



## **Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas)**

**M.E. Afilal, O. Elasri, Z. Merzak**

*Laboratoire de Biologie des plantes et microorganismes, Université Mohamed Premier, BP 524, 60000 Oujda, Maroc*

*Received 1 Jan 2014, Revised 29 Apr 2014, Accepted 29 Apr 2014*

*\*Corresponding author: E-mail: [m.afilal@fso.ump.ma](mailto:m.afilal@fso.ump.ma)*

### **Abstract**

Biogas is the result of the anaerobic digestion of the organic matter. In this work, we undertook a series of experiments, to characterize and ferment the various substrates and to produce flammable biogas. Waste of internal organs of chicken meat presents a weak ratio C/N of 2,42 but the potential methanogene is most important among the waste studied with 15,68 m<sup>3</sup>/T. That is because there is a large fraction of lipids (32%) in its dry matter. Waste of the animalery from the university is characterized by ratio C/N of 8,21, higher with the presence of sawdusts, which leadsto a methanogenepotential of 11,52 m<sup>3</sup>/T in the second place. Chicken meat droppings present a ratio C/N of 3,68 which makes it possible to have a potential methanogenes of 11,24 m<sup>3</sup>/T. The fish scrap is characterized by the weakest ratio C/N of 1,23 leading to the production of the lowest potential methanogene 6,64 m<sup>3</sup>/T, this result is related to the presence of a large proteinic fraction (70%). This work allowed us to conclude that between 32°C and 45°C the biogas production is correctly conducted..The chemical compositions of the wastes studied bring the necessary nutrients; mainly (Zinc, Cuivre, Calcium, Nickel and Potassium) to the anaerobic bacteriadevelopment. At the end of the anaerobicdigestion, the digestat obtained keep all mineral fertilizers which makes it possible to use as an agriculturaloutput. This work opens new horizons towardan alternative of the development in the Moroccans rural area, and at the same time proposes a renewable energy allowing a better management of organic waste, the production of flammable gas and also a fertilizing mud for the amendment of the grounds. In order to complete this work, other experiments are put in prospect. They will be devoted to the design and construction of an operational fermentor adapted to the Moroccan conditions.

*Keywords:* Biogas, Organic waste, Digestat, Anaerobic digestion, Potential methanogenes.

### **Résumé**

Le biogaz est le résultat de la digestion anaérobie des matières organiques. Dans ce travail, nous avons entrepris une série d'expériences, pour caractériser et fermenter les différents substrats et produire du biogaz inflammable. Les déchets de viscères des poulets de chair présente un rapport C/N faible de 2,42 mais le potentiel méthanogène est le plus important parmi les déchets étudiés avec 15,68 m<sup>3</sup>/T. Cela est dû à la présence d'une fraction importante de lipides (32 %) dans sa matière sèche. Le rapport C/N des déchets de l'animalerie se caractérisent par 8,21 considéré comme le plus élevé. Ce qui conduit à un potentiel méthanogène de 11,52 m<sup>3</sup>/T qui occupe la deuxième place. Les fientes de poulets de chair présentent un rapport C/N de 3,68 qui permet d'avoir un potentiel méthanogène de 11,24 m<sup>3</sup>/T. Les déchets de poissons possèdent un faible rapport C/N d'ordre 1,23 conduisant à la production du plus faible potentiel méthanogène 6,64 m<sup>3</sup>/T à cause de la présence d'une fraction protéique majoritaire (70%) dans sa composition chimique. Ainsi on a conclu que la température 32°C permet d'augmenter la production de biogaz par rapport à la température 45°C. La composition chimique de ces quatre déchets étudiés apporte les nutriments nécessaires principalement (Zinc, Cuivre, Calcium, Nickel et Potassium) au développement des bactéries anaérobies. A la fin de la digestion anaérobiques, le digestat obtenu présente des éléments minéraux fertilisant qui permet d'améliorer le rendement agricole. Ce travail ouvre de nouveaux horizons pour la recherche d'une alternative au développement dans le monde rural, et propose une source d'énergie renouvelable permettant à la fois, une meilleure gestion des déchets organiques, la production du gaz inflammable et aussi une boue fertilisante pour l'amendement des sols. Pour achever ce travail, d'autres expériences sont prévues en perspective. Elles seront consacrées à la conception d'un fermenteur opérationnel dans les conditions du monde rurale.

*Mots-clés :* Biogaz, Déchet organique, Digestat, Digestion anaérobie, Potentiel méthanogène.

### **Introduction**

Avec une consommation toujours plus grande et plus diversifiée partout dans le monde, la production des déchets ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité engendrant ainsi d'énormes risques sur l'environnement et, par conséquent sur la santé de la population [1]. Cette situation est beaucoup plus préoccupante dans les pays en développement (PED) à cause notamment du retard considérable dans le domaine biotechnologique, dû à leur manque de moyens et leur difficulté d'aborder la question avec une approche adaptée à leur contexte. Le manque de

données de caractérisation des déchets – qui est un préalable à toute stratégie de gestion – retarde la mise en place de politique efficace, de gestion et valorisation des déchets dans les PED [2,3].

Plusieurs études se sont intéressées à la caractérisation chimique des déchets organiques. Certaines d'entre elles avaient pour principal objectif l'évaluation du potentiel polluant de ces déchets [4] ou la mise en évidence de l'existence des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement [5].

Dans ce travail l'objectif est plutôt l'évaluation du potentiel méthanogène des déchets, et donc voir les déchets du côté positif, et le considérer comme source d'énergie (méthane) et non pas seulement comme source de pollution.

