2 cm
- Semis par étalement des grains de laitue le long des lignes de semis et recouvrement des grains par la terre
- Paillage a 5cm de hauteur
- Arrosage
- Levée de la paille au bout de 7 jours
- Mise en place d'une ombrière

Figure 31: confection des lignes de semis

Figure 32: Semence

Figure 33: Paillage

Figure 34: Retrait de la paille au bout de 7 Jours

Figure 35: Construction de l'ombrière

Figure 36: ombrière achevée

3.3.2 Semis du concombre

Le semis du concombre s'est déroulé selon les étapes suivantes :

- Réalisation des poquets distant de 60cm
- Ajout des grains de concombre
- Ajout de la terre pour refermer les grains
- Arrosage

Figure 37: création des poquets (site de maraichage)

Figure 38: Ajout de la semence (site de maraichage)

Figure 39: Arrosage des poquets (planche de 20% et 50%) site de maraichage

4. Suivi et évaluation (voir Annexe)

Toutes les observations et les mesures ont été faites sur tous les plants germés. Les paramètres agronomiques qui feront l'objet de mesures ou d'observations sont les suivants :

- Hauteur des plantes et couleur des feuilles/tiges : l'observation a été effectuée à partir du 21 -ème jour après semi et suivi chaque semaine jusqu'à la récolte des fruits.
- Rendement en fruits : Après la récolte, les fruits ont été pesés un à un pour le témoin ainsi que pour les différents apports. Le nombre de fruits récoltés par culture et pour différent apport a été déterminé au stade de maturité après la récolte.

Les résultats de ces mesures et observation sont consignés dans un tableau (voir Annexe).

5. Différents problèmes observés au cours du test

5.1 Concombre

On observe sur les planches l'apparition de peu de plante germée au 7ieme jours Apres semis

- Site de maraichage

Planche témoin : 2 germés sur 8

Planche arrosée avec 10% de digestat : 1 germé sur 8

Planche arrosée avec 20% de digestat :1 germé sur 8

Planche arrosée avec 50% de digestat : 2 germés sur 8

- Site de Natio

Planche témoin : 0 germé sur 10

Planche arrosée avec 10% de digestat : 4 germés sur 10

Planche arrosée avec 20% de digestat : 3 germés sur 10

Planche arrosée avec 50% de digestat : 2 germés sur 10

- Site de Chigata

Planche témoin : 0 germé sur 10

Planche arrosée avec 10% de digestat : 4 germés sur 10

Planche arrosée avec 20% de digestat : 0 germé sur 10

Planche arrosée avec 50% de digestat : 6 germés sur 10

Figure 40: Planche arrosée avec 50% de digestat jour 7 après semis (site de maraichage)

Figure 41:Planche arrosée avec 10% de digestat jour 7 après semis site de maraichage)

Figure 42: Planche arrosée avec 20% de digestat jour 7 après semis (site de maraichage)

Afin d'atteindre un taux de germination de 100%, plusieurs re- semis ont été réalisés à intervalle régulier de 7 jours. A 14 jours après semis sur le site de maraichage, l'arrosage des poquets non germés a été modifié (on applique désormais uniquement de l'eau jusqu'à germination des grains). L'arrosage à l'eau uniquement a été maintenu sur le site de Natio jusqu'à l'apparition de la plante qui a ensuite été arrosée avec les différents dosages.

Malgré ces dispositions, nous observons que certaines graines avaient germé en dessous de la terre mais n'ont pas réussi à sortir de terre. D'autres graines n'ont simplement pas germé :

Figure 43: pl arrosée avec 20% de digestat jour 7 après site de Natio)

Figure 45: Graines germés en dessous de terre

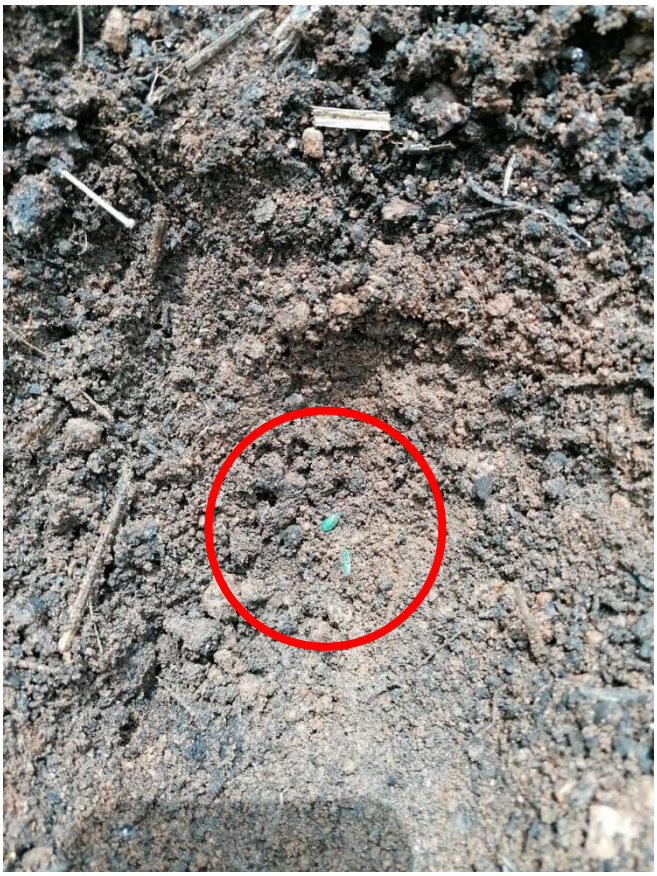


Figure 46: Graines non germées

L'une des causes de la non-germination des graines observées est l'asséchement du sol par l'application du digestat.

Figure 47: surface des planches asséchées (planche 20% de digestat et 50%) site de maraichage

En plus du taux de germination faible, plusieurs problèmes ont été observés. Principalement sur le site de Natio où on a observé un assèchement précoce des plantes suivi de la mort de plusieurs plants.

Figure 48:Plantes jauni et asséchée aux jours 8 et 10 après semis (50% de digestat site de Natio)

Figure 49: assèchement de plante 28 semaines après semis (planche témoin)

Plusieurs assèchements ont été relevés allant de 7 à 35 jours après semis. La texture présentée par les racines fait état de présence de champignons dans le sol qui serait à l'origine de ces différentes attaques, et ceux malgré le traitement phyto sanitaire réalisé à l'aide de feuille de papaye et de neem. Ces attaques régulières et récurrentes de champignon ainsi que le passage de quelques animaux sur le site ont réduit en grande partie le nombre de plants présents sur le site de Natio.

Figure 50: pourrissement des feuilles et fruits (planche 20% de digestat et 50%) site de maraichage

Entre le 35 ième et le 56ieme Jour après semis, nous avons observé un jaunissement des feuilles et un pourrissement précoce des fruits sur les sites de Natio et de maraichage.

5.2 Laitue

Le repiquage de la laitue a été fait 30jours après la mise en place de la pépinière. Après ce repiquage les plants de laitue n'ont pu survivre aux nouveaux environnements dans lesquels ils ont été placés. On a observé donc la mort des plants de laitue quelques jours après repiquage.

Figure 51: repiquage de la laitue (site de maraichage)

Figure 52: jour 2 Après repiquage de la laitue

Figure 53: jour 2 après repiquage de la laitue (site de Natio)

La contrainte de temps dont nous devrions faire face ne nous a pas permis de reprendre les tests sur la laitue, qui n'ont pu malheureusement être poursuivis.

6 Bilan des résultats obtenus

Le bilan des tests est contenu dans le Tableau 2323 ci-après.

Tableau 23: Bilan des résultats e la valorisation Agronomique du digestat

Site	Apport	Nombre de re-semis	Taux de germination	Taille moyenne des plantes (m)	Nombre de fruits récoltés	Poids moyen des Fruits (kg)
1 (Maraichage)	Engrais	4	60%	0,86	9	0,8
	Digestat à 10%	4	25%	0,11	0	
	Digestat à 20%	4	37%	0,87	6	0,7
	Digestat à 50%	4	25%	1,08	7	0 ,95
2 (Natio)	Engrais	4	100%	0,77	3	0,65
	Digestat à 10%	4	100%	0,49	2	
	Digestat à 20%	4	100%	0,64	4	0.78
	Digestat à 50%	5	100%	0,87	0	0
3(Bureau Chigata)	Engrais	1	100%		0	
	Digestat à 10%	1	100%	0,19	0	
	Digestat à 20%	1	100%		0	
	Digestat à 50%	1	100%	0,24	0	

Les résultats obtenus malgré la diminution des plants initialement prévus montrent que l'application du digestat par arrosage à une capacité d'asséchement de la surface des sols, limitant ainsi la germination des grains une fois appliquée. L'application du digestat comme fumure de fonds a été la méthode la plus efficace pour obtenir un taux de germination de 100% avec le moins de re-semis. Malheureusement il n'a pu être suivi jusqu'à l'obtention des fruits à cause d'un manque de temps. Le nombre de fruits récoltés pour le témoin est supérieur à ceux récoltés sur les planches fertilisées avec le digestat. On note une croissance rapide sur les plantes arrosées avec 50% de digestat

VI. EFFETS ET IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ SUR LES UNITES.

1. Impacts socio-économiques

L'introduction du système décanteur-biodigesteur participe à l'amélioration des conditions de travail en réduisant la temps mis pour la récupération du tourteau pâteux qui est beaucoup plus facile à retirer du décanteur. Aussi, l'utilisation de gaz réduit le temps mis pour cuire les repas sur le site.

