

Caractérisation des co-produits de la biométhanisation appliquée à la biomasse animale

Youssef M'Sadak*, Abir Ben M'Barek†, Rahma Inès Zoghلامي et Salma Baraket

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel
Institut Supérieur Agronomique de Chott-Meriem, B.P. N°47, 4042 Sousse, Tunisie

(reçu le 07 Avril 2010 – accepté le 25 Juin 2011)

Résumé - Le présent travail consiste à évaluer les co-produits de la biométhanisation appliquée à la biomasse animale au niveau de divers types de digesteurs. La caractérisation du biogaz produit est déterminée à travers un suivi énergétique par l'appréciation des productivités gazeuses quantitative et qualitative. Quant à la caractérisation et la valorisation des digestats produits, elles consistent à un suivi analytique concernant particulièrement certains paramètres de dépollution, ainsi qu'une évaluation des possibilités de valorisation agronomique hors sol. Ce travail a permis de ressortir un certain nombre de constatations dont on peut principalement formuler: - Les performances énergétiques, de point de vue quantitatif, des digesteurs de laboratoire sont plus intéressantes dans le cas des digesteurs alimentés par les fientes avicoles. De point de vue qualitatif, elles sont en faveur du digesteur industriel qui a montré un intérêt énergétique important. - Les déjections digérées par les différents types de digesteurs présentent des bilans de dépollution variables. La réduction de la charge polluante des MES est plus importante dans le cas du digesteur industriel, alors que pour la DBO₅, elle est en faveur du digesteur expérimental II. - L'utilisation de la tourbe mélangée avec du méthacompost, à raison de 40 % comme substrat de croissance s'avère très encourageante et performante vis-à-vis de la rapidité de germination, ainsi que de la croissance en hauteur des plants de piment. - Les jus de process à l'état concentré ou dilué à raison de 25 ou de 75 % ont montré des pouvoirs fertilisants très intéressants.

Abstract - This work consists in evaluating the by-products of the biomethanisation applied to the animal biomass on the level of various types of digesters. The characterization of produced biogas is given through an energy follow-up by the appreciation of the quantitative and qualitative gas productivities. As for the characterization and the valorization of the digestates produced, they consist with an analytical follow-up relating to particularly certain parameters of depollution, as well as an evaluation of the possibilities of agronomic valorization. This work made it possible to arise certain number of observations which one can mainly report: - Concerning the energy performances, from quantitative point of view, the digesters of laboratory uninterrupted by the avicolous droppings are more interesting. From qualitative point of view, they are in favor of the industrial digester which showed an important energy interest. - The dejections digested by the various types of digesters present variable assessments of depollution. The reduction of the polluting load of MES is more important in the case of the industrial digester, whereas for the DBO₅, it is in favor of the experimental digester II. - The use of the peat mixed with methacompost, at a rate of 40% as substrate proves very encouraging and powerful with respect to the speed of germination as well as growth in height of the pepper seedlings. - The juices of process in a state concentrated or diluted at a rate of 25 or 75 % showed very interesting fertilizing powers.

Mots clés: Digesteurs - Déjections bovines - Fientes avicoles - Biogaz - Méthacompost et jus de process.

* msadak.youssef@yahoo.fr

† mb_abiroucha@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

La biométhanisation est l'un des processus biologiques qui contribue à la dégradation des matières organiques (MO) mortes, végétales ou animales (de préférence, non contaminée par des polluants ou inertes) par une flore microbienne en anaérobie et à leur transformation en éléments simples, gazeux et minéraux [2-8, 12, 13].

Seule la fraction biodégradable de la MO est concernée par la biométhanisation. En absence d'oxygène (O_2), elle est dégradée partiellement par l'action combinée de plusieurs types de microorganismes. Une suite de réactions biologiques conduit à la formation du biogaz (composé majoritairement du méthane) et des digestats solide et liquide.

Le biogaz pourrait être valorisé en électricité et en chaleur, alors que le digestat solide (appelé méthacompost) considéré comme compost désodorisé, hygiénisé, déchargé de carbone et riche en azote rapidement assimilable par les plantes, pourrait être épandu, entre autres, comme engrais de ferme. Le digestat liquide (dénommé jus de process) pourrait être valorisé également par épandage.

Dans l'optique de la maîtrise des conditions du milieu fermentaire pour une meilleure valorisation énergétique, environnementale et agronomique des co-produits de la biométhanisation, cette étude se propose, comme objectif principal, le suivi et l'évaluation d'une part, de la productivité quantitative du biogaz produit à l'échelle expérimentale à partir des fientes de volailles (digesteurs I et II) et des déjections bovines (digesteurs III et IV), et d'autre part, de la productivité qualitative gazeuse (composition et pouvoir calorifique) au niveau de différents types de digesteurs mis en œuvre (expérimentaux, rural et industriel).