Le processus global de production du biogaz a lieu quand les bactéries anaérobies ont consommé la matière organique biodégradable contenue dans les déchets pour produire une masse bactérienne et des sous produits du métabolisme bactérien ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  etc.) [6].

L'objectif de cette étude est la mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets organiques pour permettre essentiellement :

- D'évaluer le potentiel de valorisation (énergie et épandage).
- D'optimiser le mode de traitement en connaissant précisément la composition des déchets.
- De prédire les émissions de ces déchets dans l'environnement et éventuellement de travailler sur l'atténuation de leur impact.

## 2. Matériels et méthodes

### 2-1- Choix des échantillons de différents déchets organiques :

- Déchets d'animalerie :

Déchets d'animalerie de la faculté des sciences (Oujda – Maroc) : La production de déchets au niveau de l'animalerie est rapide et constante en moyenne 10 kilo / jour, avec un total de plus de 3,5 Tonnes de substrat fermentescible en 2012, une bref description de ces déchets révèle la présence d'orge (5%), de sciures de bois (35%), de fientes de souris et rats (60%).

- Déchets d'aviculture :

L'aviculture marocaine assure une production de viande de volailles de 510 000 tonnes/an en 2010 [7], les poulets de chair produisent à eux seules 2 kg de fientes par sujet [8]. Par conséquent, le Maroc produit 586500 tonnes de fientes. Nous avons étudié les fientes et les viscères pour avoir des données globales sur les déchets du secteur.

- Déchets de poissons :

Sachant que le Maroc possède plus de 3500 km de cotes et le potentiel marocain en ressources halieutiques est estimé à 1,5 millions de tonnes annuellement [9]. Selon le Département de la pêche maritime, la capacité de production du poisson frais a connu une augmentation remarquable. Entre les deux années 2007 et 2008, la production a affiché une augmentation de 14,4%, de 835,320 tonnes devant 955,190 tonnes. Les déchets organiques du secteur évalués à 40% seraient de plus de 382 tonnes/an [3].

Une fois au laboratoire, les différents échantillons ont été étiquetés et mises au congélateur pour subir les différentes analyses physicochimiques. Dans cet article, pour chaque substrat étudié, une série d'analyses est effectuée pour une bonne caractérisation.

### 2-2- Caractéristiques physiques et chimiques:

Pour tous les paramètres étudiés, les dosages ont été effectués en triple.

- La masse volumique :

Un récipient, de 1 litre de volume est rempli des déchets organiques sans tassement et pesé sur balance. Les masses volumiques sont calculées par la formule suivante :

$$\rho = m / v$$

$\rho$  : masse volumique en  $\text{kg.m}^{-3}$

$m$ : poids obtenu en kg

$v$  : volume du récipient en  $\text{m}^3$

- L'humidité (% en eau) et MS:

La majorité des protocoles détermine l'humidité par séchage à la température de 105 °C jusqu'à un poids constant. La masse de déchets à sécher varie de 1 à 10 grammes [10 ; 11]. Le pourcentage d'humidité des différents déchets organiques est déterminé par différence de poids de l'échantillon avant et après séchage jusqu'à la stabilisation de la masse par la formule :

$$\% H = (M_0 - M_1) \cdot 100 / M_0 \text{ et } \% MS = 100 - \% H$$

Où : % H : pourcentage d'humidité

$M_0$  : masse initiale de l'échantillon avant séchage

$M_1$  : masse finale de l'échantillon après séchage

$M_2$  : la masse finale de déchet calciné à 600°C

MS : matière sèche

- Matière organique:

La teneur en matière organique (MO) ou solides volatiles totales (SVT) est obtenue par différence de pesée entre la masse du déchet sec ( $M_1$ ) et la masse du déchet calciné à 600°C ( $M_2$ ) jusqu'à un poids constant pendant plus de 6 heures [10 ; 11].

$$\% \text{ MO} = (M_1 - M_2) \cdot 100 / M_1$$

- Matière minérale:

Après 6 heures dans l'incinérateur, on obtient un résidu inorganique porte l'expression de cendres totales. Cette masse du déchet calciné à 600°C ( $M_2$ ) est la matière minérale [10 ; 11]. En conséquence, la mesure du poids de la fraction des cendres résiduelles par la perte au feu a permis de déterminer le pourcentage de la fraction minérale dans ce déchet.

$$\% \text{ MM} = M_2 \cdot 100 / M_1$$

Ces fractions des cendres produites par la calcination précédente a été envoyée au CNRST Rabat pour Dosage des Ions et métaux lourds.

- Carbone organique total:

Le carbone organique dans les déchets peut être estimé à partir de la formule suivante [12] :

$$\text{CT} = \text{MSV} / 1,74$$

CT : Carbone total

MSV : Matière sèche volatiles

- Azote total :

La technique utilisée est la méthode Kjeldahl [13]. Cette méthode est effectuée en trois étapes:

Étape 1: Digestion ou minéralisation de l'échantillon :

L'azote protéique des déchets organiques est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique concentré à haute température, en présence d'un catalyseur et d'un sel:

L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac  $\text{NH}_3$ . Il sert également à piéger l'ammoniac gazeux sous la forme de sulfate d'ammonium, par action de la base avec l'acide.

L'addition du sel  $\text{K}_2\text{SO}_4$  a pour but d'élever le point d'ébullition de la solution pour accélérer la réaction de minéralisation de la matière organique.

Le catalyseur utilisé est Cu ( $\text{CuSO}_4$ ).

Après 6 heures de digestion à l'acide sulfurique concentré en passe à la deuxième étape.