Les charges d'exploitation des biodigesteurs sont données dans le tableau ci-dessous comparativement aux bénéfices générés par l'utilisation de ces biodigesteurs

Exploitations		Bénéfices générés	
Avec Ajout de cendre + Bouse			
Cendre (mois)	1600 f	Charbon de tourteau	Gratuit
Bouse (mois)	8 000 f	Charbon de bois (f/jour)	100
Transport de bouse (m^3/mois)	8 000 f	-	-
Vidange fosse de digestat (mois)	20 000 f	-	-
Total (mois)	37 600 f	Total (mois)	3000 f
Avec ajout de cendre uniquement			
Cendre (20 kg/ semaine)	1600 f	Charbon de bois (f/jour)	100
Vidange fosse de digestat	20 000 f	-	-
Total(mois)	21 600 f	Total (mois)	3000 f

L'utilisation de la bouse dans l'alimentation des biodigesteurs entrainent des coûts d'exploitations élevé par rapport à l'utilisation uniquement de du tourteau de karité et de la cendre. Le cout de vidange du digestat représente le plus montant dans l'exploitation des biodigesteurs. Les bénéfices perçus par les bénéficiaires ne se retrouve que dans l'utilisation du gaz qui réduit des charges, l'achat du charbon de bois.

Le choix de la valorisation agronomique des digestats permettra de répondre aux sollicitations des agriculteurs de disposer d'engrais n'agissant pas négativement sur la nature des sols. De plus, cette

valorisation agronomique pourrait représenter une source de revenu majeur dans l'exploitation des biodigesteurs et ainsi accroitre les bénéfices économiques perçus par les bénéficiaires.

2 Impacts environnementaux

2.1 Amélioration des conditions sanitaires

Les bénéficiaires qui autrefois déversaient les eaux usées directement sur le site ou le long des clôtures, ont, grâce au système décanteur+ biodigesteur, réussi à réduire cette pollution causée par le rejet de ces eaux sans traitement. On peut citer les effets suivants :

- Elimination des odeurs nauséabondes.
- Diminution des risques de pollution des nappes souterraines.
- Assainissement de l'environnement de travail.

2.2 Impacts sur la qualité de l'air

La combustion du charbon de tourteau, de bois de chauffe et de charbon de bois (utilisés comme combustible pour la cuisson des repas sur le site) dégage une grande quantité de polluants susceptibles d'affecter la santé des productrices. D'après le tableau ci-dessous, les énergies traditionnelles comme le bois de feu et le charbon de bois émettent des quantités de polluants beaucoup plus importants que le biogaz.

Tableau 24:: Quantité de polluants selon le type de combustible utilisé

Combustibles	Efficience du foyer (%)	Emissions (g/Mj énergie délivrée)				
		CO_2	CO	CH_4	COVNM[7]	N_2O
Butane	53,6	126	0,61	Négligeable	0,19	0,002
Biogaz	57,4	144	0,19	0,10	0,06	0,002
Kérosène	49,5	138	1,9	0,03	0,79	0,002
Bois de feu	22,8	305	11,4	1,47	3,13	0,018
Résidus Agricoles	14,6	565	36,1	4,13	8,99	0,028
Charbon de bois	14,1	710	64,0	2,37	5,6	0,018
Bouse de vache	10,0	876	38,9	7,30	21,8	0,022

Source: K R Smith – 2002- indoor air pollution in developing countries recommendations for research – 10 pages

Le recours à des combustibles propres tirés de la biomasse en l'occurrence le biogaz constitue donc un réel avantage non seulement sur la santé des bénéficiaires mais aussi l'amélioration de la qualité de l'air sur le site en réduisant les effets des émissions du dioxyde de carbone (CO2), du monoxyde

de carbone (CO) et du méthane (CH4). L'utilisation du biogaz participe ainsi à la réduction les risques de maladies pulmonaires et d'irritations des yeux.

VII. PROPOSITION D'AMELIORATION

1. Diffusion de l'équipement

1.1 Proposition d'amélioration dans la conception du biodigesteur

Plusieurs améliorations dans la réalisation des biodigesteurs entraîneraient des conséquences positives majeures sur la méthanisation du tourteau liquide. Par exemple :

- Prévoir un agitateur manuel permettant un mélange régulier du contenu du biodigesteur. Ceci permettra de limiter la formation d'écume mais également la sédimentation.
- Mettre en place un « *trou d'homme* » qui donnera l'accès à l'intérieur du biodigesteur et permettra d'effectuer les mesures et intervenir lors des entretiens.
- Le système de décantation tel que réalisé permet l'entrée des eaux pluviale et participe à la dilution du tourteau. Des décanteurs disposant d'une couverture permettraient de réduire ce risque.
- Pour faciliter la sortie du digestat, opter pour un fond de cuve curviligne en lieu et place du fond plat.

1.2 Recherches approfondies

Pour l'amélioration de la production et de la qualité du biogaz :

- Il faudrait réaliser l'évaluation expérimentale du pouvoir méthanogène du tourteau liquide suivant différents essais de ratio de mélange bouse fraiche -tourteau liquide afin de disposer de données exploitables dans le contexte sahélien.

- Il faudrait ajouter de la cendre à l'alimentation des biodigesteurs pour augmenter le pH du substrat d'entrée.

Utiliser des boues fraiches et respecter le ratio (1 volume de boue pour 1 volume de tourteau liquide)

Pour une meilleure connaissance de la qualité sanitaire des digestats :

- Evaluer l'abattement en coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

- Évaluer l'abattement sur les salmonelles, les bactéries sporulées telles que les Clostridium, les œufs d'helminthes et les kystes de protozoaires ;

- Prévoir une séparation des phases solide et liquide afin de faciliter le compostage du premier et l'utilisation optimale des substances dissoutes ou procéder directement à l'épandage dès la sortie du digesteur en vue de préserver les caractéristiques des digestats.

- Effectuer des essais sur d'autres cultures vivrières dans le but de voir l'effet sur le rendement ;

- Evaluer la teneur en métaux lourds et la capacité de bioconcentrations des cultures pour lesquelles les digestats sont appliqués.

2. Dans la gestion des biodigesteurs par les bénéficiaires

- Combler le manque de substrat par l'ajout d'eau de lavage des amandes combiné à de la bouse fraiche de vache afin d'atteindre l'alimentation normale prévue.
- Former les utilisateurs à l'entretien régulier des biodigesteurs conformément au guide d'utilisation établi.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce stage réalisé au sein du projet Agrovalor nous a permis d'étudier les problèmes rencontrés dans la gestion des biodigesteurs pour la production de biogaz à partir des tourteaux liquide de karité. En outre, ce stage nous a permis de mettre en pratique toutes nos connaissances acquises jusqu'à présent dans le domaine de l'assainissement.

Le but premier de l'installation des biodigesteurs qui est la gestion des eaux usées issues du process de production du beurre de karité a certes été atteint avec l'acceptation et l'implication des bénéficiaires dans l'utilisation et la gestion des biodigesteurs. Cependant la production et l'utilisation du biogaz observées lors des tests est largement en dessous de la capacité de production envisagée lors de la mise en place des différents biodigesteurs.

Sur le plan scientifique, ce stage nous a permis de connaitre la composition du tourteau de karité qui montre une valeur de C/N =25,23. Cette valeur est comprise entre les valeurs optimales recommandées (20 à 30) une digestion anaérobie. Le taux de dégradation de la matière organique (de la DCO) est de 54,64% pour le biodigesteur 1 de Petit Paris et de 8,16% pour le biodigesteur 2 de Natio. Ces taux restent faibles bien que les tourteaux de karité soient fermentescibles et permettent de produire du gaz.

Sur le plan pratique, ce stage nous a aussi permis de connaitre et de toucher du doigt les différents éléments entrant dans la production du biogaz. Il en ressort que la mono fermentation du tourteau de karité sans ensemencement préalable ne permet une production de biogaz. Il est donc primordial d'associer à ce substrat un co-substrat avec un potentiel de production de méthane élevé tel que la bouse de vache. Notre expérience avec l'ajout de de bouse a donné une faible dégradation de la matière organique par rapport à ce qui a été vu dans la littérature pour plusieurs conditions qui n'étaient pas remplies.

Sur le plan agronomique, les digestats présentent des concentrations acceptables en Azote Ammoniacale NH4+ (215,35 mg/L-835,1 mg/L), en Phosphore Total (PT) (235 mg/L-463,5 mg/L) en Potassium(K+) (303,2 mg/L-452,2 mg/L) en comparaison aux données de la littérature dont l'effet sur le rendement du concombre a été évalué. Les différentes valeurs de C/N obtenues pour le digestat montrent qu'il peut être valorisé en agriculture.

L'application du digestat issus des biodigesteurs de karité a montré que la substance avait un fort potentiel en matière grasse qui une fois appliquée sur les semis empêchaient la germination des grains. Le digestat appliqué sur le sol avant le semis a montré un taux de germination certes plus élevé mais une croissance des plantes retardée.

