

---

Soumis le : 30 Avril 2010  
 Forme révisée acceptée le : 29 Janvier 2012  
 Email de l'auteur correspondant :  
 msadak.youssef@yahoo.fr

---

## Diagnostique environnemental et énergétique des digesteurs anaérobies expérimentaux des fientes avicoles

M'SADAK Youssef \*, BEN M'BAREK Abir \*, ZOGHLAMI Rahma Inès\*

\* Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem 4042 Sousse, Tunisie

---

### Résumé

Ce travail consiste à étudier la biométhanisation, appliquée aux fientes avicoles fraîches enrichies par des bouses bovines noires, établie dans des digesteurs expérimentaux de laboratoire. Le suivi a concerné particulièrement certains paramètres physico-chimiques (pH, matière sèche: MS et substances volatiles: VS) et leur évolution au cours du processus de fermentation anaérobie, afin d'établir les bilans de dépollution. En outre, les productivités gazeuses quantitative (production journalière de biogaz) et qualitative (composition, rendement technologique et pouvoir calorifique du biogaz) ont été également évaluées.

*Mots clés :* Digesteurs expérimentaux; fientes avicoles; bilan de dépollution; quantité de biogaz; composition gazeuse; rendement technologique; pouvoir calorifique.

### 1. Introduction

L'idée de produire de l'énergie à partir d'effluents d'élevage paraît séduisante. Le fumier et le lisier de volailles, jusqu'ici plutôt considérés comme des charges, deviendraient des matières organiques « plus nobles », en raison de leur emploi comme sources d'énergie [18]. La biométhanisation, procédé de traitement biologique pouvant intéresser particulièrement la filière avicole, consiste à transformer de façon biologique de la matière organique (MO) en biogaz sous l'action de bactéries en absence d'oxygène [4, 5, 7, 16].

La dégradation de la MO par voie anaérobie est de plus en plus reconnue comme méthode fondamentale d'une technologie avancée permettant la protection de l'environnement et la conservation des ressources [1, 9, 12, 17]. Le bon fonctionnement (dépollution, potentialité énergétique) de ce type de procédé est conditionné largement par les conditions physico-chimiques du substrat mis en fermentation, entre autres, la température, l'agitation, le pH et la matière sèche (MS).

Dans l'optique de la maîtrise des conditions du milieu fermentaire pour une meilleure valorisation environnementale et énergétique, cette étude se propose comme objectif principal l'évaluation à l'échelle expérimentale, d'une part, du bilan de dépollution des fientes avicoles traitées par biométhanisation, en termes de

matières en suspension (MES) et de demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), et d'autre part, de la productivité gazeuse (production quantitative ; composition, rendement technologique et pouvoir calorifique). Par ailleurs, un suivi physico-chimique mis en œuvre a permis de surveiller l'évolution de trois paramètres, à savoir: pH, MS et VS.

### 2. Matériel et méthodes

#### 2.1. Dispositif expérimental : Unité expérimentale de biométhanisation

Le dispositif expérimental installé au niveau du laboratoire « Biogaz » du Centre de Formation Professionnelle Agricole en Elevage Bovin (CFPAEB) de Sidi Thabet (Tunisie) est constitué de quatre digesteurs d'une capacité de 500 ml chacun (Photo 1).

Il s'agit d'expérimenter la digestion anaérobie des fientes avicoles, selon le procédé de fermentation en continu selon un Temps de Rétention Hydraulique (TRH) de 10 jours. Les quatre digesteurs employés contiennent des fientes avicoles à différentes concentrations en MS (Tableau 1) en ayant recours à la dilution des fientes récupérées.



Photo 1. Dispositif expérimental de digestion adopté

Tableau 1

Variation du taux de MS entre les différents digesteurs mis en œuvre

Digesteur	% MS
Expérimental I	3
Expérimental II	6
Expérimental III	8
Expérimental IV	16

## 2.2. Protocole expérimental

La biométhanisation en continu appliquée aux fientes avicoles est très délicate. Elle demande un suivi quotidien du pH et un équilibre entre les différentes catégories des bactéries. Etant donné que les fientes avicoles sont de nature basique [1] et que la fermentation demande un milieu proche de la neutralité, une fermentation spontanée des fientes seules s'avère très lente. L'expérimentation a porté donc sur des fientes avicoles fraîches ramenées du Centre de Formation Professionnelle Agricole en Aviculture (CFPAA) de Sidi Thabet, ainsi que sur des bouses bovines préfermentées (ou bouses noires) diluées utilisées comme inoculum. Les caractéristiques des matières premières sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2

Caractéristiques des substrats utilisés

Matières premières	% MS	pH
Substrat avicole	20,9	8,7
Inoculum bovin	4,0	7,2

Une série préliminaire d'expérimentations entreprises durant une période de 60 jours était nécessaire, en vue d'une part, la familiarisation pratique avec le procédé, et d'autre part, la mise au point de la méthodologie à suivre.