Étape 2 : Distillation de l'ammoniac :

Avant de distiller l'ammoniac à la vapeur d'eau, on doit libérer l'ammoniac sous la forme du sel  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès:

L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau et piégée dans une solution d'acide borique. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium.

Étape 3: Titrage de l'ammoniac :

L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution standardisée d'acide (HCl) et d'un indicateur coloré.

On fait un blanc en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs de l'ammoniac contenu dans l'échantillon.

Étape 4 : Calcul du % de NTK dans l'échantillon : On procède aux calculs des résultats comme suit :

$$\% \text{ N} = \frac{0,0014 \times 0,1 (V_2 - V_1)}{\text{PE}} \times 10$$

Avec PE : masse de prise d'essai en gramme.

$V_2$  : volume d'HCl à partir du quel l'indicateur vire du vert au rose.

$V_1$  : volume d'HCl utilisé pour le dosage blanc.

0,1 = Titre de la solution d'acide chlorhydrique.

0,014 = poids molaire de l'azote  $10^{-3}$

- Teneur en lipides :

La méthode utilisée est basée sur une extraction continue, opérée dans un extracteur Soxhlet sur des échantillons secs du déchet organique [14]. Cette technique prend 6 heures d'extraction et expose les lipides extraits à de hautes températures. Le solvant d'extraction utilisé est l'Hexane.

$$\% \text{ lipides} = \frac{M_1 (\text{lipides}) \times 100}{M_2 (\text{échantillon})}$$

$M_1$  : Masse finale du ballonnet après soxhlet moins la masse initiale du ballonnet avant soxhlet.

$M_2$  : Masse sec de la fiente de poulet de chair.

- Teneur en Protéines :

Les teneurs en protéines totales des déchet organiques étaient calculées en multipliant l'azote total (N) par un facteur 6,25 en se basant sur l'hypothèse que les protéines contenaient 16 % d'azote et que la matière azotée totale provient exclusivement de protéines [15]. On obtient la teneur en protéines selon l'équation suivante :

$$\% P = \% N \times 6,25$$

% N = Pourcentage d'azote

% P = pourcentage de Protéine totale

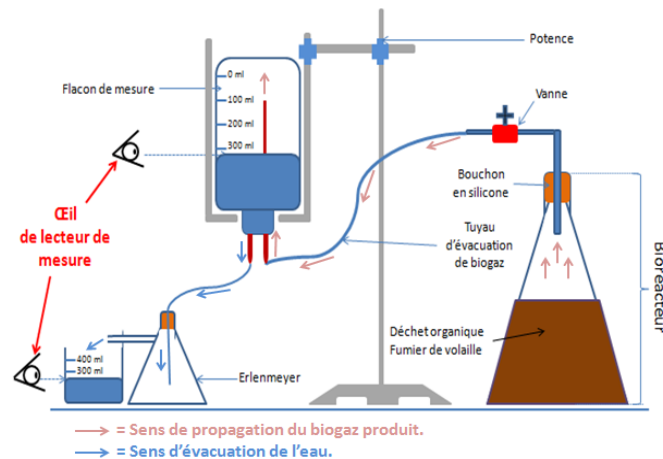
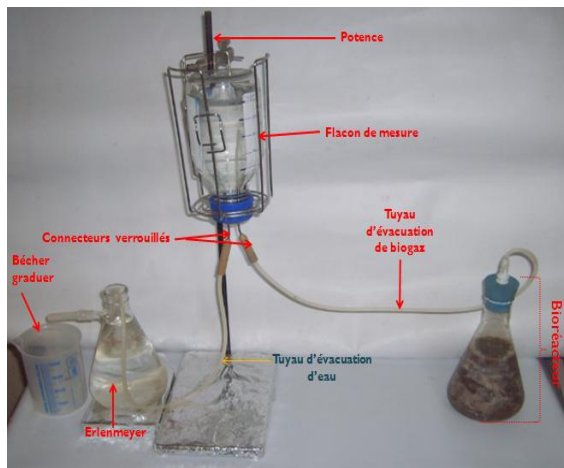
- Teneur en glucides solubles :

L'extraction des sucres totaux présente dans le déchet organique a été effectuée par broyage dans le mélange éthanol-eau 80 %. Les broyats ainsi obtenus ont été centrifugés à 4500 g à 4°C pendant 30 min. les surnageant contenant les sucres ont été récupérés puis. Le dosage des sucres totaux a été effectué par la méthode d'Ashwel [16] en présence d'une gamme étalon de glucose.

Toutes les manipulations de détermination de la composition chimiques (Azote total, lipides, protéines et glucides solubles) des déchets organiques sont réalisées dans le Laboratoire de Biologie des Plantes et des Microorganismes avec l'équipe de Productions et Biotechnologies Végétales.

- Dosage des Ions et métaux lourds :

Les analyses ont été menées au centre national de recherche scientifique et technique (CNRST) de Rabat. Les échantillons sont préalablement filtrés sur des membranes de porosité 0,45 µm puis minéralisés à chaud par l'eau régale (3 volumes de HCl pour 1 volume de HNO<sub>3</sub>) afin d'éviter les interactions de la matrice organique. Les concentrations en ions métalliques ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique four VARIAN Spectra 800 disposant d'un système de correction Zeeman de l'absorption de la matière organique. La limite de détection est de l'ordre de 0,1 µg.L-1 et varie selon l'élément à doser.