En outre, elle vise l'évaluation des bilans de dépollution des biomasses animales traitées par biométhanisation sur les plans expérimental et réel, en termes de Matières En Suspension (MES) et de Demande Biologique en Oxygène (DBO_5).

Par ailleurs, les digestats solide et liquide, principaux résidus de la biométhanisation rurale de la biomasse bovine, ont fait l'objet d'une appréciation de leur intérêt agronomique hors sol respectivement comme substrat de culture et comme fertilisant.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Différents dispositifs expérimentaux

2.1.1 Digesteurs pilotes de laboratoire

Le dispositif expérimental, installé au niveau du laboratoire 'biogaz' du Centre de Formation Professionnelle Agricole en Elevage Bovin (C.F.P.A.E.B.) de Sidi Thabet (Tunisie), est constitué de quatre digesteurs pilotes (Vue 1).

Les deux digesteurs I et II diffèrent uniquement par leurs concentrations en MS qui est de l'ordre de 6 % au niveau du premier et de 8 % dans le second.

Le suivi de ces digesteurs expérimentaux a mis l'accent surtout sur l'effet de la variation du taux de MS des substrats traités par digestion anaérobie sur la dépollution et les productivités gazeuses quantitative et qualitative à partir de la biomasse avicole.

Les deux digesteurs expérimentaux III et IV diffèrent de point de vue paramètres physicochimiques. Ils ont servi pour le suivi de la productivité quantitative gazeuse à partir de la biomasse bovine.



Vue 1: Digesteurs pilotes de laboratoire

Le **Tableau 1** présente quelques données générales sur ces deux digesteurs testés.

Tableau 1: Critères de différenciation entre les deux digesteurs expérimentaux III et IV

| Digesteur | Boues utilisées | Température (°C) | Agitation |
|------------------|------------------|------------------|-----------|
| Expérimental III | Fraîche et noire | 25 | Sans |
| Expérimental IV | Fraîche | 35 | Avec |

2.1.2 Digesteur pilote rural

Il s'agit d'un digesteur pilote enterré (Vue 2), installé à la ferme rattachée au C.F.P.A.E.B. Ce digesteur rural est caractérisé par un très faible investissement et une grande simplicité, puisqu'il est, en grande partie, auto-construit et n'utilisant pas d'appareillage sophistiqué.



Vue 2: Digesteur pilote rural

2.1.3 Digesteur pilote industriel

Il s'agit d'un digesteur pilote de forme cylindrique (Vue 3), installé dans une ferme avicole à Hammam Sousse (Tunisie) depuis l'année 2000. L'installation est conçue pour

traiter quatre tonnes de déjections fraîches quotidiennement, représentant la production journalière d'un élevage avicole industriel autour de 20000 poules pondeuses.

L'unité de biométhanisation installée a un objectif environnemental qui consiste à réduire la pollution générée par les fientes avicoles et un objectif énergétique qui consiste à alimenter les groupes électrogènes et satisfaire ainsi les besoins de la ferme et de la station en énergie électrique produite.



Vue 3: Digesteur industriel à Hammam Sousse

Le **Tableau 2** résume quelques caractéristiques relatives à des divers digesteurs déjà mis en œuvre et exploités

Tableau 2: Récapitulatif des principales caractéristiques sur des digesteurs employés

| Type de digesteur | | Expérimental I et II | Expérimental III et IV | Rural | Industriel |
|-----------------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| Nature de substrat | Substrat | Fientes avicoles | Bouse bovine Fraîche | | Fientes avicoles |
| | Inoculum | | Bouse bovine noire | | - |
| Capacité du digesteur | | 500 ml | | 6 m ³ | 300 m ³ |
| Mode de digestion | | En continu | | | |
| MS (%) | Substrat | 20,9 | 31,5 | 31,5 | 20,9 |
| | Inoculum | 4,0 | 9,4 | 9,4 | - |
| pH | Substrat | 8,7 | 6,5 | 6,5 | 8,7 |
| | Inoculum | 7,2 | 7,2 | 7,2 | - |

Les quantités de chaque matière première introduite dans les digesteurs considérés sont mentionnées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3: Quantification des intrants

| Type de digesteur | Substrat (I) | Inoculum (I) | Eau (I) |
|-------------------|--------------|--------------|---------|
|-------------------|--------------|--------------|---------|

| | | | |
|-------------------------|--------------------------|------|-----------------------|
| Expérimental I | 0,12 | 0,15 | 0,23 |
| Expérimental II | 0,17 | 0,15 | 0,18 |
| Expérimental III | 0,60 | 0,30 | 0,18 |
| Expérimental IV | 0,10 | - | 0,20 |
| Rural | 2000 au départ + 50/j | 1000 | 0 au départ + 25/j |
| Industriel | 3,33 m ³ | - | 6,66 m ³ |

2.2 Evaluation des performances énergétiques du biogaz produit

Le suivi quantitatif et qualitatif du biogaz produit est une étape primordiale pour une vraie caractérisation du co-produit principal de la biométhanisation, en vue d'une valorisation optimale.

