

Effet de *Salvinia natans* (L.) All. sur la production de gaz méthane par la digestion anaérobie des déchets organiques solides d'origine ménagère en régimes mésophile et thermophile

Diansambu M.I.¹, Cibinda. M.C.²

(1) École Régionale post-universitaire d'Aménagement et de Gestion intégrée des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT)
e- mail : isaacdiansambu@yahoo.fr

(2) Université de Kinshasa, B.P. 15.373, Kinshasa, République Démocratique du Congo

Résumé

La biométhanisation en régimes mésophile et thermophile des déchets organiques d'origine ménagère a été étudiée en laboratoire. Pour augmenter l'activité des micro-organismes, une substance riche en populations microbiennes (inoculum) a été introduite dans les digesteurs. La bouse de vache extraite du rumen d'une vache fraîchement abattue a constitué notre inoculum. Deux expériences ont été menées pendant six mois dont chacune était constituée de deux digesteurs. La première a été constituée des digesteurs D1E (inoculum + déchets organiques d'origine ménagère) et D2E (inoculum + déchets organiques d'origine ménagère + *Salvinia natans* (L.) All.) soumis à un régime mésophile, entre 27°C et

29°C. La deuxième a été constituée des digesteurs D1I (inoculum + déchets organiques d'origine ménagère) et D2I (inoculum + déchets organiques d'origine ménagère + de *Salvinia natans* (L.) All.) placés dans une enceinte chauffée, entre 55°C et 60°C. Les digesteurs alimentés de déchets organiques solides et de *Salvinia natans* (L.) All. ont montré une performance remarquable en production totale de biogaz par rapport aux autres. Après six mois d'expérience, le digesteur D2I a produit plus de biogaz que les autres digesteurs. Soit 270 litres de biogaz contre 75 litres de biogaz pour D1I, 100 litres de biogaz pour D2E et 40 litres de biogaz pour D1E.

Mots clés : biogaz, bouse, mésophile, thermophile, biométhanisation, inoculum, digesteur

Abstract

Anaerobic digestion in mesophilic and thermophilic systems of organic waste from households was attempted in the laboratory. To increase the activity of micro-organisms, a substance rich in microbial populations (inoculums) was introduced in the digesters. Cow dung extracted from the rumen of a freshly slaughtered cow made our inoculums. Two experiences were conducted for six months, each consisted of two digesters. The first was established digesters D1E (inoculum + organic waste from households) and D2E (inoculum + organic waste from households *Salvinia natans* + (L.) All., Subject to a system mesophilic (27°C-29°C). The

second was also made digesters D1I (inoculum + organic waste from households) and D2I (inoculums organic waste from households + *Salvinia natans* (L.) All., placed in the heated chamber (55°C-60°C). Fed digesters of organic solid waste and *Salvinia natans* (L.) showed remarkable performance in total biogas comparing to others. After six months of experience, the digester D2I has produced more biogas than other digesters. 270 liters biogas, against 75 liters biogas to D1I, 100 liters biogas to D2E and biogas 40 liters to D1E.

Keywords: biogas, cow dung, anaerobic, mesophilic, thermophilic, anaerobic digestion, inoculum, digester

1. Introduction

La vie de l'humanité est tellement liée à la production des déchets qu'il serait utopique de penser consommer sans produire des déchets qui, malheureusement, ne

sont pas sans impact sur la source, le cadre de vie qui est le bien précieux de la collectivité et qui est plus que menacé à savoir l'environnement (Kapepula, 1995).

La gestion des déchets est complexe et nécessite une mise en œuvre d'un plan d'action intégré qui prend en charge les déchets depuis la production jusqu'à la destination finale (Lelo, 1998).

L'une des solutions pour la gestion des déchets organiques consiste en leur valorisation dans une filière énergétique. Des procédés thermo-chimiques telles que la combustion, la pyrolyse, la gazéification peuvent être utilisés pour les déchets urbains ou forestiers secs, et font partie des procédés physico-chimiques. Ceux-ci exigent des températures et pressions du monde vivant, donc à bas coût d'énergie. La méthanisation est un procédé biologique, intéressante surtout pour des déchets à teneur en matière solide inférieure à 30% telles que les ordures ménagères (Drevon et Thery, 1977 ; Demeyer et al, 1982).