**Figure 1 :** (a) Schéma (b) Photo de dispositif de mesure de biogaz par déplacement d'eau.

Les cations et les anions majeurs (Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ont été dosés par chromatographie ionique sur un appareil DIONEX de marque DX-120 après avoir été dilués et filtrés sur une membrane en nitrate de cellulose de porosité 0,2µm. Le détecteur est de type conductimétrique. Le principe consiste à injecter une partie de l'échantillon à l'intérieur d'un flux éluant. Les différents ions traversent alors une colonne qui va les séparer en fonction de leur affinité avec les sites échangeurs. Un détecteur conductimétrique associé à un ordinateur permet l'enregistrement de chromatogrammes présentant des pics d'éluion à différents temps spécifiques d'un ion donné. Un étalonnage journalier permet d'associer la surface du pic à la concentration de l'ion considéré. La précision est de ± 5%.

- Mesure de pH :

Le pH des solutions a été mesuré à l'aide d'un pH mètre de marque Consort muni d'une électrode de verre combinée Ag/AgCl. L'étalonnage est effectué à l'aide de solutions tampons de pH 4 et 7 à 20°C [17].

**2-3- Mesure du débit biogaz :**

Le débit du biogaz au cours de la fermentation méthanique est suivi par déplacement de l'eau dans un gazomètre. Le batch est relié à l'aide d'un tuyau en silicone à un gazomètre constitué par flacon gradué inversée. Lorsque le biogaz est produit, il exerce une pression sur l'eau présente dans le flacon on l'évacue vers l'extérieur du gazomètre. On a réalisé pour chaque déchet étudié trois batchs afin d'avoir une moyenne de potentiel méthanogène.

**2-4- Rendement et taux de digestion :**

La fermentation jusqu'à épuisement de la matière organique biodégradable nous ont permis la détermination du rendement en biogaz et du taux de digestion dans les conditions d'expérience :

- Tous les digesteurs se trouvent dans un bain marie à température constante (45°C et 32°C) favorable pour la biométhanisation.
- Tous les digesteurs sont remplis de déchets en solution à 10 % de MF, c'est-à-dire que 10g de déchet frais dans 100 ml d'eau de robinet.

**3. Résultats et discussions**

**3-1- Caractéristiques des déchets organiques :**

**Tableau 1 :** Résultats des caractéristiques physiques des déchets organiques.

	Fientes de volailles	Viscères de volailles	Déchets de poissons	Déchets d'animalerie
Masse volumique(kg/m <sup>3</sup> )	360 ± 7	520 ± 6	280 ± 5	340 ± 11
Humidité (%)	67,5 ± 1,6	72,46	70,21	13,88
Matière Sèche (MS)(%)	32,5 ± 1,6	27,54	29,79	86,12

La masse volumique concorde bien avec l'humidité puisque plus c'est humide plus la masse volumique est faible. Les déchets organiques étudiés présentent une teneur importante en humidité (supérieur à 60 %) à l'exception d'animalerie. Donc ces déchets, sont difficilement combustibles, c'est pourquoi la fermentation méthanique reste la meilleure technique de valorisation de ces déchets.

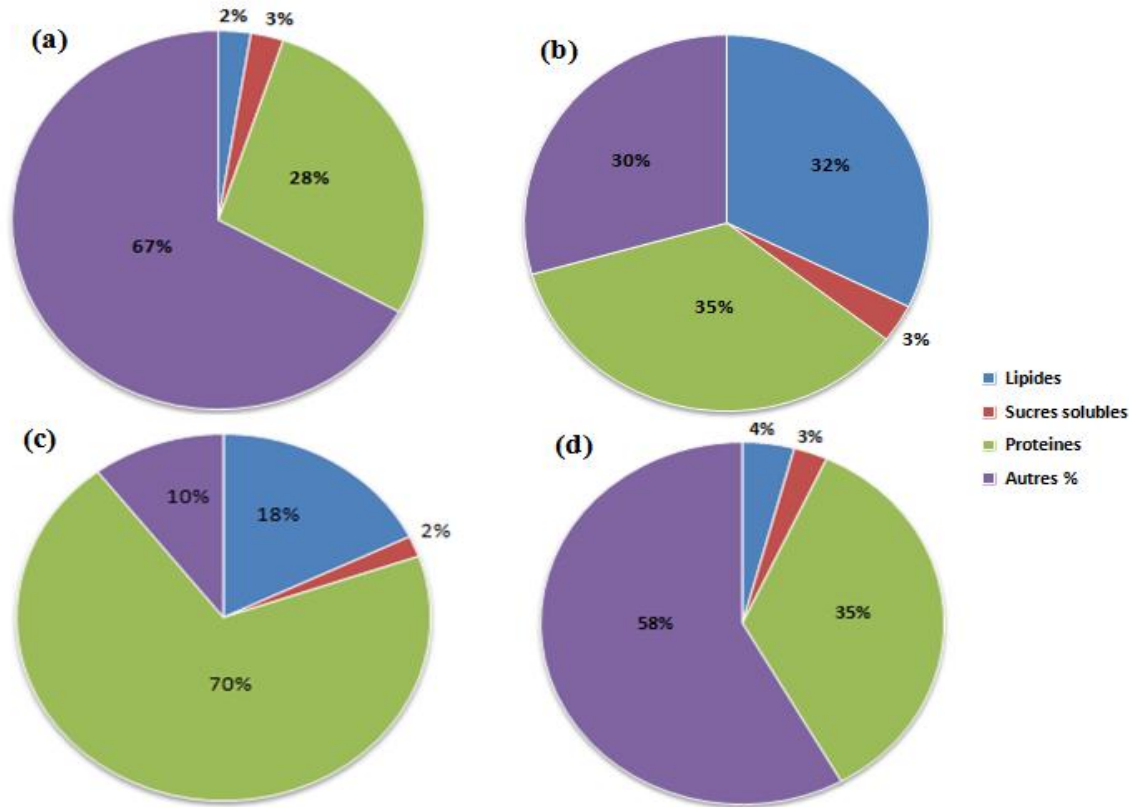
**Tableau 2 :** Comparaison des rapports C/N pour les déchets organiques.