Bien que les tourteaux liquides de karité soient des fermentescibles vu les résultats observés sur le biodigesteur 1 de Petit Paris, des paramètres importants tels que la fréquence et la quantité de matière d'alimentation restent à maîtriser. Il conviendra d'entreprendre des études dans ce sens afin

de maîtriser ces paramètres et d'améliorer davantage le rendement de production de biogaz à partir de ces tourteaux.

Ainsi, nous formulons les recommandations suivantes pour la remise en marche des biodigesteur 1 et 2 de Natio et 2 de Petit Paris :

- Réaliser une vidange complète du biodigesteur.

- Créer une ouverture sur le digesteur afin de retirer toute l'écume formée à l'intérieur.

- Réaliser si possible une purge à partir d'un jet d'eau à l'intérieur des canalisations de transport du gaz pour débarrasser celles-ci d'éventuel bouchon. Evacuer l'eau injectée par le piège à eau.

- Former les bénéficiaires à l'utilisation des biodigesteurs conformément au guide d'utilisation préétabli.

Bibliographie

Agrovalor (2020). Rapport test biogaz à partir des effluents issus de la transformation du manioc.

AFEDES 1982. Photosynthèse - Biomasse – Energie – Ressources et Techniques', Collection des Cahiers de l'AFEDES, N°6, Ed 1982.

Almansour, E. 2011. Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz : Approche par filière-type. Thèse de doctorat UNIVERSITE BORDEAUX 1. 147p.

Chapman, D. (1989). Mixing in anaerobic digesters: State of the art. In P. Cheremisinoff (Ed.), Encyclopedia of environmental control technology vol. 3 (pp. 325-354). Houston, TX: Gulf Publishing Company.

Demuer A. et al., 1982. 'Conversion Bioénergétique', Ed. Lavoisier, 311 p., Paris.

Eggling, G., Gulidager, R., Hilliges, G., Sasse, L., Tietjan, C., et Werner, U. (1979). Manuel pour la réalisation du programme de biogaz. Brême, Allemagne de l'Ouest: BORDA.

FAO. Récupéré de http : //www.fao référentiel de documents d'entreprise.htm

Farcia G.F. ADEOSSI, 2014. Caractérisation du biogaz produit à partir des substrats bovins et porcins.

Moletta R. 2008. La méthanisation. 2ème édition. 552 p.

Nathan B. et Lassane N., (2014). Rapport de suivi test de méthanisation du tourteau de Karité. KARITANE

Ofosu MA (2009). Anaerobic digestion of shea waste for energy production (Ph.D. Thesis, University of Cape Coast, Ghana)

Oost JFr., De Toffoli M. 2011. Estimation de la valeur fertilisante de digestats issus de la

Biométhanisation. Résultat de 3 années d'expérimentation en culture de maïs.

Table des Annexes

ANNEXE I : ETAT DES LIEUX 69
ANNEXE II. SUIVI DES BIODIGESTEURS 73
ANNEXE III. TESTS D'OPTIMISATION 93
ANNEXE IV : VALORISATION DU DIGESTAT 101

ANNEXE I : ETAT DES LIEUX

QUESTIONNAIRE SUR L'ACCEPTATION DES BENEFICIAIRES

NOM DU GROUPEMENT :

1. **L'installation du Biodigesteur a-t-elle été faite sur votre demande ?**

- Oui
- Non
- Autre

2. **Depuis combien de Temps utilisez-vous le biodigesteur ?**
    - Toute suite après son installation
    - Quelques temps après son installation, le temps pour les femmes de s'adapter à la nouvelle technologie
    - Autre

3. **Avez-vous reçu une formation sur l'utilisation du biodigesteur ?**
    - Oui non

Si oui comment cela s'est-il déroulé et quels sont les aspects évoqués ?

4. **Avez-vous eu des incompréhensions**
    - Oui non

Si oui lesquelles ?

5. **Comprenez-vous l'utilité du Biodigesteur pour vous ?**
    - Oui non

Si oui quelles sont les utilités selon vous ?

6. **Quels sont les avantages que vous avez tirés de l'installation du Biodigesteur ?**
    - Assainissement
    - Disponibilité du gaz

- Facilité de récupération du Tourteau
- Autre

7. **Qu'est-ce que vous arrivez à cuisiner avec le gaz produit ?**

8. **Quel est la périodicité d'utilisation du gaz ?**
   - Tout le temps
   - En fonction de la disponibilité du gaz
   - Quelques fois
   - Jamais
   - Autre

9. **Avez-vous des difficultés dans l'utilisation du bac de décantation?**
   - Oui non

Si oui lesquelles ?

10. **Avez-vous des difficultés dans l'utilisation du biodigesteur ?**
    - Oui non

Si oui lesquelles ?

11. **Comment êtes-vous organisés pour la gestion du Biodigesteur ?**

12. **Serez-vous prêtes à adopter le Biodigesteur si Vos difficultés sont résolues ?**
13. **Quelles sont vos attentes ?**

14. **Information supplémentaire**

: FICHE TECHNIQUE D'OBSERVATION DES DISPOSITIFS DE BIOGAZ

Élément	Présence	Nombre	État				Fonctionnement		Observation
			Très Bon	Bon	Mau-vais	Très Mauvais	Oui	Non	
Bacs de décantation									
Fosse de transition du digestat									
Bruleur à gaz									
Compteur à gaz									
Manomètre									
Vidange de tourteaux solides									
Fosse de récupération du digestat									
Agitateur									
Tube à gaz (niveau du bruleur à gaz)									
Gaz									
Digestat									
Vannes d'alimentation du digesteur en effluent.									
Vannes de sortie du gaz									
Vannes d'alimentation du brûleur à gaz									

ANNEXE II. SUIVI DES BIODIGESTEURS

PRODUCTION D'EFFLUENTS

Petit Paris					
Date	**Nombre de Sac d'amandes de Karité**	**Nombre de barique d'eau potable utilisée**	**Capacité des bariques**	**Quantité d'eau totale**	**Observation**
29/03/2021	8	10	200	2000	En plus de la quantité d'eau Potable utilisée, une quantité donnée d'eau de barattage décantée est réintroduit dans le cycle pour à nouveau servir pour le barattage
30/03/2021	12	14	200	2800	
31/03/2021	12	12	200	2400	
01/04/2021	8	8	200	1600	
03/04/2021	8	9	200	1800	
Total semaine	256	53	200	10600	
05/04/2021	8	8	200	1600	
06/04/2021	8	8	200	1600	
08/04/2021	8	11	200	2200	
09/04/2021	8	10	200	2000	
10/04/2021	4	5	200	1000	
11/04/2021	4	5	200	1000	
Total semaine	40	47		9400	
12/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
13/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
14/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
15/04/2021	8	10	200	2000	
16/04/2021	8	8	250	2000	
17/04/2021	4	6	200	1200	
Total semaine	20	24		5200	
19/04/2021	11	8	250	2000	
20/04/2021	12	14	200	2800	
21/04/2021	5	5	250	1250	
22/04/2021	8	10	250	2500	
23/04/2021	8	10	200	2000	
24/04/2021	6	8	200	1600	
Total semaine	50	55		12150	
26/04/2021	5	6	200	1200	
27/04/2021	8	8	200	1600	
28/04/2021	8	9	200	1800	
29/04/2021	6	8	200	1600	
30/04/2021	3	4	200	800	
01/05/2021	4	6	200	1200	
Total semaine	34	41		8200	
03/05/2021	9	11	200	2200	
04/05/2021	8	6	250	1500	
05/05/2021	8	8	200	1600	
06/05/2021	3	3	250	750	

07/05/2021	3	3	250	750	
08/05/2021				0	
Total semaine	31	31		6800	
10/05/2021	0	0		0	
11/05/2021	0	0		0	
12/05/2021	0	0		0	
13/05/2021	0	0		0	
14/05/2021	0	0		0	
15/05/2021	0	0		0	
Total semaine	0	0		0	
17/05/2021	0			0	
18/05/2021	4	4	200	800	
19/05/2021	0			0	
20/05/2021	5	6	200	1200	
21/05/2021	0	0	0	0	
22/05/2021	0	0	0	0	
Total semaine	9	10		2000	
24/05/2021	0	0	200	0	
25/05/2021	8	8	200	1600	
26/05/2021	8	7	200	1400	
27/05/2021	16	14	200	2800	
28/05/2021	12	12	200	2400	
29/05/2021	8	8	200	1600	
Total semaine	52	49		9800	

Date	Nombre de Sac d'amandes	Nombre de barique d'eau potable utilisée	Capacité des bariques	Quantité d'eau totale	Observation
29/03/2021	6	12	200	2400	
30/03/2021					
31/03/2021	5	10	200	2000	
01/04/2021					
03/04/2021	5	11	200	2200	
Total semaine	16	33		6600	
05/04/2021					
06/04/2021	9	19	200	3800	
07/04/2021	3	8	200	1600	
08/04/2021					
09/04/2021					
10/04/2021	5	10	200	2000	
Total semaine	17	37		7400	
12/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
13/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
14/04/2021	-	-	-	-	Donnée non disponible
15/04/2021					