Hormis l'intérêt principal et essentiellement environnemental relatif à tout traitement des déchets à savoir la dépollution et la réduction du volume et de la masse des déchets organiques, la dégradation anaérobie de la matière organique revêt plusieurs autres intérêts. En effet, sur le plan énergétique elle dépollue en stabilisant les déchets, après production d'une énergie peu polluante et renouvelable. Le biogaz ainsi produit peut être utilisé comme tel ou transformé en électricité. Sur le plan agricole cette dégradation peut donner, après une phase de maturation aérobie, un amendement organique, capable d'assurer le renouvellement de l'humus ou l'accroissement de la fertilité (Verstraete, 1996 ; Campbell et Laherrere, 1998). La production de méthane et amendement a non seulement une valeur considérable en soi, mais illustre aussi un potentiel plus général de mise en valeur des déchets organiques. Dans cet ensemble d'objectifs conjoints énergie, amendement organique, santé, il est difficile de mesurer la combinaison des avantages, variables sans doute selon les lieux, selon les points de vue individuel et collectif et selon les horizons de planification (Drevon et Thery, 1977).

La quantité de biogaz produit à partir d'un substrat donné dépend de la composition chimique de celui-ci (Buswel, 1965 ; Demuynck et al, 1987). La production du méthane sera d'autant plus élevée que la matière avec laquelle on approvisionne le fermenteur est plus

riche en cellulose comme l'essentiel des déchets organiques biodégradables (Demeyer et al, 1972). La méthanisation peut se dérouler dans une large gamme de température, allant de 2°C (dans des sédiments marins) jusqu'à 100°C près des cheminées volcaniques (Chynoweth et Pullammanappallil, 1996). Actuellement, on distingue trois zones de températures : une zone psychrophile entre 10°C et 20°C (Leclerc et al., 1988), une zone mésophile entre 20 et 40°C et une zone thermophile entre 45 et 65°C (Demuynck et al, 1987).

Salvinia natans (L.) All est une plante exclusivement flottante dans les eaux douces, à multiplication végétative très active. C'est une plante qui pousse rapidement si elle dispose de nutriments et de lumière en quantité suffisante. En République Démocratique du Congo, *Salvinia natans (L.) All* est particulièrement abondante dans les eaux douces stagnantes. La culture n'est pas encore à la mode mais elle envahit le plan d'eau jusqu'à couvrir tout l'espace qui lui est donné. Cette plante présente particulièrement un intérêt socio-économique, elle est employée comme engrais vert à l'état frais ou sec pour fertiliser le sol dans le domaine de l'agriculture. Elle est également utilisée comme aliment pour bétail particulièrement le porc et le lapin. Cette plante offrirait donc un intérêt économique-écologique particulier et mériterait qu'une attention particulière lui fût accordée. (Diansambu, 2007). Comme dans tous les processus biologiques, le degré d'activité augmente avec une élévation de température (Stafford et al, 1979), il double pour chaque élévation de 10°C en deçà d'une température critique d'environ 70°C. Cet article propose d'étudier au niveau du laboratoire, les paramètres d'optimisation de production de biogaz dans des conditions contrôlées, en régimes mésophile et thermophile, par l'ajout des déchets organiques solides d'origine ménagère et de plante aquatique riche en sels minéraux, *Salvinia natans (L.) All* en proportions croissantes.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Préparation de l'inoculum

La bouse extraite du rumen d'une vache fraîchement abattue et immédiatement pressée pour faire partir

l'excès d'eau a servi d'inoculum dans les différentes expériences. L'inoculum a été d'abord placé en prédigestion pendant 5 jours avant la première alimentation.