L'analyse quantitative (production journalière et totale) a été réalisée au laboratoire 'Biogaz' du C.F.P.A.E.B, alors que l'analyse qualitative a été faite au Laboratoire d'analyses de la Société Tunisienne des Industries de Raffinage (S.T.I.R.), localisée à Bizerte. Cette analyse comprend une détermination de la composition du biogaz produit et de son pouvoir calorifique (PC).

Concernant la quantification, on a disposé d'un bac rempli d'eau (Vue 4) dans lequel, on a installé des béciers gradués pour récupérer le gaz produit (le gaz va chasser l'eau et prendre sa place, d'où, on peut lire directement la quantité produite à partir des graduations).



Vue 4: Système adopté de quantification du biogaz expérimental

Le prélèvement de biogaz a été réalisé en faisant appel à un système simple basé sur des vessies de ballon, comme le montre la vue 1 relative aux digesteurs expérimentaux.

Pour l'analyse de la composition gazeuse, on a eu recours à la technique de Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG). Cette technique est convenable pour les composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. Les composants déterminés par cette méthode sont les suivants : % Méthane (CH₄), % Dioxyde de carbone (CO₂), % Sulfure d'hydrogène (H₂S) et % Hydrogène (H₂).

En outre, on s'est intéressé également au potentiel énergétique, en estimant la valeur du pouvoir calorifique inférieur noté PCI.

Le PCI est l'énergie résultante de la combustion sans tenir compte de l'énergie consacrée à la vaporisation de l'eau. Cette énergie est calculée lorsque l'eau produite par la combustion reste à l'état de vapeur

La valeur du Pouvoir Calorifique Supérieur noté PCS, est déduite à partir de la relation ci-après.

$$PCS = PCI + \text{Chaleur latente de vaporisation}$$

2.3 Evaluation des performances environnementales des digesteurs mis en œuvre

Les paramètres environnementaux auxquels on s'est intéressé sont relatifs à la charge polluante (MES et DBO₅) de la matière digérée provenant de différents digesteurs. Les analyses ont été réalisées au Laboratoire 'Biogaz' du C.F.P.A.E.B.

Pour les MES, elles correspondent à l'ensemble de particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée [11]. Leur détermination permet d'estimer la biomasse bactérienne dans le digesteur [9]. L'analyse repose sur le principe de quantifier toutes les matières pouvant être décantables après élimination de la majeure partie de l'eau par filtration et évaporation dans l'étuve à 105 °C.

Concernant la DBO₅, ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en MO biodégradable d'une eau au cours des procédés d'autoépuration. Le principe de la mesure de la DBO₅ repose sur la quantification de l'oxygène consommé après incubation de l'échantillon durant cinq jours.

2.4 Evaluation de la valeur agronomique des digestats produits

2.4.1 Appréciation de l'aptitude à l'emploi du méthanocompost comme substrat de culture

L'appréciation de la valeur agronomique du méthanocompost à l'état pur ou en mélange s'est manifestée à l'aide d'un test portant sur le semis des graines du piment. Le méthanocompost utilisé dans cet essai a été prélevé après un temps de séjour de 15 jours dans le digesteur rural, puis séché pendant une période de 4 jours.

Trois types de substrats ont été testés, à savoir: une tourbe pure (témoin), un méthanocompost pur et un mélange constitué de 60 % tourbe et de 40 % méthanocompost.

Le suivi a porté sur le comportement des plants de piment installés dans des plaques alvéolées, de point de vue croissance en hauteur, tout en relevant les hauteurs cumulées des plants à des intervalles réguliers de quatre jours.

2.4.2 Appréciation de la capacité fertilisante du jus de process

La capacité fertilisante du jus de process est appréciée, en l'utilisant pour arroser des plantules de piment déjà préparées à l'avance (semées dans des plaques alvéolées sur un même support de référence qui est le terreau) tout en sélectionnant 24 plantules ayant des hauteurs homogènes qui vont être le support de l'expérimentation.

Ensuite, on a commencé l'arrosage des plantules sélectionnées avec les solutions préparées à raison d'un arrosage toutes les 48 heures pendant 20 jours, tout en prélevant les mesures de la hauteur cumulée à des intervalles réguliers de quatre jours.

Les solutions testées sont: l'eau (témoin), le jus de process concentré, ensuite dilué respectivement, à raison de 75 % et 25 %.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Evaluation quantitative et qualitative de la productivité gazeuse

3.1.1 Résultats de la quantification du biogaz produit

Dans le cas étudié, quand on parle de productivité quantitative du biogaz produit à partir de la biomasse animale dans des digesteurs de laboratoire, il y a deux échelles différentes.

Une grande échelle qui correspond à la productivité relevée pour le cas des fientes avicoles (Fig. 1) et la deuxième plus petite correspondant au cas de bouses bovines (Fig. 2).