16/04/2021					
17/04/2021	5	10	200	2000	
Total semaine	5	10		2000	
19/04/2021					
20/04/2021	5	10	200	2000	
21/04/2021					
22/04/2021	5	9	200	1800	
23/04/2021					
24/04/2021	9	18	200	3600	
Total semaine	19	37		7400	
26/04/2021	0	0	200	0	
27/04/2021	0	0	200	0	
28/04/2021	0	0	200	0	
29/04/2021	0	0	200	0	
30/04/2021	0	0	200	0	
01/05/2021	3	8	200	1600	
Total semaine	3	8		1600	
03/05/2021			200	0	
04/05/2021	6	6	200	1200	Ajout d'eau de pluie (environ 1000 L)
05/05/2021			200		
06/05/2021			200		
07/05/2021			200		
08/05/2021			200		
Total semaine	6	6		1200	
10/05/2021	0	0		0	
11/05/2021	0	0		0	
12/05/2021	0	0		0	
13/05/2021	0	0		0	
14/05/2021		0		0	
15/05/2021		0			
Total semaine	0	0		0	
17/05/2021	0			0	
18/05/2021	0			0	
19/05/2021	5	5	200	1000	
20/05/2021	7	7	200	1400	
21/05/2021	0			0	
22/05/2021	0			0	
Total semaine	12	12		2400	
24/05/2021	7	10	200	2000	
25/05/2021	6	7	200	1400	
26/05/2021				0	
27/05/2021				0	
28/05/2021	4	6	200	1200	
29/05/2021				0	
Total semaine	17	23		4600	

SUIVI DE L'UTILISATION DES BIODIGESTEURS

- Alimentation des biodigesteurs

	BD1 Petit paris						
	Jour	**Tourteau liquide**	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
		Volume (m3)	**Bouse de vache**	**Cendre**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 29 Mars au 15 Avril	Jour 1	0,51	0	0	4,5		
	Jour 2	0,465	0	0	4,71		
	Jour 3	0	0	0			
	Jour 4	0	0	0			
	Jour 5	0	0	0			
	Jour 6	0	0	0			
	Jour 7	0	0	0			
	Jour 8	0	0	0	4,9		
	Jour 9	0	0	0			
	Jour 10	0	0	0			
	Jour 11	0	0	0			
	Jour 12	0,63	0	0	5,21		
	Jour 13	0	0	0			
	Jour 14	0	0	0	0		
	Jour 15	0	0	0	0		
	Jour 16	0	0	0	0		
	Jour 17	0	0	0	0		
	Jour 18	0	0	0			
	Total	1,605	0	0			
	Moyenne				4,83		

	BD1 Natio						
	Jours	**Tourteau liquide**	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
		Volume (m3)	**Bouse de vache m3**	**Cendre kg**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 29 Mars au 14 Avril	Jour 1	**0,66447**	0	0	4,65		**30,9**
	Jour 2	0	0	0			
	Jour 3	0	0	0			
	Jour 4	0	0	0			
	Jour 5	0	0	0			
	Jour 6	0	0	0			
	Jour 7	0	0	0			
	Jour 8	**1,35024**	0	0	4,9		**33,5**
	Jour 9	0	0	0			
	Jour 10	0	0	0			
	Jour 11	0	0	0			
	Jour 12	0	0	0			
	Jour 13	0	0	0			
	Jour 14						
	Jour 15						
	Jour 16						
	Jour 17						
	Total	2,01471					
	Moyenne				**4,775**		**32,2**

	BD2 Natio						
	Jour	**Tourteau liquide**	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
		Volume (m3)	**Bouse de vache**	**Cendre kg**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 29 Mars au 08 Avril	Jour 1	0	0	0			
	Jour 2	0	0	0			
	Jour 3	0	0	0			
	Jour 4	0	0	0			
	Jour 5	0,3	0	0	4,55		33,4
	Jour 6	0	0	0			
	Jour 7	0	0	0			
	Jour 8	0	0	0			
	Jour 9	0	0	0	4,9		30,7
	Jour 10	0	0	0			
	Jour 11	0	0	0			
	Total	0,3	0	0		0	
	Moyenne				4,725		32,05

- Tests de combustion

	BDG 1 Petit Paris									
	Date	**Compteur**			**Temps de combustion**	**Manomètre (kilopascal)**			**Couleur de la flamme**	**Observation**
		Début	**Fin**	**Différences (m3)**		**Avant Allumage**	**Allumage**	**Fin**		
Du 29 Mars au 18 Avril	Jour 4	151,5132	154,059	2,5458	01:10:00				Bleu	Forte intensité pendant 40 min pour une combustion d'environ 1,6m3 de gaz puis diminution de l'intensité jusqu'à épuisement du gaz
	Jour 9	154,059	155,2059	1,14690	00:52:00				Bleu	Forte intensité du gaz pendant 25 min puis baisse de l'intensité jusqu'à épuisement du gaz
	Jour 11	155,2059	155,8158	0,6099	01:08:00				Bleu orangée	Il a pu être cuit 3kg de riz en 1h03 min et bouilli une quantité environ 1l d'eau en 4min13s
	Jour 18	155,8189	158,7	2,8811	02:28:00				Bleu	Cuisson de 1/2 kg d'haricot
	Total			7,1837	05:38:00					
	Moyenne			1,7959	01:24:30					

	BGD 2 Petit Paris									
	Jour	Compteur			Temps de combustion	Manomètre (kilopascal)			Couleur de la flamme	Observation
		Début	Fin	Différence		Avant Allumage	Allumage	Fin		
Du 29 Mars au 27 Avril	Jour 4	94,9557	94,9557	0	00 :01:33				Orange	Flamme à faible intensité, qui n'a réussi à faire marcher le compteur, Présence d'eau dans la tuyauterie relier au bruleur
	Jour 9	94,9557	94,9557	0	00 :02 :10				Orange	Flamme à faible intensité, qui n'a réussi à faire marcher le compteur
	Jour 11	94,9557	94,9557	0	00 :01:10				Orange	Flamme à faible intensité, qui n'a réussi à faire marcher le compteur
	Jour 18	94,9557	94,9558	0,0001	00 :01:20				Orange	Flamme à faible intensité, qui n'a réussi à faire marcher le compteur
	Total			0,0001	00:06:13					
	Moyenne			2,5E-05	00:01:33					

	BDG 1 Natio									
		Compteur			**Temps de combustion**	**Manomètre (kilopascal)**			**Couleur de la flamme**	**Observation**
		Début	**Fin**	**Différence**		**Avant Allumage**	**Allumage**	**Fin**		
Du 29 Mars au 18 Avril	Jour 4	2,562	2,562	0	00:02:00				Orange	Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur
	Jour 6	2,562	2,562	0	00:05:00				Orange	Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur
	Jour 8	2,562	2,562	0	00:05:00				Orange	Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur
	Jour 9	2,562	2,562	0	00:00:00				Néant	Pas de gaz
	Jour 11	2,562	2,562	0	00:02:00					Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur
	Jour 12	2,562	2,562	0	00:00:00				Néant	Pas de gaz
	Jour 18	2,562	2,562	0	00:05:00				Orange	Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur
	Jour 19	2,562	2,562	0	00:00:00				Néant	Pas de gaz
	Total			0	00:19:00					
	Moyenne			0	00:03:10					

	BDG2 Natio									
	Jour	Compteur			Temps de combustion	Manomètre			Couleur de la flamme	Observation
		Début	Fin	Différence		Avant Allumage	Allumage	Fin		
Du 29 Mars au 08 Avril	Jour 4	1,039	1,039	0	0				Néant	Pas de gaz
	Jour 6	1,039	1,039	0	0				Néant	Pas de gaz
	Jour 8	1,039	1,039	0	0				Néant	Pas de gaz
	Jour 9	1,039	1,039	0	0				Néant	Pas de gaz
	Jour 11	1,039	1,039	0	0				Néant	Pas de gaz
	Total			0						
	Moyenne				0					

ESSAIE D'AMELIORATION DE LA PRODUCTION DE GAZ

- Alimentation des Biodigesteurs

	BDG1 Petit Paris (25%)						
	Jour	Tourteau liquide	Ajout		pH		Température du mélange
		Volume (m3)	Bouse de vache	Cendre	pH initial	pH avec la cendre	
Du 16 avril au 06 mai 2021	Jour 1	0,465	0,1	12,4	4,56	7,25	31,1
	Jour 2	0					
	Jour 3	0					
	Jour 4	0					
	Jour 5	0					
	Jour 6	0					
	Jour 7	0,54	0,18	10	5,08	7,18	28,8
	Jour 8	0					
	Jour 9	0					
	Jour 10	0					
	Jour 11	0					

	Jour 12	0					
	Jour 13	0					
	Jour 14	0					
	Jour 15	0					
	Jour 16	0					
	Jour 17	0					
	Jour 18						
	Jour 19						
	Jour 20						
	Jour 21						
	Total	1,005	0,28	22,4			
	Moyenne				4,82	7,215	29,95

	BDG1 Petit paris (30% de bouse)						
		Tourteau liquide	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
Période	**Jour**	**Volume (m3)**	**Bouse de vache**	**Cendre**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 07 mai au 28 mai	Jour 1	1,005	0,43	35	4,68	7,11	36
	Jour 2						
	Jour 3						
	Jour 4	0					
	Jour 5	0					
	Jour 6	0					
	Jour 7	0					
	Jour 8	0					
	Jour 9						
	Jour 10						
	Jour 11	0	0	0			
	Jour 12	0,75	0,32	16	5,51	7,35	29,4
	Jour 13	0					