Tableau 1 : Caractéristiques de l'inoculum utilisé

Bouse	Teneur en %		pH
	Matière sèche	Cendres	
Inoculum	12,68±0,13	2,42±0,03	6,93±0,11

2.2. Déchets d'alimentation

Les déchets organiques d'origine ménagère traités en anaérobiose étaient essentiellement composés des restes non comestibles de légumes couramment consommés à Kinshasa. Après découpage en petits morceaux de 0.5 cm environ, les déchets organiques solides d'origine ménagère et/ou la plante aquatique *Salvinia natans (L.) All* étaient introduits dans les digesteurs en proportions de 1/100 par rapport au poids de l'inoculum de départ tous les sept jours tant pour les déchets organiques solides que pour *Salvinia natans (L.) All*. Pour les digesteurs D2E et D2I, l'alimentation de 1/100 était faite en une proportion de 50% déchets et 50% *Salvinia natans (L.) All*.

2.3. Digesteurs et enceinte conditionnée

Les digesteurs utilisés étaient des fermenteurs de cinq litres. Chaque fermenteur était constitué d'un bocal en verre (Peticlere, 1985) dont le bouchon en caoutchouc possédait une ouverture équipée d'un conduit reliant le fermenteur à une colonne graduée plongée dans une solution d'eau légèrement acidifiée afin d'éviter la solubilisation du CO₂ dégagé.

La lecture de la quantité de biogaz était faite directement à partir de la colonne. L'enceinte conditionnée était construite en bois et en verre. Deux ampoules de 100 watts allumées ont servi de source de chaleur. Un thermomètre à maxima et minima était placé à l'intérieur pour suivre l'évolution de la température.

Deux expériences ont été menées pendant six mois. La première a été réalisée en condition mésophile et la seconde en condition thermophile. Deux digesteurs ont été soumis à un régime mésophile, à savoir D1E (1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques d'origine ménagère) et D2E (1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange de déchets organiques et de *Salvinia natans (L.) All*). Deux autres digesteurs ont été soumis à un régime

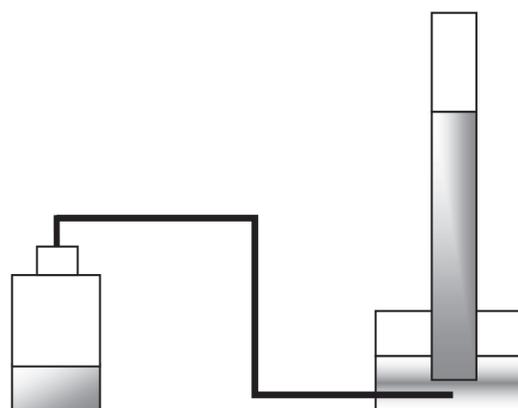


Figure 1 : Schéma du digesteur anaérobie

thermophile dans une enceinte conditionnée D1I (1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques d'origine ménagère) et D2E (1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange de déchets organiques et de *Salvinia natans (L.) All*).

2.4. Paramètres analysés

Pendant l'évolution de ces digesteurs, différents paramètres ont été suivis :

- Les taux des matières sèches et des cendres ont été déterminés suivant la méthode de Greenberg et al, (1992), à l'aide d'une balance Mettler AE 100 de précision 0,0001 mg et d'un four programmable de marque Nabertherm.
- Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque ORION RESEARCH Analyser/model 407 A.
- Les températures ambiante et dans l'enceintes conditionnée avaient été suivies à l'aide de deux thermomètres à maxima et à minima. La température ambiante avait été prélevée à l'aide d'un thermomètre à maxima et minima.
- La mesure de la conductivité a été réalisée à l'aide d'un conductimètre ITDS METER (HACH 44600-00).
- La détermination du taux d'humidité a été effectuée selon la technique ASTM (De Groote) qui consiste à peser l'échantillon dans une capsule en verre tarée au préalable et le tout placé dans l'étuve à 105°C. Après 24 heures, la capsule est retirée de l'étuve et refroidie dans un dessiccateur avant d'être pesée. La perte en poids de l'échantillon frais permet de déduire l'humidité.