Ce qui permet de conclure que la productivité du biogaz dépend du type de MO méthanisée et de la technologie d'alimentation (ou mode de digestion) du digesteur. Elle est plus élevée dans le cas de la biomasse avicole traitée dans un digesteur alimenté en continu.

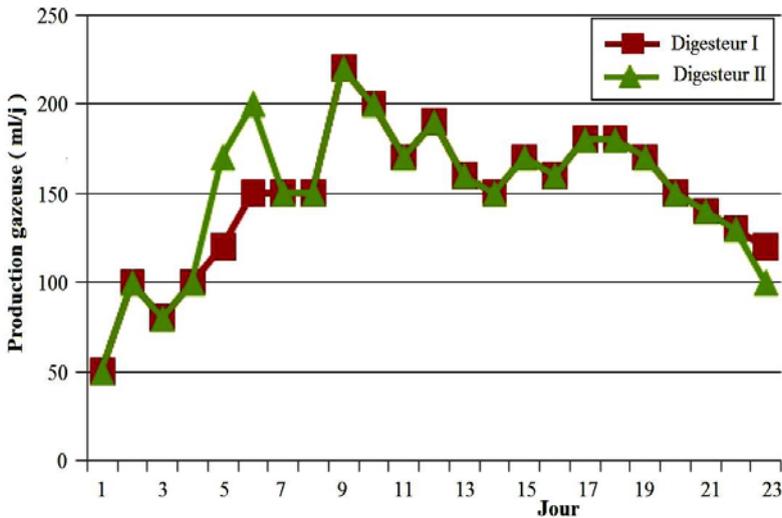


Fig. 1: Evolution du volume de biogaz avicole produit au niveau des digesteurs I et II

La production journalière du biogaz avicole n'est pas constante. Elle fluctue autour d'une valeur journalière moyenne, qui est de l'ordre de 142 ml pour le cas du digesteur I (6 % MS), et autour de 147 ml pour le cas du digesteur II (8 % MS).

Les résultats obtenus pour les deux digesteurs I et II sont conformes avec la bibliographie, qui indique une augmentation de la production de biogaz avec l'augmentation de la concentration des matières sèches 'MS' (Akrout, 1992).

Selon le même auteur, la concentration en MS des fientes de volailles dans un digesteur ne doit pas dépasser 10 %. Au-delà de cette valeur, la matière est dense et provoque rapidement l'arrêt de la fermentation méthanique.

La présence de divers pics pourrait être expliquée par l'existence des matières fraîches, qui n'arrivent pas régulièrement au niveau des bactéries et leur évacuation qui se fait avant leur décomposition complète.

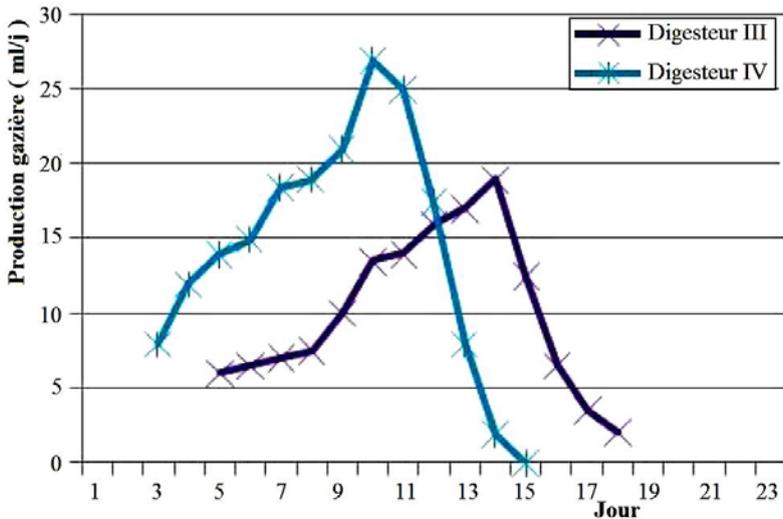


Fig. 2. Evolution du volume de biogaz bovin produit au niveau des digesteurs III et IV

L'effet combiné considérable de la température et de l'agitation sur la productivité du biogaz bovin est plus remarquable que l'effet de l'ajout de l'inoculum, de point de vue rapidité et quantité de production.

A cet égard, signalons que l'agitation permet de dégager les bulles de gaz à partir des couches profondes, de maintenir l'homogénéité de la température à différents niveaux et d'éviter la consolidation de la croûte à la surface du digesteur.

Elle favorise, en plus, l'approvisionnement des bactéries en substances nutritives et leur transport au substrat frais, nouvellement introduit, d'où, une amélioration nette de la quantité produite.

En termes de productivité, le digesteur IV a présenté une production totale de l'ordre de 187 ml avec un pic de production correspondant à 27 ml/j.

Pour le cas du digesteur III, il a enregistré un total égal à 141 ml de biogaz produit avec un maximum de l'ordre de 19 ml/j.