	Jour 14	0					
	Jour 15	0					
	Jour 16						
	Jour 17						
	Jour 18	0	0	0			
	Jour 19	0	0	0			
	Jour 20	0	0	0			
	Jour 21	0	0	0			
	Jour 22	0	0	0			
	Jour 23	0,645	0,28	18	5,24	7,27	28,7
	Jour 24	0	0	0			
	Total	2,4	1,03	69			
	Moyenne				5,14	7,24	31,37

	BDG 2 Petit Paris				
		Tourteau liquide	**pH**		**Température du mélange**
	Date	**Volume (m3)**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 16 Avril au 02 mai	Jour 1	0,66	4,6		**33,5**
	Jour 2	0			
	Jour 3	0			
	Jour 4	0			
	Jour 5	0			
	Jour 6	0			
	Jour 7	0			
	Jour 8	0			
	Jour 9	0			
	Jour 10	0			
	Jour 11	0			
	Jour 12	0,615	4,9		**30,9**

	Jour 13	0			
	Jour 14	0			
	Total	2,535			
	Moyenne		4,75		32,2

	BDG1 Natio						
	Jour	**Tourteau liquide**	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
		Volume (m3)	**Bouse de vache m3**	**Cendre kg**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 15 Avril au 02 Mai	Jour 1	**0,80**	**0,08**	16	5,51	**7,05**	**28,4**
	Jour 2	0					
	Jour 3	0					
	Jour 4	0					
	Jour 5	0					
	Jour 6	0					
	Jour 7	0					
	Jour 8	**0,60**	**0,07**	18	4,96	**7,11**	**31**
	Jour 9	0					
	Jour 10	0					
	Jour 11	0					
	Jour 12	0					
	Jour 13	0					
	Jour 14	0					
	Jour 15	0					
	Jour 16	0					
	Jour 17	0					
	Jour 18	0					
	Total	1,41	0,15	34			

	Moyenne				5,235	7,08	29,7

	BDG2 Natio						
	Date	**Tourteau liquide**	**Ajout**		**pH**		**Température du mélange**
		Volume (m3)	**Bouse de vache**	**Cendre kg**	**pH initial**	**pH avec la cendre**	
Du 09 Avril au 02 Mai	Jour 1	0,74	0,35	21	4,51	7,18	31,9
	Jour 2	0					
	Jour 3	0					
	Jour 4	0					
	Jour 5	0					
	Jour 6	0					
	Jour 7	0					
	Jour 8	0					
	Jour 9	0					
	Jour 10	0					
	Jour 11	0					
	Jour 12	**0,95**	**0,41**	18	4,55	**7,25**	**33,1**
	Jour 13	0					
	Jour 14	0					
	Jour 15	0					
	Jour 16	0					
	Jour 17	0					
	Jour 18	0					
	Jour 19	0					
	Jour 20	0					
	Jour 21	0					
	Jour 22	0					

	Jour 23	0					
	Jour 24	0					
	Total	1,68	0,76	39,00			
	Moyenne				4,53	7,215	32,5

- Tests de Combustions

	BDG1 Petit Paris (25% de bouse)									
	Date	Compteur			Temps de combustion	Manomètre (kilopascal)			Couleur de la flamme	Observation
		Début	Fin	Différences (m3)		Avant Allumage	Allumage	Fin		
Du 19 Avril au 09 mai	Jour 1	158,7	160,5756	1,8756	01:55:00	12	10	0	Bleu	
	Jour 2	160,5756	161,5852	1,0096	01:30:00	10	8	0	Bleu	
	Jour 3	161,5852	162,4756	0,8904	01:45:00	5	4	0	Bleu-orangée	
	Jour 4	162,4756	163,4957	1,0201	01:33:00	4	4,5	0	Bleu-orangée	
	Jour 5	163,4957	164,2945	0,7988	00:31:56	3,5	2,5	0	Bleu	
	Jour 6	164,2945	164,8429	0,5484	01:21:00	3,5	1	0	Bleu	L'intensité du feu a été baissée pour permettre la cuisson de 2kg de riz en 45min
	Jour 8	164,8429	167,3547	2,5118	Information non disponible	Information non disponible	Information non disponible	0	Bleu	Le feu a été allumé avant notre arrivée
	Jour 9	167,3547	169,8429	2,4882	02:40:00	9	8,5	0	Bleu	Remarque de la présence de gaz après intinction du feu du bruleur. Le retrait du manomètre a permis d'évacuer le gaz restant en 15 min pour 0,8995
	Jour 10	169,8429	171,1254	1,2825	01:50:00	8	7	0	Bleu	
	Jour 11	171,1254	171,9521	0,8267	01:24:00	5	4	0	Bleu	
	Jour 12	171,9521	172,7243	0,7722	01:38:00	5	4	0	Bleu	
	Jour 13	172,7243	173,3547	0,6304	00:56:49	3,5	1	0	Bleu	

Jour 15	173,3547	176,3598	3,0051	02:45:40	12	11	0	Bleu	
Jour 16	176,3598	177,7895	1,4297	01:50:36	12	11	0	Bleu	
Jour 17	177,7895	178,9861	1,1966	01:36:45	12	10	0	Bleu-orangée	
Jour 18	178,9861	179,8876	0,9015	01:17:39	10	8	0	Bleu-orangée	Présence d'eau (impossibilité d'ouvrir le piège à eau)
Jour 19	179,8876	180,5361	0,6485	00:30:24	8	6		Bleu-orangée	
Jour 20	180,5361	180,9647	0,4286	00:21:00	8	6		Bleu-orangée	
Total			22,2647	23:36:13					
Moyenne			1,2369	01:28:31	7,7	6,3			

	Jour	Compteur			Temps de combustion	Manomètre (kilopascal)			Couleur de la flamme	Observation
		Début	Fin	Différence (m3)		Avant Allumage	Allumage	Fin		
Du 10 mai au 30 Mai	Jour 1	180,9647	181,954	0,9893	00:55:40	12	11	0	Bleu-orangée	
	Jour 2	181,954	182,7545	0,8005	00:50:36	12	11	0	Bleu-orangée	
	Jour 3							0		
	Jour 4	182,7545	184,1095	1,355	01:40:40	10	8	0	Bleu-orangée	
	Jour 5									
	Jour 6									
	Jour 8	184,1095	187,7895	3,68	01:21:14	12	11	0	Bleu-orangée	
	Jour 9	187,7895	189,1247	1,3352	00:54:37	12	10	0	Bleu-orangée	
	Jour 10	189,1247	190,3987	1,274	00:55:54	8	7	0	Bleu-orangée	
	Jour 11	190,3987	191,4875	1,0888	00:50:25	8	7	0	Bleu-orangée	
	Jour 12	191,4875	192,4259	0,9384	00:44:10	8	6		Bleu-orangée	
	Jour 13	192,4259	193,3548	0,9289	00:46:30	7	5		Bleu-orangée	
	Jour 15	193,3548	195,8671	2,5123	01:54:20	12	10	0	Bleu-orangée	
	Jour 16	195,8671	197,1247	1,2576	01:33:37	11	8	0	Bleu-orangée	
	Jour 17	197,1247	198,2578	1,1331	01:00:37	8	7	0	Bleu	
	Jour 18	198,2578	199,3354	1,0776	00:52:20	8	7	0	Bleu	

	Jour 19	199,3354	200,2576	0,9222	00:48:04	8	6		Bleu	
	Jour 20	200,2576	200,9647	0,7071	00:37:49	7	6		Bleu	
	Jour 21	200,9647	201,5248	0,5601	00:20:08	7	6		Bleu	
	Total			19,5708	15:16:05					
	Moyenne			1,3047	01:01:27	9,4	7,9			

	BDG 2 Petit Paris									
	Jour	**Compteur**			**Temps de combustion**	**Manometre (kilopascal)**			**Couleur de la flamme**	**observation**
		Début	**Fin**	**Diférence**		**Avant Alumage**	**Alumage**	**Fin**		
Du 19 Avril au 02 Mai	Jour 1	94,9558	94,9558	0	00:01:03	2	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 2	94,9558	94,9558	0	00:00:45	1,5	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 3	94,9558	94,9558	0	00:00:30	1,5	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 4	94,9558	94,9558	0	00:00:10	0	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 5	94,9558	94,9558	0	00:00:10	0	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 6	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 7									pas de test
	Jour 8	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pas de gaz
	Jour 9	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pas de gaz
	Jour 10	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pas de gaz
	Jour 11	94,9558	94,9558	0	00:00:10	0,5	0	0		Pratiquement pas de gaz
	Jour 12	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pas de gaz
	Jour 13	94,9558	94,9558	0	00:00:00	0	0	0		Pas de gaz, présence d'eau dans la canalisation
	Jour 14									pas de test
	Total				00:02:48					
	Moyenne				00:00:14					