- Le calcium, le phosphore total et le fer ont été déterminés selon les méthodes de Hollebosch et al., 1986 ; Mbemba et Remacle, 1992).
- L'azote a été déterminé par la méthode de KJELDAHL (Yengula et al., 1990), à l'aide d'une rampe à six postes de marque GERHARDT. L'expression des résultats est la suivante :
- Les dosages de cuivre, Plomb, zinc, cadmium, nickel, chrome, potassium, magnésium, sodium, azote et phosphore ont été réalisés suivant la méthode de Greenberg et al., 1992.
- Le dosage du titre alcalimétrique complet (TAC) s'est fait selon les normes Françaises de juillet 1977(Dilallo et Albertron, 1961, cité par Edeline (1988).
- Les acides gras volatils(AGV) ont été dosés par la soude. Il s'est agit d'une analyse simple et rapide mais peu sélective des AGV.

3. Résultats

3.1. Evolution des pH et des températures des substrats placés dans les digesteurs D1E, D2E, D1I et D2I

Avec : D1E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime mésophile ; D2E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange en proportions croissantes de déchets organiques et *Salvinia natans (L.) All.*, puis soumis à un régime mésophile ; D1I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement

des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée ; D2I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques et de *Salvinia natans (L.) All.* et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée.

3.2. Production Totale en Biogaz (PTB) en litre des digesteurs D1E, D2E, D1I et D2I pendant les six mois par rapport .

Avec : D1E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime mésophile ; D2E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange en proportions croissantes de déchets organiques et *Salvinia natans (L.) All.*, puis soumis à un régime mésophile ; D1I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée ; D2I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques et de *Salvinia natans (L.) All.* et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée.

La figure 2 montre l'évolution de la production de biogaz dans les digesteurs par rapport aux facteurs endogène et exogène influant sur la fermentation en cours. D2I arrive en tête avec une PTB de 270 litres de biogaz, suivi de D2E avec une PTB de 100 litres de biogaz, suivi de D1I avec une PTB de 75 litres de biogaz et enfin de D1E avec une PTB de 40 litres de biogaz.

Tableau 2 : Evolution des pH et des températures des substrats placés dans les digesteurs D1E, D2E, D1I et D2I

Digesteur	Paramètre	Mois						Moyenne mensuelle
		1	2	3	4	5	6	
D1E	pH	6.90±0.02	8.00±0.03	7.90±0.03	7.40±0.02	6.40±0.05	6.30±0.05	7.40±0.05
	T° (°C)	25.50±0.05	24.50±0.03	25.00±0.02	27.00±0.03	28.00±0.03	28.00±0.05	26.33±0.03
D2E	pH	6.92±0.01	7.60±0.02	7.20±0.03	7.10±0.01	7.50±0.05	7.40±0.04	7.48±0.04
	T° (°C)	25.50±0.02	24.50±0.02	25.00±0.02	27.00±0.01	28.00±0.05	28.00±0.02	26.33±0.04
D1I	pH	6.80±0.02	7.40±0.02	7.30±0.01	7.2±0.03	8.00±0.03	8.70±0.02	7.56±0.02
	T° (°C)	55±0.01	56±0.02	56±0.02	57±0.02	56±0.03	57±0.02	56.16±0.03
D2I	pH	6.90±0.02	7.20±0.01	7.80±0.01	7.40±0.02	7.50±0.01	7.10±0.01	7.30±0.02
	T° (°C)	55±0.01	56±0.01	56±0.01	57±0.01	56±0.02	57±0.02	56.16±0.02

3.3. Teneurs (en %) en matière sèche, en cendres et en acides gras volatils (AGV) de digesteurs

Tableau 3 : Teneur (en %) en matières sèches, en cendres et en acides gras volatils de digesteurs en comparaison à celle de la bouse

Digesteur	Teneur (en %)		AGV (mg/Kg)
	Matière sèche	Cendres	
D1E	26.99±0.002	6.74±0.003	374±0,2
D2E	32.41±0.03	8.05±0.004	385±0,2
D1I	27.71±0.004	6.69±0.002	347±0,2
D2I	34.42±0.003	8.43±0.002	365±0,2
Bouse	5.28±0.035	1.57±0.040	325±0,2

Avec :

D1E = digesteur ayant reçu 1000 grammes de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime mésophile ; D2E = digesteur ayant reçu 1000 grammes de bouse de vache et alimenté avec un mélange en proportions croissantes de déchets organiques et *Salvinia natans (L.) All.*, puis soumis à un régime mésophile ; D1I = digesteur ayant reçu 1000 grammes de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime thermophile

dans l'enceinte chauffée ; D2I = digesteur ayant reçu 1000 grammes de bouse de vache et alimenté des déchets organiques et de *Salvinia natans (L.) All.* et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée.