3.1.2 Résultats du suivi qualitatif de la productivité gazeuse

Le biogaz produit par le digesteur rural a subi un conditionnement (filtration, réduction de l'humidité, ...), de même, le biogaz industriel a subi un traitement par épuration/ en faisant appel à une désulfuration avec l'hématite de fer.

L'épuration consiste à éliminer non seulement les éléments traces comme la vapeur d'eau, l'hydrogène sulfuré et les composés halogénés, mais aussi le gaz carbonique, afin d'enrichir la concentration du biogaz en méthane.

Concernant le biogaz expérimental, aucun conditionnement n'a été mis en œuvre, de même, le suivi qualitatif s'est limité au biogaz produit au niveau des digesteurs expérimentaux I et II.

3.1.2.1 Composition gazeuse

Les résultats des analyses relatives à la composition en éléments majeurs du biogaz produit par les digesteurs testés sont donnés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4: Expression des résultats de la composition du biogaz produit

| Type de digesteur | | CH ₄ (%) | CO ₂ (%) | H ₂ S (%) | H ₂ (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Expérimental I | | 63,3 | 20,0 | 16,18 | 0,54 |
| Expérimental II | | 63,4 | 30,0 | 5,89 | 0,70 |
| Rural | Av. Conditionnement | 58,1 | 40,9 | Traces | Traces |
| | Ap. Conditionnement | 66,1 | 32,7 | Traces | Traces |
| Industriel | Avant épuration | 60,0 | 30,0 | 10,0 | Traces |
| | Après épuration | 75,0 | 25,0 | 0,00 | Traces |

La qualité du biogaz est évaluée essentiellement par le pourcentage de méthane (CH₄) qu'il contient. Un biogaz est d'autant meilleur que son pourcentage en méthane est élevé [1].

Pour le cas des digesteurs expérimentaux, le pourcentage de CH₄ produit généralement a augmenté avec l'accroissement de la concentration en MS (en passant de 6 à 8 %). Toutefois, l'élévation est négligeable. Il convient de noter que la teneur en méthane est influencée également par d'autres paramètres non suivis (rapport C/N, ...).

De même, le pourcentage de CO₂ s'est élevé aussi avec l'augmentation de la concentration en MS. Ceci pourrait être expliqué par la dissolution de l'ammoniac sous forme d'ammoniaque, élevant ainsi la valeur du pH, alors qu'après post-traitement du biogaz rural et du biogaz industriel, le pourcentage de cet élément vient de diminuer considérablement.

Le pourcentage de H₂S a diminué avec l'élévation de la concentration en MS dans les conditions expérimentales adoptées. Cependant, il convient de signaler que ce paramètre est généralement moins élevé que celui relevé. Dans l'état actuel, un tel taux engendre le phénomène de corrosion et l'épuration du biogaz produit s'avère fortement recommandée avant utilisation.

L'analyse des résultats de l'évaluation de la performance du post-traitement réalisé permet de dégager que le pourcentage de CH₄ après conditionnement a augmenté de 8 % (cas du digesteur rural) et de 15 % (cas du digesteur industriel), ce qui donne respectivement des rendements d'épuration de 13,8 % et 25,0 %.

Les résultats obtenus montrent une certaine efficacité du post-traitement du biogaz qui assure davantage une réduction en éléments polluants (CO₂, H₂S, ...) ainsi qu'une intensification en concentration du CH₄.

3.1.2.2 Pouvoir calorifique

Les résultats énergétiques correspondant à la mesure des PCI, et par la suite, à la détermination des PCS au niveau de différents digesteurs considérés, sont donnés dans le **tableau 5**.

Tableau 5: Résultats relatifs aux pouvoirs calorifiques

| Type de digesteur | PCI (kcal/Nm ³) | PCS (kcal/Nm ³) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Expérimental I | 5394 | 6011 |
| Expérimental II | 5429 | 6045 |

| | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|
| Rural | Av. Conditionnement | 4973 | 5532 |
| | Ap. Conditionnement | 5210 | 5932 |
| Industriel | Avant épuration | 5110 | 5984 |
| | Après épuration | 6389 | 7106 |

On remarque une légère augmentation des PCI et des PCS en fonction de la concentration en matières sèches, 'MS' dans le cas des digesteurs expérimentaux I et II.

Toutes les valeurs calorifiques relevées sont conformes avec celles indiquées par [10], et présentant un intervalle compris en général, entre 5000 et 8500 kcal/Nm³.

Après épuration, il y a une nette amélioration du pouvoir calorifique surtout dans le cas du digesteur industriel présentant un rendement égal à 25 %. On peut dire que le biogaz industriel produit présente des potentialités énergétiques valables avant et après épuration.

Le rendement d'épuration du digesteur rural est égal à 4,8 %. Ce faible rendement pourrait être expliqué par l'inefficacité du procédé de conditionnement mis en œuvre.