BDG 1 Natio

	Date	Compteur			Temps de combustion	Manomètre (kilopascal)			Couleur de la flamme	Observation
		Début	Fin	Différence(m^3)		Avant Allumage	Allumage	Fin		
Du 19 Avril au 02 Mai	Jour 1	2,562	2,562	0	00:17:20	1	0,5	0	Orange	Faible intensité du gaz qui n'a pu faire tourner le compteur remarque d'une fuite de gaz au niveau de l'écrou du compteur
	Jour 2	2,562	2,562	0	00:10:30	1	0,5	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 3	2,562	2,562	0	00:11:30	1	0,5	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 4	2,562	2,562	0	00:08:20	1	0,5	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 5	2,562	2,562	0	00:05:00	0,5	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 6	2,562	2,562	0	00:05:00	0,5	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 7									Pas de test
	Jour 8	2,562	2,562	0	00:08:44	1	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 9	2,562	2,562	0	00:06:09	1	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 10	2,562	2,562	0	00:05:00	0,5	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 11	2,562	2,562	0	00:05:10	0,5	0	0	Orange	Faible intensité du gaz
	Jour 12	2,562	2,562	0	00:00:00	0	0	0	Neant	Pas de gaz
	Jour 13	2,562	2,562	0	00:00:00	0	0	0	Neant	Pas de gaz
	Jour 14									Pas de test
	Total				01:22:43					
	Moyenne				00:06:54	0,7	0,2			

	BDG2 Natio									
	Jour	**Compteur**			**Temps de combustion**	**Manomètre**			**Couleur de la flamme**	**Observation**
		Début	**Fin**	**Différence**		**Avant Allumage**	**Allumage**	**Fin**		
Du 09 Avril au 02 Mai	Jour 1	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 2	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 4									Pas de tets
	Jour 5									Pas de tets
	Jour 6									Pas de tets
	Jour 7	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 8	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 11	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 12	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 13	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 14	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 15	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 16	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 18	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 19	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 20	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 21	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 22	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Jour 23	1,039	1,039	0	0	0	0	0	Néant	Pas de gaz
	Total			0						
	Moyenne				0					

ANNEXE III. TESTS D'OPTIMISATION

	BDE 1 (100% Tourteau liquide)							
	Date	Quantité de tourteau	Ph	pH avec cendre	Tempé-rature	H cloche	Différence de Hauteur	Observation
Jour 1	11/04/2021	150	4,56		33,7	14,1	0	RAS
Jour 5	15/04/2021	5	5,51		30			RAS
Jour 6	16/04/2021	5	4,51		29,3			RAS
Jour 7	19/04/2021	5	4,73		30,6			RAS
Jour 8	20/04/2021	5	4,55		32,7			RAS
Jour 9	21/04/2021	5	4,6		33,1			RAS
Jour 10	22/04/2021	5	5,08		32,1			RAS
Jour 11	23/04/2021	5	4,86		28,6			RAS
Jour 12	24/04/2021	5	4,77		28,1			RAS
Jour 13	26/04/2021	5	4,85		32,1	15	0,9	RAS
Jour 14	27/04/2021	5	4,96		35,3	15	0,9	RAS
Jour 15	28/04/2021	5	4,84		35,9	15	0,9	RAS
Jour 16	29/04/2021	5	5,24		41,1	15	0,9	RAS
Jour 17	30/04/2021	5	5,47		44,4	15	0,9	RAS
Jour 18	01/05/2021	5	5,47		41,6	15	0,9	RAS
Jour 19	03/05/2021	5	5,01		34,7	15	0,9	RAS
Jour 20	04/05/2021	5	5,16		39,9	15	0,9	RAS
Jour 21	05/05/2021	5	4,8		36,0	15	0,9	RAS
Jour 22	06/05/2021	5	471		34,9	15	0,9	RAS
Jour 23	07/05/2021	5	4,75		38,6	15	0,9	RAS
Jour 24	08/05/2021	5	4,96		41,9	15	0,9	RAS
Jour 25	09/05/2021	5	4,66		38,7	15	0,9	RAS
Jour 26	10/05/2021	5	4,97	7,17	37,4	15	0,9	RAS
Jour 27	11/05/2021	5	4,68	7,21	39,7	15	0,9	RAS
Jour 28	12/05/2021	5	4,56	7,54	41,7	15	0,9	RAS
Jour 29	13/05/2021	10	4,6	7,26	39,7	15	0,9	RAS
Jour 30	14/05/2021							RAS
Jour 31	15/05/2021							RAS
Jour 32	16/05/2021							RAS
Jour 33	17/05/2021	10	4,84	7,34	40,7	15	0,9	RAS
Jour 34	18/05/2021	10	4,76	7,38	38,6	15	0,9	RAS
Jour 35	19/05/2021	5	4,6	7,2	37,8	15	0,9	RAS
Jour 36	20/05/2021	5	4,57	7,41	37,4	15	0,9	RAS
Jour 37	21/05/2021	5	4,96	7,17	27,2	15	0,9	RAS
Jour 38	22/05/2021	5	4,63	7,1	27,7	15	0,9	RAS
Jour 39	24/05/2021	5	5,24	7,07	36,8	15	0,9	RAS
Jour 40	25/05/2021	5	5,3	7,38	27,5	15	0,9	RAS
Jour 41	26/05/2021	5	4,89	7,15	30,8	15	0,9	RAS
Jour 42	27/05/2021	5	4,9	7,05	34,6	15	0,9	RAS

Jour 43	28/05/2021	5	5,4	7,2	29,9	15	0,9	RAS

	BDE 2 (90%Tourteau +10% bouse de vache)									
Jour	**Date**	**Quantité d'alimentation**	**Quantité de tourteau**	**Quantité de bouse de vache**	**Ph**	**Ph après ajout de la cendre**	**Température**	**H cloche**	**Différence de Hauteur**	**Observation**
Jour 1	11/04/2021	150	135	15	4,56	7,09	31,9	19,5	2	RAS
Jour 5	15/04/2021	5	4,5	0,5	5,21	7,21	32,5			RAS
Jour 6	16/04/2021	5	4,5	0,5	4,51	7,11	28			RAS
Jour 7	19/04/2021	5	4,5	0,5	4,73	7,16	30,4			RAS
Jour 8	20/04/2021	5	4,5	0,5	4,55	7,25	32,6			RAS
Jour 9	21/04/2021	5	4,5	0,5	4,6	7,05	325			RAS
Jour 10	22/04/2021	5	4,5	0,5	5,08	7,18	30,9			RAS
Jour 11	23/04/2021	5	4,5	0,5	4,86	7,11	29,7			Fuite répertorié et reparée
Jour 12	24/04/2021	5	4,5	0,5	4,77	7,25	29,9			RAS
Jour 13	26/04/2021	5	4,5	0,5	4,85	7,39	32,7	20,5	1	RAS
Jour 14	27/04/2021	5	4,5	0,5	4,96	7,13	36,8	20,5	1	RAS
Jour 15	28/04/2021	5	4,5	0,5	4,84	7,45	36,2	20,5	1	RAS
Jour 16	29/04/2021	5	4,5	0,5	5,24	7,15	40,2	20,5	1	RAS
Jour 17	30/04/2021	5	4,5	0,5	5,47	7,47	43,8	20,5	1	RAS
Jour 18	01/05/2021	5	4,5	0,5	5,47	7,55	41,5	20,5	1	RAS
Jour 19	03/05/2021	5	4,5	0,5	5,01	7,27	34,7	20,5	1	RAS
Jour 20	04/05/2021	5	4,5	0,5	5,16	7,32	39,4	20,5	1	RAS
Jour 21	05/05/2021	5	4,5	0,5	4,8	7,29	35,6	21	1,5	RAS
Jour 22	06/05/2021	5	4,5	0,5	471	7,4	34,3	21	1,5	RAS
Jour 23	07/05/2021	5	4,5	0,5	4,75	7,21	37,8	21	1,5	RAS
Jour 24	08/05/2021	5	4,5	0,5	4,96	7,34	44,5	21	1,5	RAS
Jour 25	09/05/2021	5	4,5	0,5	4,66	7,14	39,9	21	1,5	RAS
Jour 26	10/05/2021	5	4,5	0,5	4,97	7,17	37,8	21	1,5	RAS
Jour 27	11/05/2021	5	4,5	0,5	4,68	7,21	39,3	21	1,5	RAS
Jour 28	12/05/2021	5	4,5	0,5	4,56	7,54	41	21	1,5	RAS
Jour 29	13/05/2021	10	9	1	4,6	7,26	39,4	21	1,5	RAS
Jour 30	14/05/2021									
Jour 31	15/05/2021									
Jour 32	16/05/2021									
Jour 33	17/05/2021	10	9	1	4,84	7,34	40,2	20,5	1	RAS
Jour 34	18/05/2021	10	9	1	4,76	7,38	36,9	20,5	1	RAS
Jour 35	19/05/2021	5	4,5	1	4,6	7,2	37,8	20,5	1	RAS
Jour 36	20/05/2021	5	4,5	1	4,57	7,41	37,4	20,5	1	RAS
Jour 37	21/05/2021	5	4,5	1	4,96	7,17	27,6	20,5	1	RAS