Le tableau 3 montre que le taux de matières sèches de tous les digesteurs se situe dans la zone de 14 % à 34%, ce qui traduit les conditions solides dans un profil de fermentation neutre, pour des proportions acceptables en acides gras volatils, c'est-à-dire entre 200 mg/l à 700 mg/l (Lagrange, 1979).

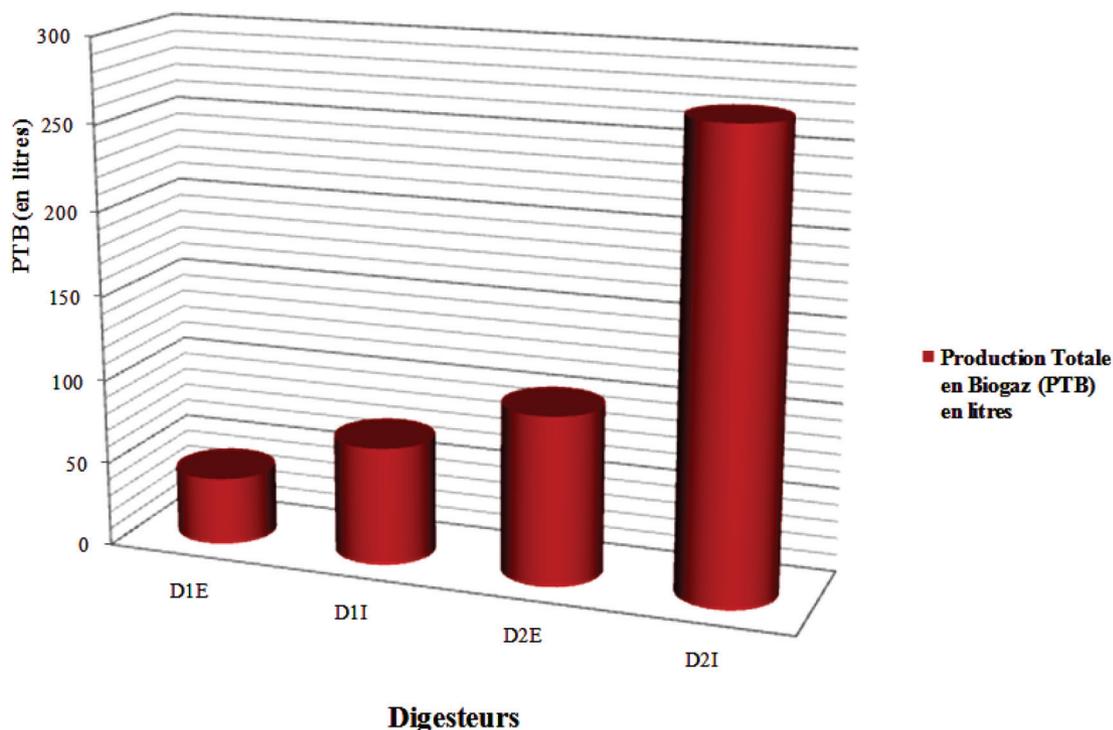


Figure 2 : Evolution des pH et des températures des digesteurs D1E, D2E, D1I et DEI

3.4. Teneurs des minéraux (en mg/Kg MS) dans les digesteurs

Avec :

D1E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime mésophile ; D2E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange en proportions croissantes de déchets organiques et *Salvinia natans* (L.) All., puis soumis à un régime mésophile ; D1I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée ; D2I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques et de *Salvinia natans* (L.) All. et placé dans l'enceinte chauffée.