	Déchets de poissons	Viscères de volailles	Fientes de volailles	Animalerie FSO
MSV(%)	23,98	23,65	28,77	80,01
MM(%)	5,81	3,89	3,73	6,11
COT(% MS)	13,78	13,59	16,53	45,98
NT(% MS)	11,2	5,6	4,48	5,6
Rapport C/N	1,23	2,42	3,68	8,21

D'après le tableau 2, on remarque que les déchets d'animalerie sont riches en carbones (45,98 %) par contre les déchets de poissons sont riches en azotes organiques (11,2 %) par rapport aux autres déchets étudiés. Les quartes déchets organiques présentent des rapports C/N inférieurs à l'optimum pour la bio-méthanisation qui est entre 20 à 30 [18 ; 19]. D'où la nécessité de faire la codigestion avec d'autres déchets riches en carbone pour optimiser la production de biogaz.

La figure 2 montre la composition de la matière organique au niveau des différents déchets étudiés, ainsi la quantité des sucres soluble reste comparable entre 2 et 3 % MO, la fraction lipidique est particulièrement élevée au niveau des viscères (32% MO) et du poisson (18% MO), les protéines sont majoritaires au niveau des déchets de poisson. Les déchets d'animalerie et des fientes contiennent en plus d'autres substances comme la cellulose et lignine. Ces résultats nous permettent d'interpréter le potentiel biogaz des différents déchets, étant donné que les lipides sont plus méthanogènes 1444 mL/gMV suivi des protéines 992 mL/gMV et après les sucres 746 mL/gMV [20], d'autre part plus il y a de sucres non solubles, plus le rapport C/N est élevé.

La composition des déchets biométhanisables devrait apporter les nutriments nécessaires au développement des bactéries anaérobies, dont principalement l'azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, chlore et soufre, auxquels il faut ajouter certains éléments traces métalliques tels que le fer, le cuivre, le zinc, le nickel, le molybdène, le sélénium, le cobalt... Tous sont nécessaires mais peuvent être toxiques à des concentrations excessives. La totalité de la matière minérale contenue dans les déchets organiques, est conservée après la méthanisation.



**Figure 2 :** Répartition des compositions organiques des déchets organiques (a) Fientes de poulet (b) Viscères (c) Déchet de poisson (d) Déchet d'animalerie.

Le tableau 3 montre que la quantité en différents éléments minéraux présente dans ces déchets organiques, est suffisante et non toxique, on remarque aussi que dans les fientes de volailles, le zinc occupe la première place suivi du cuivre, potassium, calcium et de nickel par contre les autres éléments minéraux ne dépassent pas 10 mg/kg. Le même ordre se présente pour les déchets d'animaleries sauf que le calcium occupe une place supérieure que le potassium. On peut dire que les oligo-éléments (Zn, Cu, Ca, Ni) représentent les teneurs les plus grandes devant les éléments secondaires d'où l'importance d'une valorisation agronomique pour la fertilisation du sol, la fermentation méthanique en anaérobiose conserve l'essentiel de la composition initiale tout en accélérant la maturation du composte qui demanderait plusieurs mois en aérobiose [21 ; 22].

Le zinc (Zn) est présent en infime quantité dans le sol donc un amendement de digestat après fermentation méthanique de ces déchets organiques, et essentiellement les fientes de volaille et les déchets d'animalerie permettrait de combler ce manque l'apport de zinc aux plantes permet la formation de plusieurs hormones de croissance (auxine), la synthèse de la chlorophylle, des protéines et des acides nucléiques et par conséquent conduit à une croissance précoce et au développement des fruits, c'est le cas pour le maïs, et pomme de terre [23 ; 24].

Pour le cuivre, il intervient dans la synthèse de la lignine (oxydation des phénols) et protège la dégradation précoce de la chlorophylle c'est-à-dire que les plantes gardent plus longtemps un aspect vert et juvénile. L'apport en cuivre est remarquable pour une culture de céréales [23 ; 24].

Le tableau 3 montre que les bioréacteurs à 10% de MS, contiendraient des concentrations en différents éléments minéraux à des niveaux plus bas que le niveau toxique (inhibition), donc la bio-méthanisation de ce type de déchets reste très favorable, et même la codigestion est possible à des ratios convenables.

Le digestat contient aussi certains macroéléments, tel que le potassium (K) avec un maximum qui peut atteindre 34,96 mg/kg pour les fientes de volailles, cet élément est indispensable pour les plantes car il intervient dans le fonctionnement physiologique de la plante (maintenance et régulation de la pression osmotique des cellules végétales)[23 ; 24].