BDE 2 (50%Eau + 50% panse de vache) test témoin								
Jour	**Date**	**Quantité d'alimentation**	**Quantité de tourteau**	**Ph après ajout de la cendre**	**Température**	**H cloche**	**Différence de Hauteur**	**Observation**
Jour 1	22/05/2021	150	75	-	27,7	20	0	Panse plus eau
Jour 2	24/05/2021	5	2,5	-	36,8	20	0,5	Panse plus eau
Jour 3	25/05/2021	5	2,5	-	27,5	20,3	0,8	Panse plus eau
Jour 4	26/05/2021	5	2,5	-		22,7	3,2	Panse plus eau
Jour 5	27/05/2021	5	2,5	-		24,9	5,4	Panse plus eau
Jour 6	28/05/2021	5	2,5	-		27,5	8	Panse plus eau
Jour 7	29/05/2021	5	2,5	-		31	11,5	Panse plus eau
Jour 8	30/05/2021	5	2,5	-		33,4	13,9	Panse plus eau
Jour 9	31/05/2021					35	15,5	Tests d'inflammabilité : environ 30 min de combustion avec plusieurs rallumage

	BDE 3 (75%Tourteau +25% bouse de vache)									
Jour	**Date**	**Quantité d'alimentation**	**Quantité de tourteau**	**Quantité de bouse de vache**	**Ph**	**Ph après ajout de la cendre**	**Température**	**H Cloche**	**Différence de Hauteur**	**Observation**
Jour 1	11/04/2021	150	112,5	37,5	4,56	7,09	32,9	8	0	
Jour 5	15/04/2021	5	3,75	1,25	5,51	7,21	30,4			
Jour 6	16/04/2021	5	3,75	1,25	4,51	7,11	28,8			
Jour 7	19/04/2021	5	3,75	1,25	4,73	7,16	33			Ajout de 5l d'eau pour déboucher le tuyau d'alimentation
Jour 8	20/04/2021	5	3,75	1,25	4,55	7,25	33,1			
Jour 9	21/04/2021	5	3,75	1,25	4,6	7,05	33,5			
Jour 10	22/04/2021	5	3,75	1,25	5,08	7,18	30,9			
Jour 11	23/04/2021	5	3,75	1,25	4,86	7,11	29,4			
Jour 12	24/04/2021	5	3,75	1,25	4,77	7,25	28,9			
Jour 13	26/04/2021	5	3,75	1,25	4,85	7,39	32,7	10	2	
Jour 14	27/04/2021	5	3,75	1,25	4,96	7,13	36,8	10	2	
Jour 15	28/04/2021	5	3,75	1,25	4,84	7,45	36,2	10	2	
Jour 16	29/04/2021	5	3,75	1,25	5,24	7,15	40,2	10	2	
Jour 17	30/04/2021	5	3,75	1,25	5,47	7,47	43,8	11	3	Odeur de gaz mais pas de gaz inflammable
Jour 18	01/05/2021	5	3,75	1,25	5,47	7,55	41,5	10	2	
Jour 19	03/05/2021	5	3,75	1,25	5,01	7,27	37,7	10	2	
Jour 20	04/05/2021	5	3,75	1,25	5,16	7,32	40,7	10	2	
Jour 21	05/05/2021	5	3,75	1,25	4,8	7,29	35,6	10	2	
Jour 22	06/05/2021	5	3,75	1,25	471	7,4	33,5	10	2	

Jour 23	07/05/2021	5	3,75	1,25	4,75	7,21	37,8	10	2	
Jour 24	08/05/2021	5	3,75	1,25	4,96	7,34	44,5	10	2	
Jour 25	09/05/2021	5	3,75	1,25	4,66	7,14	39,9	10	2	
Jour 26	10/05/2021	5	3,75	1,25	4,97	7,17	37,8	10	2	
Jour 27	11/05/2021	5	3,75	1,25	4,68	7,21	39,3	10	2	
Jour 28	12/05/2021	5	3,75	1,25	4,56	7,54	41,4	10	2	
Jour 29	13/05/2021	10	7,5	2,5	4,6	7,26	38,5	10	2	
Jour 30	14/05/2021									Pas d'alimentation
Jour 31	15/05/2021									
Jour 32	16/05/2021									
Jour 33	17/05/2021	10	7,5	2,5	4,84	7,34	41,7	10	2	Présence de fuite sur le socle
Jour 34	18/05/2021	10	7,5	2,5	4,76	7,38	38,9	10	2	
Jour 35	19/05/2021	5	3,75	1,25	4,6	7,2	37,4	10,5	2,5	
Jour 36	20/05/2021	5	3,75	1,25	4,57	7,41	37,9	10,5	2,5	
Jour 37	21/05/2021	5	3,75	1,25	4,96	7,17	27,9	10,7	2,7	
Jour 38	22/05/2021	5	3,75	1,25	4,63	7,1	28,7	11	3	
Jour 39	24/05/2021	5	3,75	1,25	5,24	7,07	36,9	11,7	3,7	
Jour 40	25/05/2021	5	3,75	1,25	5,3	7,38	27,4	11,5	3,5	
Jour 41	26/05/2021	5	3,75	1,25	4,89	7,15	31	11	3	
Jour 42	27/05/2021	5	3,75	1,25	4,9	7,05	33,1	11,5	3,5	
Jour 43	28/05/2021	5	3,75	1,25	5,4	7,2	30,2	12	4	Test d’inflammabilité

	BDE 4 (60%Tourteau +40% bouse de vache)									
Jour	**Date**	**Quantité d'alimentation**	**Quantité de tourteau**	**Quantité de bouse de vache**	**Ph**	**Ph après ajout de la cendre**	**Température**	**H Cloche**	**Différence de Hauteur**	**Observation**
Jour 1	20/04/2021	150	90	60	4,55	7,25	32,7	17,5	0	
Jour 2	21/04/2021	5	3	2	4,6	7,05	33,1			
Jour 3										
Jour 4	22/04/2021	5	3	2	5,08	7,18	32,1			
Jour 5	23/04/2021	5	3	2	4,86	7,11	28,6			
Jour 6	24/04/2021	5	3	2	4,77	7,25	28,1			
Jour 7	26/04/2021	5	3	2	4,85	7,39	33,5	22	4,5	
Jour 8	27/04/2021	5	3	2	4,96	7,13	34,2	22	4,5	
Jour 9	28/04/2021	5	3	2	4,84	7,45	36,3	22,5	5	
Jour 10	29/04/2021	5	3	2	5,24	7,15	40,9	23	5,5	
Jour 11	30/04/2021	5	3	2	5,47	7,47	44,1	23,7	6,2	5 min de combustion faible et entrecoupée, pression nulle
Jour 12	01/05/2021	5	3	2	5,47	7,55	41,2	18	0,5	
Jour 13	03/05/2021	5	3	2	4,85	7,27	34,4	18	0,5	
Jour 14	04/05/2021	5	3	2	5,01	7,32	39,7	18,5	1	
Jour 15	05/05/2021	5	3	2	5,16	7,29	36,4	19	1,5	
Jour 16	06/05/2021	5	3	2	4,8	7,4	34,4	19	1,5	
Jour 17	07/05/2021	5	3	2	471	7,21	37,4	19	1,5	
Jour 18	08/05/2021	5	3	2	4,96	7,34	39,8	21,5	4	
Jour 19	09/05/2021	5	3	2	4,66	7,14	37,8	22,1	4,6	
Jour 20	10/05/2021	5	3	2	4,97	7,17	36,4	23,5	6	6 min de combustion faible
Jour 21	11/05/2021	5	3	2	4,68	7,21	38,5	18	0,5	
Jour 22	12/05/2021	5	3	2	4,56	7,54	42	18	0,5	
Jour 23	13/05/2021	10	6	4	4,6	7,26	39,5	18	0,5	

Jour 24	14/05/2021									
Jour 25	15/05/2021									
Jour 26	16/05/2021									
Jour 27	17/05/2021	10	6	4	4,84	7,34	40,7	19	1,5	
Jour 28	18/05/2021	10	6	4	4,76	7,38	38	19	1,5	
Jour 29	19/05/2021	5	3	2	4,6	7,2	37,6	21	3,5	
Jour 30	20/05/2021	5	3	2	4,57	7,41	38,1	21,3	3,8	
Jour 31	21/05/2021	5	3	2	4,96	7,17	27,6	21,5	4	
Jour 32	22/05/2021	5	3	2	4,63	7,1	28,5	22	4,5	
Jour 33	24/05/2021	5	3	2	5,24	7,07	36,8	22	4,5	
Jour 34	25/05/2021	5	3	2	5,3	7,38	27,5	23,2	5,7	
Jour 35	26/05/2021	5	3	2	4,89	7,15	30,5	24	6,5	
Jour 36	27/05/2021	5	3	2	4,9	7,05	33	24,9	7,4	
Jour 37	28/05/2021	5	3	2	5,4	7,2	29,9	25,5	8	Test d'inflammabilité environ 15 min de combustion