Parmi les paramètres contrôlés, la température réglée manuellement au démarrage était de l'ordre de 35°C. La digestion est ainsi écartée de la zone thermophile, à cause du coût élevé d'énergie pour maintenir une température élevée, ainsi qu'à la sensibilité des bactéries thermophiles

aux changements des facteurs physico-chimiques, toutefois, une température de 30°C serait aussi efficace en passant à des échelles plus grandes de quantités de fientes à traiter. De même, on a écarté la digestion avec agitation pour se placer dans les conditions réelles d'un digesteur. Un tel choix devrait être également appliqué pour l'eau apportée à chaque digesteur considéré.

Le démarrage de ce type de procédé en continu est une phase critique exigeant la culture des bactéries méthanogènes. L'utilisation d'un inoculum très voisin de la neutralité et l'application d'une charge périodique s'avèrent nécessaires pour la stabilité de la phase de démarrage. La méthodologie ainsi adoptée consiste à adapter les bactéries méthanogènes produites par les bouses bovines à celles produites par les fientes avicoles. Après l'ensemencement, l'alimentation des digesteurs expérimentaux a été faite uniquement par les fientes fraîches.

Le but de cette phase préparatoire consiste donc à adapter les bactéries méthanogènes de bouses de vaches à leur nouveau milieu. Cette phase est très délicate et nécessite une acclimatation des digesteurs. Les quatre digesteurs expérimentaux ont subi cette phase. La durée de la phase de démarrage a été limitée à 10 jours.

L'équilibre entre la phase acidogène très rapide et la phase méthanogène très lente, a été réalisé selon un mode de renouvellement «alimentation-extraction» qui ne peut être entamé que si les digesteurs sont stabilisés. L'alimentation quotidienne en fientes était très faible et croissante jusqu'au remplissage des digesteurs.

Les quantités introduites de fientes fraîches, d'inoculum bovin et d'eau dans chaque digesteur, sont données dans le tableau 3.

Tableau 3

Remplissage des digesteurs pendant la phase de démarrage

Digesteur	Substrat (ml)	Inoculum (ml)	Eau distillée (ml)
Expérimental I	45	150	305
Expérimental II	120	150	230
Expérimental III	170	150	180
Expérimental IV	380	100	20

Les quantités de fientes additionnées et évacuées quotidiennement sont de 45 ml pour chaque digesteur (digesteur rempli à 450 ml). On a procédé à une extraction quotidienne de fientes digérées suivie de l'introduction du même volume, et ceci jusqu'à ce que la totalité du contenu du digesteur sera renouvelé.

Après la phase de démarrage ayant duré 10 jours, la quantité d'inoculum a été complètement extraite suite au renouvellement quotidien. À ce stade, l'alimentation-extraction a porté uniquement sur les fientes fraîches.

### 2.3. Suivi expérimental mis en oeuvre

Pour chaque digesteur, le suivi a touché plusieurs paramètres physico-chimiques, environnementaux et énergétiques pendant une période variable entre une à quatre semaines en fonction des performances relevées de digestion. Les analyses physico-chimiques et environnementales ont été effectuées au laboratoire « Biogaz » du CFPAEB de Sidi Thabet. Quant aux analyses qualitatives de biogaz, elles ont été accomplies aux laboratoires d'analyses relevant de la Société Tunisienne des Industries de Raffinage (STIR) de Bizerte.

#### 2.3.1. Analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques relevés ont porté sur:

- pH: déterminé d'une façon quotidienne, ce paramètre constitue une mesure globale des ions hydrogène.
- Taux de Matière Sèche (MS): c'est le taux complémentaire du degré d'humidité. Il s'agit donc de déterminer le pourcentage d'eau dans la matière à l'aide d'un séchage à l'étuve.
- Taux de Substances Volatiles (VS): c'est un paramètre fondamental à surveiller, car leurs accumulations entraînent des graves modifications physico-chimiques.

#### 2.3.2. Analyses environnementales

Les paramètres environnementaux suivis ont concerné:

- Matières En Suspension (MES) : elles regroupent les matières dont la densité est inférieure à la densité de l'eau. Elles correspondent à l'ensemble de particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée [14]. L'analyse se base 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.
- Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) : elle constitue un bon indicateur de la teneur en MO biodégradables d'une eau. En effet, toute MO biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène (O<sub>2</sub>) au cours des procédés d'autoépuration. Le principe de la mesure de la DBO<sub>5</sub> repose sur la quantification d'O<sub>2</sub> consommé après incubation de l'échantillon durant 5 jours.