Il se dégage des données du tableau 4 que les digesteurs et la bouse contenaient des taux assez élevés de métaux lourds sauf le cobalt (Co) et le chrome. En plus les grandes proportions sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le Potassium (K) et le sodium (Na). Selon plusieurs auteurs (Lagrange, 1979 ; Demeyer et al, 1982 ; Oremland, 1996), le rapport C/N était

bon pour tous les digesteurs, l'optimum de 25 selon Verstraete (1996) étant atteint par les digesteurs.

Avec :

D1E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime mésophile ; D2E = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté avec un mélange en proportions croissantes de déchets organiques et *Salvinia natans* (L.) All., puis soumis à un régime mésophile ; D1I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté uniquement des déchets organiques d'origine ménagère et soumis à un régime thermophile dans l'enceinte chauffée ; D2I = digesteur ayant reçu 1kg de bouse de vache et alimenté des déchets organiques et de *Salvinia natans* (L.) All. et placé dans l'enceinte chauffée.

Le tableau 5 montre également que le jus était plus riche en phosphore mais aussi très pauvre en fer et en calcium que les digesteurs (D1E, D2E, D1I et D2I), alors que les digesteurs DE1 et D2E contenaient plus de phosphore, de fer et de calcium que leurs homologues (D1I et D1E).

Tableau 4 : Dosage des minéraux (mg/Kg MS) dans les digesteurs en fin d'incubation en comparaison avec la bouse

Digesteur	D1E	D2E	D1I	D2I	Bouse
Pb	1,43±0.03	1,47±0.02	1,41±0.01	1,45±0.02	1,69±0.01
Zn	13,82±0.02	13,87±0.02	13,52±0.02	14,54±0.02	8,52±0.02
Cu	1,25±0.04	1,27±0.02	1,29±0.01	1,31±0.01	1,02±0.02
Cd	0,14±0.01	0,13±0.02	0,15±0.02	0,16±0.01	0,10±0.01
Ni	0,52±0.01	0,54±0.01	0,54±0.01	0,55±0.02	0,99±0.01
Cr	0,28±0.01	0,27±0.01	0,22±0.02	0,24±0.02	0,12±0.02
Co	0,02±0.01	0,01±0.01	0,02±0.01	0,02±0.01	0,01±0.02
Mn	32,13±0.02	32,08±0.03	33,04±0.02	32,45±0.04	13,12±0.04
Ca 2+	845,11±0.05	887,13±0.02	897,25±0.02	899,78±0.04	321,14±0.03
Mg2+	358,47±0.06	389,14±0.03	784,17±0.02	798,89±0.04	201,14±0.04
K+	1472,17±0.05	1547,18±0.02	1857,14±0.03	1789,16±0.04	213,26±0.03
Na +	2584,25±0.04	2654,11±0.04	2784,35±0.04	2879,16±0.04	254,14±0.03
C/N	24,98±0.1	25,19±0.04	27,16±0.04	26,29±0.04	31,65±0.04

Tableau 5 : Dosage des minéraux dans les digesteurs en fin d'incubation en comparaison avec le jus de la bouse

Digesteur	Unité	Minéral		
		Ca	Fe	P
D1E	mg/100g MS	350.20±0.05	75.50±0.03	193.90±0.02
D2E	mg/100g MS	588.18±0.04	200.50±0.05	230.90±0.02
D1I	mg/100g MS	352.40±0.05	76.10±0.03	197.60±0.03
D2I	mg/100g MS	595.20±0.05	205.6±0.05	239.50±0.04
Jus	mg/100g MS	95.20±0.05	15.20±0.05	595.20±0.05

4. Discussion

En dehors de D1E (tableau 1), les pH des digesteurs ne sont pas en dessous de la valeur critique de 6,4 (Edeline, 1988). Une baisse de pH vers cette valeur de pH est observée dans le digesteur D1E au sixième mois. Les pH des digesteurs D1E et D1I se sont retrouvés entre 6.8 et 9, cela peut être du soit à une concentration excessive de certains nutriments comme le phénol, les sels des métaux lourds et autres qui ont eu comme conséquence l'inhibition répétitive de l'activité métabolique des bactéries méthanigènes par perturbation de leur croissance normale ou soit à une libération d'une majorité d'acides gras volatils par les bactéries acidogènes à la phase acide (Speece, 1987).