ANNEXE IV : VALORISATION DU DIGESTAT

SITE DE MARAICHAGE

Jour après semis	Planche	Plant	Ajout	Etat	Longueur des tiges (Cm)	Couleur des feuilles	Nombre de fruits recoltés
0	Témoin	1	Eau	RAS	RAS	RAS	0
		2	Eau	RAS	RAS	RAS	0
		3	Eau	RAS	RAS	RAS	0
		4	Eau	RAS	RAS	RAS	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%	RAS	RAS	RAS	0
	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%	RAS	RAS	RAS	0
		2	Digestat dosé a 20%	RAS	RAS	RAS	0
		3	Eau	RAS	RAS	RAS	0
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%	RAS	RAS	RAS	0
		2	Digestat dosé a 50%	RAS	RAS	RAS	0
7	Témoin	1	Eau	Germé	RAS	Vertes	0
		2	Eau	Germé	RAS	Vertes	0
		3	Eau	Germé	RAS	Vertes	0
		4	Eau	Germé	RAS	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%	Germé	RAS	Vertes	
	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%	Germé	RAS	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 20%	Germé	RAS	Vertes	0
		3	Eau	Germé	RAS	Vertes	0
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%	Germé	RAS	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 50%	Germé	RAS	Vertes	0
14	Témoin	1	Eau	RAS	RAS	Vertes	0
		2	Eau	RAS	RAS	Vertes	0
		3	Eau	RAS	RAS	Vertes	0
		4	Eau	RAS	RAS	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%	RAS	RAS	Vertes	0
	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%	RAS	RAS	Vertes	0

		2	Digestat dosé a 20%	RAS	RAS	Vertes	0
		3	Digestat dosé a 20%	RAS	RAS	Vertes	0
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%	RAS	RAS	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 50%	RAS	RAS	Vertes	0
21	Témoin	1	Eau	RAS	14,3	Vertes	0
		2	Eau	RAS	17,5	Vertes	0
		3	Eau	RAS	13,8	Vertes	0
		4	Eau	RAS	16	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%		11,4	Verte	0
	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%		17,5	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 20%		15,1	Vertes	0
		3	Digestat dosé a 20%		19,7	Vertes	
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%		18,5	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 50%		16,4	Vertes	0
28	Témoin	1	Eau		17,1	Vertes	0
		2	Eau		21	Vertes	0
		3	Eau		17,9	Vertes	0
		4	Eau		18,6	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%		12,7	Jaunissement des feuilles	0
	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%		21,9	Vertes	0
		2	Digestat dosé a 20%		20,6	Vertes	0
		3	Digestat dosé a 20%		23,8	Vertes	0
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%		23,5	Jaunissement des feuilles	0
		2	Digestat dosé a 50%		19,5	Verte	0
35	Témoin	1	Eau + Engrais		20,3	Vertes	0
		2	Eau + Engrais		26,5	Vertes	0
		3	Eau + Engrais		22,5	Vertes	0
		4	Eau + Engrais		20,7	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Digestat dosé a 10%		12,7	Assechées	0

	20 % de digestat	1	Digestat dosé a 20%		31,4	Jaunissement des feuilles	0
		2	Digestat dosé a 20%		25,6	Jaunissement des feuilles	0
		3	Digestat dosé a 20%		25	Vertes	0
	50 % de digestat	1	Digestat dosé a 50%		35,9	Jaunissement des feuilles	0
		2	Digestat dosé a 50%		24,7	Jaunissement des feuilles	0
42	Témoin	1	Eau		27,5	Vertes	0
		2	Eau		32,9	Vertes	0
		3	Eau		29,9	Vertes	0
		4	Eau		27	Vertes	0
	10 % de digestat	1	Eau		0	-	0
	20 % de digestat	1	Eau		52,9	Jaunissement des feuilles	0
		2	Eau		44,5	Jaunissement des feuilles	0
		3	Eau		47,6	Jaunissement des feuilles	0
	50 % de digestat	1	Eau		57,4	Jaunissement des feuilles	0
		2	Eau		51,3	Jaunissement des feuilles	0
49	Témoin	1	Eau		42,5	Jaunissement de quelques feuilles	1
		2	Eau		57,3	Jaunissement de quelques feuilles	1
		3	Eau		49,5	Vertes	1
		4	Eau		44,7	Jaunissement de quelques feuilles	0
	10 % de digestat	1	Eau		0	-	0
	20 % de digestat	1	Eau		52,9	Jaune en majorité	2
		2	Eau		44,5	Jaune en majorité	1
		3	Eau		47,6	Jaune en majorité	0
	50 % de digestat	1	Eau		75,9	Jaunes	
		2	Eau		73,6	Jaunes	
56	Témoin	1	Eau		62,5	Jaunissement des feuilles	2
		2	Eau		57,3	Jaunissement des feuilles	1
		3	Eau		49,5	Jaunissement des feuilles	1
		4	Eau		44,7	Jaunissement des feuilles	3

	10 % de digestat	1	Eau		0	-	0
	20 % de digestat	1	Eau		69,1	Jaune en majorité	0
		2	Eau		57,5	Jaune en majorité	2
		3	Eau		57,1	Jaune en majorité	1
	50 % de digestat	1	Eau		105,9	Jaunes et asséchées	
		2	Eau		94,6	Jaunes et asséchées	

ANNEXE V : QUELQUES IMAGES

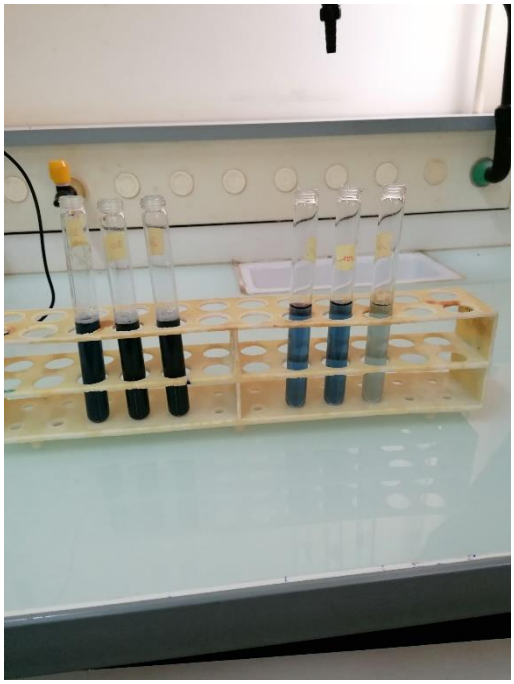
Fosse de transition du digestat

Fosse de sortie du digestat

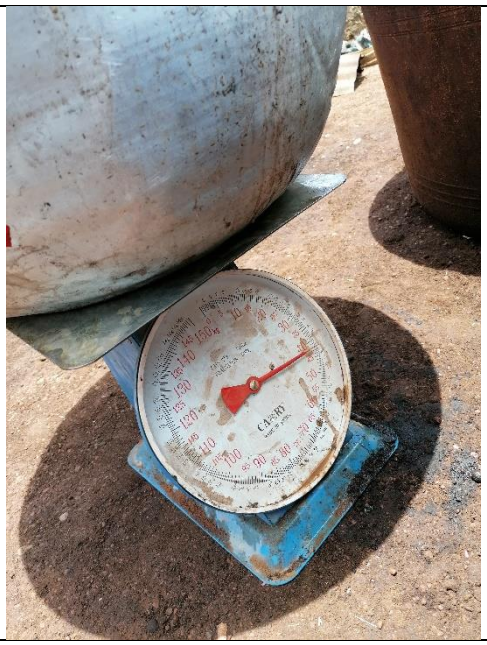
Liaison entre les bacs de décantation et le bac d'alimentation

Bacs de décantation

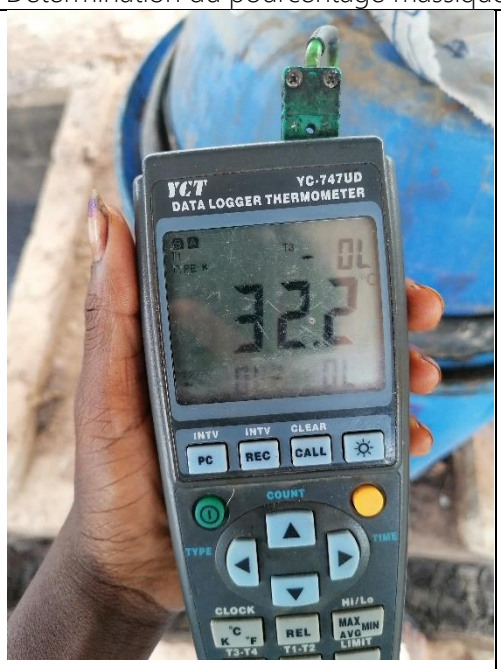
Mise en place de la cuve (dôme) du biodigesteur (photo de terrain prise par DAO Ouattara)



Analyse des échantillons au Laboratoire



Determinaion Détermination du pourcentage massique des différentes phases de décantation



Mesure de la température à l'aide d'un thermomètre à sonde

Mesure du pH à l'aide d'un pHmetre

Prise de la taille des plants

Ajout de l'engrais pour la planche témoin

Plantes 42 jours apres sémis site de maraichage arrosé avec 20% de digestat.

Plantes 49 jours apres sémis site de Natio avec pour ajout l'engrais chimique.

Apparition des premiers fruits (site de maraichage)

Pesée des premiers fruits

Charbon de tourteau utilisée par les bénéficiaires (Petit Paris)

Préparation de riz à partit du biogaz (Petit Paris)

Installation d'un hangar de protection des bruleurs sur le site de Natio.