#### 2.3.3. Suivi quantitatif de la productivité du biogaz

Ce suivi permet d'étudier l'évolution de la production quantitative du biogaz expérimental dans le temps et il s'est prolongé jusqu'à la fin de la phase de production pour les quatre digesteurs mis en oeuvre, à l'exception du digesteur I qui n'a pas produit de biogaz. Le système de suivi est sous forme d'un bac rempli d'eau dans lequel, on a disposé des béchers gradués (Photo 2). Le biogaz produit chasse l'eau qui se trouve dans les béchers pour prendre sa place.



Photo 2. Système de suivi quantitatif du biogaz

#### 2.3.4. Suivi qualitatif de la productivité du biogaz

Le suivi qualitatif a porté sur le biogaz une fois inflammable. Le dispositif de prélèvement du biogaz correspond à une chambre à air (vessie de ballon), servant pour le stockage du gaz à prélever et qui est remplie au fur et à mesure de la production (Photos 1 et 2).

- **Analyse de la composition du biogaz produit** : Les analyses ont porté sur les paramètres suivants: % de méthane (CH<sub>4</sub>), % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), % de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et % d'hydrogène (H<sub>2</sub>). Pour ce faire, 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.

- **Estimation du rendement technologique des digesteurs** : La détermination du rendement technologique permet de dimensionner le digesteur et de déterminer la meilleure installation, pour une production optimale de biogaz. Ce rendement est exprimé en l biogaz/l digesteur /jour.

- **Evaluation du pouvoir calorifique des digesteurs** : **Le pouvoir calorifique (PC)** est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'un matériau énergétique. On distingue le pouvoir calorifique supérieur (PCS) et le pouvoir calorifique inférieur (PCI). Ce dernier présente la quantité de chaleur dégagée par la combustion totale d'un matériau contenant encore un peu d'eau. Il est donc égal au PCS diminué de la quantité de chaleur consommée par l'évaporation de l'eau contenue dans ce matériau.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Suivi des paramètres physico-chimiques au cours de l'expérimentation

##### 3.1.1. Evolution du pH

On admet que le pH est le premier indicateur du mauvais fonctionnement éventuel d'un digesteur. Si le pH est au-dessous de 6,5, l'ajout de la chaux ou du bicarbonate de sodium corrige cette anomalie [8]. Par ailleurs, si le pH est au-dessus de 8,5, le biogaz sera riche en H<sub>2</sub>S [10]. Le pH optimum de la digestion anaérobie se situe autour de la neutralité, il est de 6,8 à 7,5. Si la valeur du pH est inférieure à 6,5 ou supérieure à 7,5, les bactéries seront alors inhibées [15].

Le suivi analytique a concerné le contrôle du pH avec l'ajout éventuel d'une quantité de NaOH (2,5N), afin de corriger le pH. Contrairement à ce qui a été attendu, la valeur du pH au sein de quatre digesteurs étudiés n'a jamais tombé au-dessous de la valeur limite pour la production de biogaz, qui est de 6,5. A cet égard, on n'a pas procédé à l'ajout de NaOH au cours des expérimentations mises en œuvre.

- **Phase de démarrage** : La figure 1 montre les variations du pH au cours de la phase de démarrage au niveau de quatre digesteurs mis en œuvre.

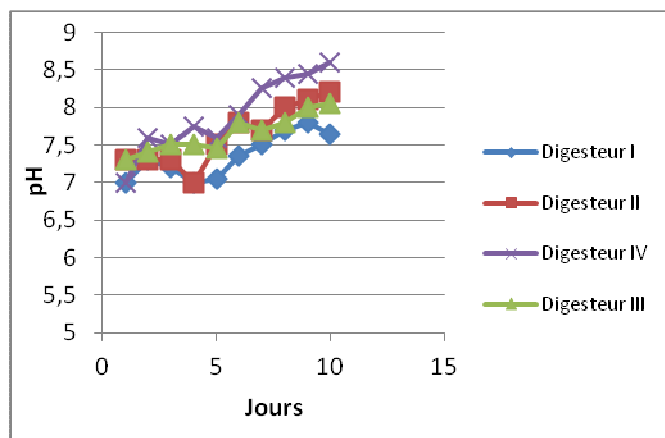


Figure 1. Evolution du pH pendant la phase de démarrage

Toutes les courbes suivent presque une ligne ascendante et donc une même allure. Les valeurs du pH ont dépassé, dans la plupart des cas, la valeur seuil de production de gaz qui est de 7,5 pour les divers digesteurs. Elles arrivent à atteindre des valeurs très élevées dépassant même les 8,6. Le digesteur I s'est avéré le seul présentant des valeurs proches de la réalité.