En définitive, il convient d'améliorer davantage le rendement d'épuration du biogaz pour atteindre le maximum théorique égal à 8500 kcal/Nm³ [10].

3.2 Appréciation des intérêts environnemental et agronomique des digestats

3.2.1 Etablissement des bilans de dépollution des MES et de la DBO₅

La figure 3 regroupe les résultats relatifs aux bilans de dépollution des MES et de la DBO₅ dans les différents types de digesteurs employés à l'exception des digesteurs expérimentaux III et IV non suivis sur le plan dépollution.

A l'échelle expérimentale, la consistance des digesteurs en MS influe considérablement sur les bilans de dépollution des MES et de la DBO₅, qui augmentent avec l'élévation du taux de MS des substrats introduits.

Cette observation est valable à condition que la concentration en MS ne dépasse pas 10 % [1], ce qui est confirmé par les résultats relevés pour le digesteur expérimental II à 8 % MS, qui présente des bilans de dépollution meilleurs que ceux obtenus pour le cas du digesteur expérimental I qui a enregistré des bilans de dépollution non satisfaisants, voire, relativement satisfaisants.

Même les résultats correspondants aux bilans de dépollution du digesteur II méritent d'être améliorés, et en particulier, le % de réduction de la charge polluante des MES.

Pour le cas des digesteurs rural et industriel, les MES sont en baisse continue tout au long du cheminement du substrat au cours du processus de biométhanisation.

A l'échelle rurale, et en allant du premier au second mélange, il y a une amélioration de la réduction de la charge polluante en MES évaluée à 29 % et qui pourrait être expliquée par la bonne biodégradation de la MO.

Cette biodégradation est meilleure dans le cas du digesteur industriel dont la réduction est supérieure à 80 % des MES au niveau du bassin de décantation et elle est largement due au système de digestion pratiqué, à cellules fixées, faisant appel à 6000 briques de 12 disposées en superposition et qui permet une bonne rétention des bactéries méthanogènes à l'intérieur du digesteur.

Un tel système n'existe pas au niveau des digesteurs expérimentaux, où le renouvellement par alimentation-extraction réduit en partie la population méthanogène, d'où, le bilan de dépollution est moindre dans le cas de la digestion expérimentale.

Par contre, concernant la DBO₅, le digesteur industriel présente des bilans de dépollution relativement satisfaisants et la réduction de la charge polluante dépasse 55 % dans les deux bassins.

Les résultats obtenus sont plus élevés que ceux retenus pour le digesteur rural qui présente des bilans de dépollution insuffisants et non satisfaisants pour les deux mélanges considérés.

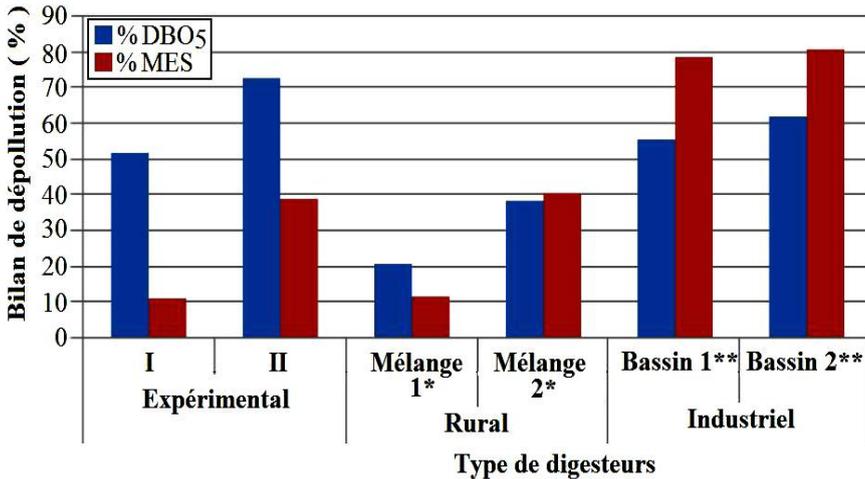


Fig. 3: Variation du taux de dépollution à différents échelles de production

- (*) Mélange 1: Mélange initialement introduit; Mélange 2: Mélange ultérieurement introduit
 (**) Bassin 1: Bassin des fientes digérées; Bassin 2: Bassin de décantation

3.2.2 Valorisation agronomique hors sol du méthacompost comme substrat de culture

Par comparaison entre les différents substrats de culture confectionnés (pur ou en mélange), la croissance en hauteur des plants du piment est presque identique pour les plants installés sur tourbe et sur méthacompost à l'état pur (Fig. 4).

Mais, les plants installés sur méthacompost ont présenté des tiges grêles, sensibles et quelques unes ont été brûlées et finissent par flétrir. La tourbe mélangée avec du méthacompost (à raison de 60 % tourbe et 40 % méthacompost) donne une croissance plus rapide et des hauteurs des plants plus élevées sans présenter des anomalies végétatives.