Après six mois d'expérience (figure 2), D2I a produit plus de biogaz que les autres digesteurs. Soit 270 litres de biogaz/Kg de substrat pour D2I contre 75 litres de biogaz/Kg de substrat pour D1I, 100 litres de biogaz /Kg de substrat pour D2E et 40 litres de biogaz /Kg de substrat pour D1I. Néanmoins, il a été observé une baisse de pH vers la valeur critique dans le digesteur D1E au sixième mois avec un arrêt de production de biogaz (Mc Carty et Mc Kinney, 1961). Ceci n'est pas le cas lorsque le pH approche l'alcalinité tel qu'observé dans le digesteur D1I. Le manque de production observée dans les premiers jours dans les digesteurs malgré le pH favorable, pourrait être expliqué par le temps d'acclimatation et par la présence d'oxygène dans les digesteurs lors de leur montage.

En effet, les bactéries anaérobies strictes contenues dans les digesteurs (les sulfato-réducteurs) ont une remarquable capacité de survie aux diverses conditions et deviennent actives aussitôt qu'une anaérobiose s'installe. Les bactéries méthanogènes sont anaérobies strictes (Pfeffer, 1980) avec un métabolisme lent (Edeline, 1988 ; Hiligsmann et al., 1995). L'oxygène est un inhibiteur de la croissance et ne tue la bactérie qu'après quelques minutes ou quelques heures en fonction de la présence ou non des réducteurs puissants (Cypionka, 1985). La température est donc l'un des paramètres importants qui a influencé considérablement la fermentation méthanogène (Van Meenen et al., 1988).

5. Conclusion

La digestion anaérobie des déchets organiques solides d'origine ménagère en régimes mésophile et thermophile a permis d'obtenir un profil de fermentation neutre. La nature de l'inoculum utilisé était très importante car elle a joué sur l'équilibre des populations microbiennes, lesquelles populations ont certainement eu des vitesses de croissance très différentes. La température a été l'un des paramètres qui a influé considérablement la fermentation méthanogène. En effet, l'élévation de la température accélère la croissance des bactéries méthanogènes (Leclerc et al., 1988) et la libération des quantités importantes

d'enzymes dans le milieu fermentaire, ce qui permet ainsi de produire plus de biogaz sur un temps plus courts (Suys et al., 1979) ; Mackie and Bryant, 1981 ; Hashimoto, 1982 ; Sow et al., 1988 ; Yengula et al., 1988). Les essais ont montré une performance des digesteurs D2E et D2I qui ont été alimentés avec des déchets organiques d'origine ménagère et de *Salvinia natans (L.) All.* et soumis soit à un régime thermophile ou placé dans l'enceinte chauffée.

La conduite efficace d'un digesteur passe aussi par des concentrations requises pour différents minéraux apportés par le substrat d'alimentation tels que l'azote, le phosphore en quantité élevée par rapport aux oligoéléments (Pfeffer, 1980). Certains éléments tels que le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium et le fer ont des effets similaires en petite concentration (Mc Carty, 1964). Selon plusieurs auteurs, (Lagrange, 1979 ; Demeyer et al.), une production élevée en biogaz est observée dans les digesteurs alimentés avec des déchets organiques et *Salvinia natans (L.) All.* (D2E et D2I) par rapport à ceux alimentés uniquement des déchets organiques (D1E et D1I). En effet, les métaux lourds sont très dangereux car ils inactivent les groupes SH (thiol) des enzymes en formant des mercaptides (Mosey, 1981).

Il paraît donc très intéressant d'exposer le moins possible les digesteurs domestiques approvisionnés avec la matière première riche en cellulose comme l'essentiel des déchets urbains biodégradables aux fluctuations des températures ambiantes, cela en travaillant dans la zone de 30 à 40°C en vue d'améliorer le rendement en biogaz. Puisque l'optimum de production est de 6,8 à 8, il importe de corriger le pH au cours de la fermentation en tamponnant le milieu et en associant la plante aquatique *Salvinia natans (L.) All.* riche en minéraux avec les déchets organiques solides d'origine ménagère.