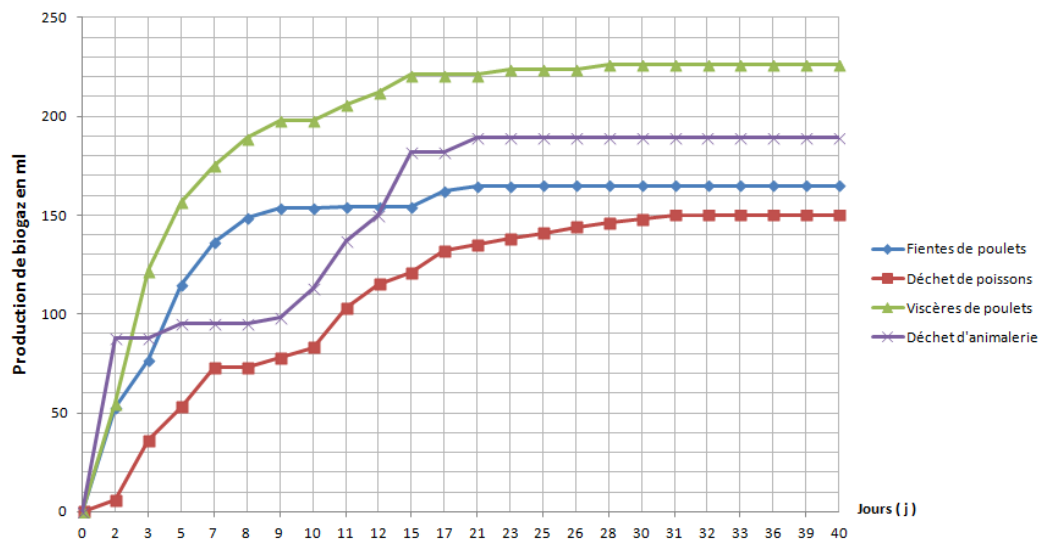
Ces résultats devraient être complétés par une étude sur terrains pour le suivi de la valorisation productive du produit résiduel (composte) et comparaison avec d'autres produits fertilisants.

**Tableau 3:** Dosage des Ions et Métaux lourds (a) : R. Moletta, 2002 (b) : Valorga, 1998 (c) : (ND) : non déterminé

Ions mg/kg MS	Concentration inhibitrices (mg.l <sup>-1</sup> )	Fientes de volailles	Déchets d'animaleries
Ca	8000(a)	30,4 - 29,82	20,42 - 20,73
Fe	-	0,99 - 0,05	0,61 - 0,56
K	12 (a)	32,85 - 34,96	13,54 - 12,75
Na	8000(a)	3,25 - 3,20	2,69 - 2,78
Co	-	0,07	N.D.
Cr	200-600(a)	7,96 - 8,29	6,44 - 8,48
Cu	70 -150(b)	70,90 - 69,45	26,48 - 25,24
Mo	5(b)	7,53 - 5,76	2,43 - 2,43
Ni	30(a)	14,99 - 9,16	7,08 - 6,64
Pb	350 - 850(b)	2,31 - 2,37	0,64 - 0,51
Se	5(b)	1,23 - 0,63	0,35 - 0,07
W	-	3,11	2,57
Zn	400 - 750(b)	196,35 - 191,7	127,14 - 122,90

### 3-2- Estimation du potentiel en biogaz :

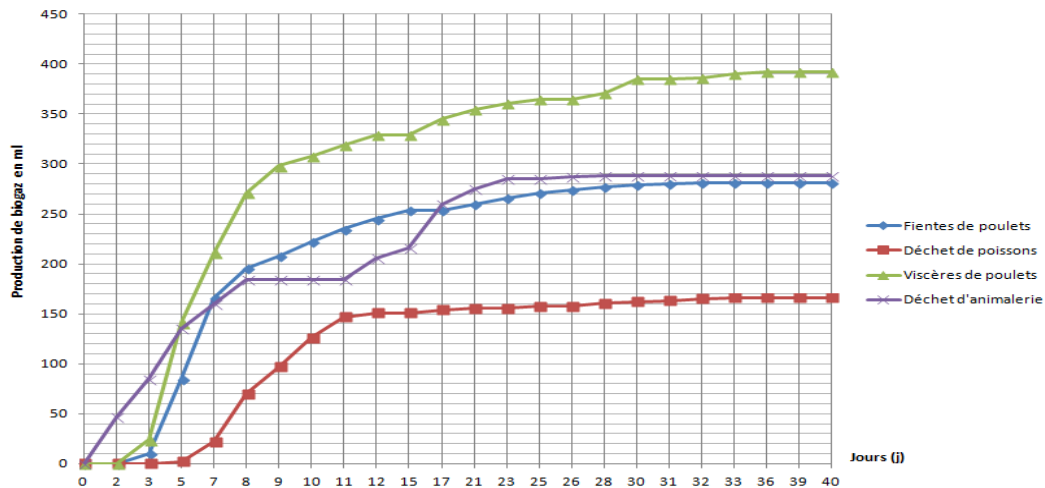
Après 40 jours de méthanisation dans la température 45 °C, la cinétique de production de biogaz montre que les déchets de viscères produit la plus grande quantité de biogaz qui atteint un maximum de 226 ml, les déchets d'animalerie occupe la deuxième place avec une production de 189 ml suivi par les fientes de poulet de chair et enfin les déchets de poissons qui produisent successivement 165 et 150 ml. Ce résultat est corrélé avec les compositions chimiques des déchets organiques. Les lipides produisent la plus grande quantité de biogaz en rapport aux protéines et glucides [20 ; 25]. Les déchets de viscères présentent une grande quantité de lipides (32 % MO) en rapport aux autres déchets ce qui permet de produire une grande quantité de biogaz.



**Figure 3:** Cinétique de productions cumulées de biogaz pour les quatre déchets organiques a température d'incubation 45°C.

La cinétique de production de biogaz dans la température 32°C est identique à celle de la température 45°C seulement que la quantité de biogaz produite est plus élevée. Les déchets de viscères produit la plus grande quantité de biogaz avec 392 ml, les déchets d'animalerie occupe la deuxième place avec une production de 288 ml suivi par les fientes de poulet de chair et enfin les déchets de poissons qui produisent successivement 281 et 166 ml.