Le méthacompost produit ne peut pas être considéré comme substrat adéquat à l'état pur, à cause de sa porosité d'aération insuffisante, ce qui justifie son mélange selon des proportions adéquates, avec la tourbe qui a une porosité d'aération plus élevée.

Ces résultats préliminaires sont fort intéressants (étant donné la possibilité d'incorporation du méthacompost à raison de 40 % avec la tourbe) et méritent d'autres investigations avant d'être mis en application.

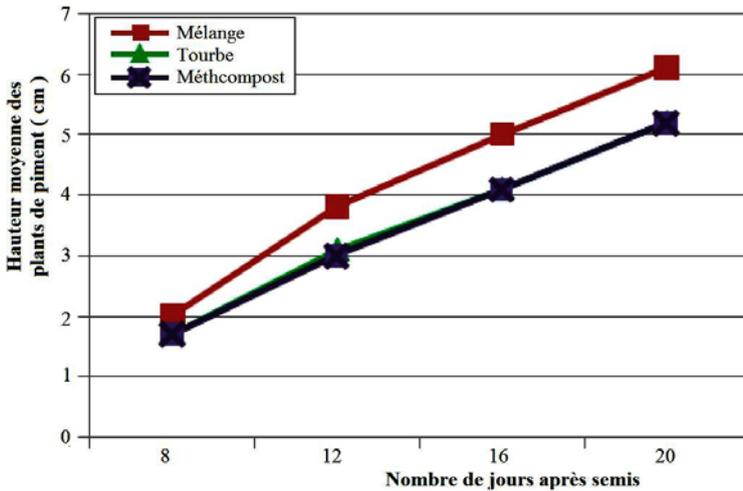


Fig. 4: Croissance en hauteur des plants de piment installés sur différents substrats

3.2.3 Valorisation agronomique hors sol du jus de process comme fertilisant

Le jus de process utilisé à l'état concentré pour l'arrosage des plants du piment a permis une croissance importante en hauteur atteignant 8 cm en 20 jours, mais il faut évoquer que plusieurs plants finissent par flétrir soudainement.

Les mêmes constatations ont été relevées pour l'arrosage avec une solution composée de 75 % Jus de Process et 25 % Eau (Fig. 5), aussi bien de point de vue croissance des plants que flétrissement soudain. Par contre, une solution composée de 25 % Jus de Process et 75 % Eau, permet une meilleure croissance sans présence d'anomalies de flétrissement.

De tels résultats méritent d'être confirmés en testant parallèlement le rapport de dilution 1/2, pour étudier la possibilité de fertigation des plants avec ce dernier rapport.

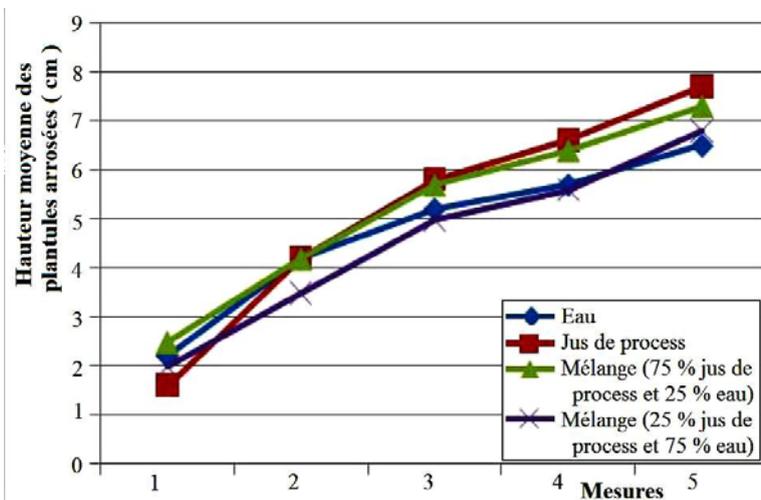


Fig. 5: Test de croissance des plantes de piment arrosées avec différentes solutions

4. CONCLUSION

Une fois la biométhanisation achevée, dans son application la plus simple, deux Co-produits sont obtenus: le Biogaz comme produit principal et un effluent (résidu) traité appelé Digestat subissant une séparation des phases débouchant sur deux fractions, l'une solide (Méthacompost) et l'autre liquide (Jus de Process).

A la lumière des résultats obtenus lors de cette étude se rapportant à la caractérisation des Co-produits de la biométhanisation, en vue d'une valorisation énergétique du biogaz produit, environnementale (réduction de la charge polluante) des déjections animales (fientes avicoles et bouses bovines) digérées dans divers types de digesteurs (expérimentaux, rural et industriel) et agronomique des résidus (méthacompost et jus de process), nous avons pu tirer quelques constatations intéressantes sur:

- L'effet combiné du mode de digestion (en continu ou en discontinu) et de la nature du substrat (avicole ou bovin) sur les performances énergétiques quantitatives du biogaz expérimental produit. La productivité gazeuse est plus élevée dans le cas des digesteurs alimentés en continu avec les fientes avicoles.