Bibliographie

Buswel, A.J. 1965. Methane fermentation. Proc. Industr. Waste conf. Purdue univ. 19, pp 508-517.

Campbell, C. and Laherrere, J. 1998. La fin du pétrole bon marché, in : Pour la science n° 247.

Demeyer, A., Jacob, M. Jay, G. Menguy, J. Perrier. 1982. La conversion bioénergétique

du rayonnement solaire et les biotechnologies. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 313 pp.

Demuyneck, M., E.J. Nyns and W.Palz. 1987. Installation de biogaz en Europe. Guide pratique. Pye édition.

Drevon, J.J. and Thery, D. 1977. Ecodéveloppement et Industrialisation, Rénouvelabilité et nouveaux usages de la biomasse. Cahier de l'Ecodéveloppement n°94, Paris, 126 pp.

Edeline, F. 1988. L'épuration des eaux résiduaires. Théorie et technologie. Technique et documentation. Liège troisième édition. Entièrement revue, corrigée et complétée 340p

Greenberg, A.E., Clesceri L.S. and Eato A.D. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition, American Public Health Association, AWWA, WEF, Washington D.C. pp 2-50

Hiligsman, S., taillieu, X. and Thonart, P. 1995. A biotechnological process to produce sulfide from the industrial by product gypsum: new investigations, med Faculteit Landbouw Wetenschap Univ. Gent. 60, 2685-2691.

Hollebosch, P., Gourdin, J., Kibiriti, C. 1986. Analyse des végétaux et des aliments. Modes opératoires, Fiches labo 006.

Kapepula, K.D., 1996. Composition et caractéristiques des déchets ménagers solides dans neuf villes africaines d'importance moyenne: séminaire CWBI, Gembloux, Belgique, 2-6 décembre. 94-100.

Lagrange, B. 1979. Biométhane. Energies alternatives. Tome 1. EDISUD, Paris. 204p.

Lelo, N. 1998. La gestion des déchets domestiques : Bilan annuel d'une expérience Pilote de l'Hotel de ville de Kinshasa. Premier colloque sur la problématique des déchets à Kinshasa.

Mbemba, F. and Remacle, J. 1992. Inventaire et composition chimique des aliments et denrées alimentaires traditionnels du Kwango-Kwilu au Zaïre.

Mc Carty, P.L. Mc Kinney, R.E. 1961. Salt toxicity in anaerobic digestion. J. water poil. Control fed., 33, pp 399-415.

Mosey, F.E. 1981. Methane fermentation of organic waste. *Trib. Cebedeau*, 34, 389-400.

Pauwels, J.M. Van Ranst, Verloo, M. and Mvondo Z.E. 1992. Manuel de laboratoire de Pédologie, Centre universitaire de Dschang-AGCD. Bruxelles, 265p.

Pfeffer, J.T. 1980. Anaerobic digestion : Anaerobic digestion process, Applied Science Published Ltd. London. Pp 15-35.

Speece, R.E. and Mc Carty, P.L. 1964. Nutrient requirents and biological solids accumulation in anaerobic digestion. In *advances in Water Pollution Research*, vol. 2, pp. 305-322. W.W. Eckenfelder (éd), Pergamon Press. New York.

Petclere, A. 1985. Contribution à la valorisation des déchets d'abattoirs au Sénégal. Thèse de doctorat- Ingénieur. Ecole centrale des Arts et Manufacture. Paris, 226p

Stafford, D.A., Bc Imerney, M. J. and Bryant, M.P. 1979. Metabolic stages and Enereties of microbial anaerobic digestion. In *Anaerobic digestion*. Stafford D.A., Wheatly B.I. and Hugues D.E. (eds) proceedings of the first International symposium in anaerobic digestion held at Universiy College, Cardiff, Wales, September 1979.

Verstraete, W. 1996. Biotechnological process in Environnemental technology. Gent University, Belgium.