Ce résultat est interprété par la présence d'une température 32°C très proche de la température optimale 35°C [26].



**Figure 4 :** Cinétique de productions cumulées de biogaz pour les quatre déchets organiques à température d'incubation 32°C.

Les déchets de poissons présentent le plus faible potentiel méthanogène, ce qui serait lié à plusieurs facteurs, dont le faible rapport C/N et également une éventuel toxicité de l'ammoniaque, qui est considéré comme un des importants inhibiteurs de la biométhanisation [27]. Ainsi l'activité des méthanogènes est diminuée lors de l'augmentation de la concentration de l'ammoniaque et l'inhibition totale est atteinte pour une concentration de 10 gN/l [28]. Par conséquent la bio-méthanisation des déchets de poissons serait plus commode en codigestion avec d'autres substrats riches en cellulose par exemple.

Ces résultats méritent d'être complétés par des essais complémentaires pour déterminer les ratios en différents substrats de déchets industriels qui donneraient meilleur rendement en biogaz [29 ; 30 ; 31 ; 32].

**Tableau 4:** Potentiel biogaz.

(a) : Fisher 2007, CRAAQ, 2008(b) : Chen Shi, 2012 (c) : Salminen et al.2002 (ND) : Non Déterminé

	Température de 45°C		Température de 32°C		Potentiel rapporté en bibliographie (en m <sup>3</sup> /T de déchet)
	Biogaz cumulé (en ml/ 40j)	Potentiel biogaz Trouvé (en m <sup>3</sup> /T de déchet)	Biogaz cumulé (en ml/40j)	Potentiel biogaz Trouvé (en m <sup>3</sup> /T de déchet)	
Viscères de poulets	226	9,04	392	15,68	100 (c)
Déchet d'animalerie	189	7,56	288	11,52	ND
Fientes de poulets	156	7,66	281	11,24	61-112(a)
Déchet de poissons	150	6	166	6,64	53(b)

Le potentiel bibliographique des déchets organiques étudiés présent un écart important avec les valeurs obtenues, ces valeurs théoriques maximales sont des calculs théoriques qui doivent être pondérés compte tenu des points suivants :

- Le potentiel théorique se réfère à des substances organiques pures. Dans la réalité, la matière organique se trouve soit sous forme dissoute, soit sous forme particulaire ou solide. La production de méthane à partir d'un produit réel sous forme « brute » va donc dépendre de la concentration en matière organique dégradable dans ce produit et de sa teneur en eau.
- Une partie de substrat organique se fixe à la matière minérale et devient non disponible pour les bactéries.
- Toutes les substances organiques ne sont pas « biodégradables », en particulier certains sucres complexes et les produits ligneux.



- Une certaine partie de la matière organique est utilisée par les micro-organismes pour leur croissance et leur maintenance (ce chiffre est de l'ordre de 5 à 10%).
- 10% de matière serait évacuée avec le résidu avant d'être dégradée (fermentation en continue).
- Le CO<sub>2</sub> n'est pas totalement gazeux mais également une partie sous d'autres formes dissoutes (HCO<sup>3-</sup>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CO<sup>3-</sup>.....) en fonction du pH, salinité, température et type d'effluent.

## Conclusion

Dans cette étude nous démontrons que les déchets organiques restent valorisables par fermentation méthanique, d'une part ils génèrent une source d'énergie renouvelable et d'autre part le résidu de fermentation constitue un apport important pour la fertilisation du sol, car une partie de la matière organique contenue dans le substrat est dégradée au cours de la biométhanisation, laquelle aurait été dégradée par les micro-organismes du sol au cours des mois suivant l'épandage s'il n'y avait pas eu de biométhanisation, et l'autre partie de la matière organique intéressante pour la structuration du sol, celle qui formera l'humus, est conservée lors de la biométhanisation.

Pour optimiser la biométhanisation des déchets organiques il est nécessaire de maîtriser plusieurs facteurs, dont la teneur en eau, l'agitation, quantités et activité des bactéries présentes, pH, température, composition...

En décharge conventionnelle, ces facteurs ne sont pas maîtrisables. Par contre, la gestion de la dégradation anaérobie en bioréacteur (de taille industrielle ou au laboratoire) permet de maîtriser la plupart de ces facteurs. La matière convenablement humidifiée (voire noyée) peut être homogénéisée, broyée et mélangée afin de favoriser le transfert de la matière. Le milieu peut être tamponné afin d'éviter des variations importantes de pH. Les carences ou excès en nutriments peuvent être limités par mélange de la matière à dégrader avec d'autres matériaux présentant des caractéristiques adéquates.

La température peut être maintenue dans une gamme de valeurs donnée et les conditions réductrices peuvent être assurées par l'étanchéité du réacteur. Enfin, la charge microbienne peut être maîtrisée par inoculation, réintroduction d'une fraction des boues sortantes ou rétention de la biomasse sur un support. Cette étude ouvre des horizons nouveaux pour une meilleure valorisation des déchets organiques et donc éviter la mise en décharges publiques nuisibles.

**Remerciement-**Ce travail est financé par la CUD de Belgique dans le cadre du projet de collaboration avec l'Université Mohamed 1er Oujda "Projet appui à la recherche scientifique P2, de 2008 - 2012". L'équipe de Productions et Biotechnologies Végétales de Laboratoire de Biologie des Plantes et des Microorganismes pour l'encadrement dans les analyses chimiques des déchets organiques.