- L'effet de la concentration en MS, aussi bien sur la réduction de la charge polluante de point de vue MES et DBO₅ que sur les performances énergétiques qualitatives (composition gazeuse et pouvoir calorifique) du biogaz expérimental produit.

- L'évaluation des performances environnementales à l'échelle réelle (cas des digesteurs rural et industriel) montre un intérêt certain sur les plans réduction des MES et de la DBO₅ en faveur du digesteur industriel. Les bilans de dépollution obtenus sont faibles à relativement faibles pour le cas du digesteur rural, mais relativement satisfaisants à satisfaisants pour le cas du digesteur industriel.

- Le post-traitement du biogaz rural ou industriel permet d'augmenter davantage ses potentialités énergétiques sur les plans pourcentage de Méthane et PCI de 25 % dans le cas du digesteur industriel.

- L'utilisation de la tourbe en mélange avec du méthacompost, à raison de 40 %, comme substrat de culture hors sol s'avère très encourageante et performante vis-à-vis de la croissance en hauteur des plants du piment.

- Les pouvoirs fertilisants des jus de process sont très intéressants, en particulier, celui dilué à 75 % d'eau. Toutefois, les résultats obtenus ne sont que préliminaires et ils méritent d'être considérés avec prudence, en raison de certaines anomalies végétales relevées dans le cas des jus plus concentrés (de 75 à 100 %).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement tous les organismes impliqués dans ce travail, qui n'a été possible que grâce à la participation de la Société Avicole Frères Mhiri localisée à Hammam Sousse, Tunisie et du Centre de Formation Professionnelle Agricole en Elevage Bovin (C.F.P.A.E.B.) de Sidi Thabet, Tunisie, qui ont mis à leur disposition respectivement le digesteur industriel, le digesteur rural et le laboratoire 'Biogaz' (détermination du bilan de dépollution) avec ses digesteurs expérimentaux. Il en est de même pour la Société Tunisienne des Industries de Raffinage (S.T.I.R.) de Bizerte, qui a contribué à la réalisation des analyses qualitatives du biogaz produit.

REFERENCES

- [1] J. Akrouf, '*Etude Energétique de la Fermentation Méthanique des Fientes de Volailles: Optimisation des Facteurs Influent et Modélisation du Système*', Doctorat de Spécialisation, Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis, 143 p., 1992.
- [2] O. Almoustapha et J. Millogo-Rasolodimby, '*Production de Biogaz et de Compost à partir de Eichhornia crassipes, (Mart) Solms-Laub (Pontederiaceae) pour un Développement Durable en Afrique sahélienne*', Revue Vertigo, Vol. 7, N°2, 2006.
- [3] Document, '*Méthanisation et Production de Biogaz : Etat de l'Art*', (version 1), 37 p., APESA, 2007.
- [4] Rapport d'Etude, '*Quelle Place pour la Méthanisation des Déchets Organiques en Ile-de-France?*'. Etude réalisée pour le compte de l'ORDIF et de l'ARENE par le Bureau d'Etudes Solagro, 31 p., 2003.
- [5] F.J. Callaghan, D.A.J. Wase, K. Thayanithy and C.F. Forster, '*Co-Digestion of Waste Organic Solids: Batch Studies*', Bioresource Technology, Vol. 67, N°2, pp. 117-122, 1999.
- [6] D.P. Chynoweth, J.M. Owens and R. Legrand, '*Renewable Methane from Anaerobic Digestion of Biomass*', Renewable Energy, Vol. 22, N°1-3, pp. 1-8, 2002.
- [7] Y. Basset et T. Gosset, '*Atelier N°1 : La Bio-Méthanisation*', Journée Technique de Veolia Environnement, Espace Tamarun, Les Salines, 23 p., 2008.
- [8] C.F. Liu, X.Z. Yuan, G.M. Zeng, W.W. Li and J. Li, '*Prediction of Methane Yield at Optimum pH for Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste*', Bioresource Technology, Vol. 99, N°4, pp. 882 – 888, 2008.
- [9] R. Moletta, '*Contrôle et Conduite des Digesteurs Anaérobies*', Revue des Sciences de l'Eau, Vol. 2, N°2, pp. 265-293, 1989.
- [10] M. Mozambe, '*La Problématique de la Biométhanisation en République Démocratique du Congo*', Université du Québec, 38 p., 2002.
- [11] F. Ramade, '*Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement*', Ediscience Internationale, Paris, 1993.
- [12] Rapport, '*Méthanisation des Déchets Organiques. Etude Bibliographique*', N°01-0408/1A, 194 p., Record, 2003.
- [13] D.F. Toerien and W.H.J. Hattingh, '*Anaerobic Digestion I: The Microbiology of Anaerobic Digestion*', Water Research, Vol. 3, N°6, pp. 385 – 416, 1969.