## Nomenclature

C/N : Rapport carbone sur azote.

CNRST : Centre national pour la recherche scientifique et technique.

CT : Carbone total.

Km : Kilomètre.

MF : Matière fraîche.

MO : Matière organique.

MS : Matière sèche.

mL/gMV : Millilitre par gramme de Matière volatile.

m<sup>3</sup>/T : Mètre cube par tonne.

ND : Non Déterminé.

NTK : Azote total Kjeldahl.

PED : Pays en développement.

SVT : Solides volatiles totales.

## Références

1. Afilal M.E., Auriol M., Filali-Meknassi Y.. *Chapitre du livre "Les énergies renouvelables au Maroc – Le débat est lancé"*. UNESCO, 196 pp (2009). ISBN : 9954-8068-2-2.
2. Afilal M.E., Moncef M., Benyamna A. *Revue des énergies renouvelables*, numéro spéciale. Algérie (2007). Dépôt légal 1177-98. ISSN/1112-2242.
3. Afilal M.E., Bakx A., Belakhdar N. and Membrez Y. *Revue des Énergies Renouvelables*. 13 N°2 (2010) 249.
4. Afilal M.E, Belkhadir N and Merzak Z. *Global Journal of Science Frontier Research Biological Sciences (USA)*. Volume 13 Issue 1 Version 1.0 Year (2013) . Online ISSN: 2249-4626 and Print ISSN: 0975-5896.
5. ADEME. Collecte sélective et traitement biologique des biodéchets des ménages, méthodes et outils de mesure des indicateurs de qualité et de performance, 1ère édition (2000), volume 2.p :12.
6. Afilal M.E., Belkhadir N., Daoudi H., Elasri O.. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (1) (2013) 11-16.
7. Conseil agricole. Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime. Novembre (2011). Une nouvelle stratégie de service pour les agriculteurs, N°9.
8. REME. Gestion des déchets organiques au Maghreb (2007). p :13

9. Abouhala A., Talbaoui E., Boukabous R. Accès au marché. Le cas du Maroc. Aquaculture planning in Mediterranean countries . Zaragoza : CIHEAM, 1999. p. 61-62. (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 43). *Workshop of the CIHEAM Network on Socio-economic and Legal Aspects of Aquaculture in the Mediterranean (SELAM)*, 1998/03/12-14, Tangiers (Morocco).
10. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington DC, USA. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation; (1998)
11. APHA. Méthodes normalisées pour l'examen des eaux et eaux usées (Twentyfirsted.) Washington DC, American Public Health Association. American Water Works Association et la Fédération Environnement de l'Eau (2005).
12. Allison, L.E.. Organic carbon. Methods of soil analysis, 2e partie. *Am., Soc. Agron. Madison*, Wisconsin (1965). Pages 1367-1378.
13. Bremner, J.M.. Total Nitrogen. Methods of soil analysis, 2e partie. *Am Soc. Agron. Madison*, Wisconsin (1965). Pages 1149- 1178.
14. AFNOR. Collection of French Standards Body. *Fat and Oil Seeds Product* (1981). 2nd Edn., Paris, France.
15. Mariotti F, Tomé D, Mirand PP. *Crit Rev Food Sci Nutr.* (2008). 48, 177- 84.
16. Ashwell G. .Colorimetric analysis of sugars. *Methods Enzymol* (1957). 3, 73–105.
17. Consort manual, 2012 ; *Handleiding, mode d'emploi, Anleitung*, December 2012. p : 18-19.
18. Marchaim U..FAO (1992). Agricultural services bulletin 95.
19. kuria J.. *International Journal for Service Learning in Engineering* (2008) 3(1), 9-40, ISSN 1555-9033.
20. Buswell A. M. and H. F. Mueller. *Industrial and Engineering Chemistry* (1952). 44(3): 550-552.
21. Moletta R.. Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agro-alimentaires (2002). R. Moletta coordonnateur : Collection Tech doc Lavoisier.
22. Valorga. Observatoire Régional des Déchets d'Ile de France et L'Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Énergies, (1998). Ile de France.p 28.
23. Soltner D., édition 2001. Les bases de la production végétale - Tome III -La plante et son amélioration . *Collection Sciences et techniques agricoles.*
24. Soltner D., édition 2003. Les bases de la production végétale - Tome I -Le sol et son amélioration. *Collection Sciences et techniques agricoles.*
25. Weissbach and Friedrich, Gas production potential of fresh and ensiled sugar beets in biogas production. *Land technik* 64 (2009), no.6, pp. 394-397.
26. Pouech P. , R. Coudure, C.E.Marcata. *Journées Recherche Porcine* (2005), p : 39-44. 2005
27. Hawkes, F. R., Guwy, A. J., Hawkes, D. L. and Rozzi, A. G. . *Water Science and Technology* (1994)., 30, (12), 1-10.
28. Hill D. T. and Holmberg, R. D. . *Biological Wastes* (1988), 23, (3), 195-214.
29. Fischer T.. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme. 26 janvier (2007). Sainte-Julie.
30. CRAAQ. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec. La biométhanisation à la ferme. Publication (2008), no EVC 033. P : 5.
31. Chen Shi. Potential Biogas Production from Fish Waste and Sludge. *TRITA LWR Degree Project* 12:37 (2012) .ISSN 1651-064X.
32. Salminen E., Rintala J..Semi-continuous anaerobic digestion of solid, poultry slaughter house waste: effect of hydraulic retention time and loading, *Water Res.* 36 (2002) 3175-82.

(2014) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>