On constate dans l'ensemble, que plus la concentration en MS des fientes introduites est importante, plus la valeur du pH a tendance à s'élever. Cette observation peut être expliquée par la valeur basique du pH des fientes humides (fientes fraîches ayant des pH avoisinant 9 à cause des

quantités d'ammoniac produites par la biodégradation de la MO). Quant au digesteur I, le pH se situe aux alentours de 7, ceci pourrait être expliqué, d'une part, par la quantité importante d'eau distillée présente dans ce dernier, et d'autre part, par la faible quantité de matières à digérer.

**Phase de production gazeuse** : Durant la phase de production, le digesteur I n'a pas produit de gaz pendant les 10 premiers jours, on a jugé d'arrêter l'expérimentation à ce stade, malgré que les valeurs de pH étaient comprises entre 7 et 7,5, valeurs répondant aux normes de production de biogaz établies par [15]. Les digesteurs II et III se sont comportés de la même manière (Figure 2), puisque l'évolution du pH est constamment croissante avec un léger décalage de deux courbes à partir du 4<sup>ème</sup> jour, car la quantité de fientes fraîches ajoutée chaque jour est plus élevée pour le digesteur III que celle pour le digesteur II. Quant au digesteur IV, les valeurs du pH sont nettement élevées, ce qui explique la faible quantité de biogaz produite par ce digesteur à ce stade. Au bout de quelques jours, le suivi de ce digesteur n'est plus intéressant puisqu'il s'est avéré que la faible quantité de gaz produite ne peut suffire pour l'analyse qualitative de gaz. Les valeurs élevées du pH relevées au niveau de différents digesteurs (tant lors du démarrage que lors de la production) ne sont pas conformes à la théorie traitant la biométhanisation des fientes avicoles. Cette observation peut être due à l'alimentation des poules pondeuses basée en large partie sur la Pondeuse Formule 4 (PF4), tourteau de soja et en complément sur un minéral vitaminé. Elle peut être également due au taux d'ammoniac présent dans les fientes fraîches traitées et au pH de l'eau utilisée pour le raclage des poulaillers qui devraient être déterminés pour confirmer éventuellement cette hypothèse.

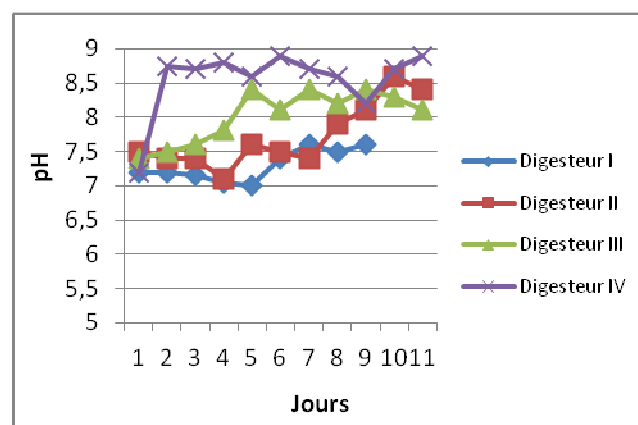


Figure 2. Evolution du pH au cours de la phase de production gazeuse

##### 3.1.2. Evolution de la matière sèche

La première prise a été effectuée après 10 jours (fin de la phase de démarrage), les prises d'échantillons suivants se sont succédées après un intervalle d'une semaine chacune pour s'assurer que le % de MS n'a pas varié au cours de la

phase d'alimentation-extraction. Le tableau 4 relate les résultats relevés pour la MS pour chaque prélèvement.

Tableau 4

Valeurs observées pour la MS

Digesteur	% MS		
	1ère prise	2ème prise	3ème prise
Expérimental I	3,3	--	--
Expérimental II	5,9	6,0	6,1
Expérimental III	7,9	8,0	8,0
Expérimental IV	16,6	16,4	--

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les valeurs de MS sont presque stables et n'ont pas varié au cours du temps. La légère variation enregistrée est négligeable et prouve le bon déroulement du processus de fermentation, et particulièrement, l'alimentation-extraction.

### 3.1.3. Evolution des substances volatiles

L'analyse des VS a été effectuée aussi à la fin de la phase de démarrage. L'échantillonnage a été réalisé par la suite chaque semaine. Le tableau 5 indique la variation des VS au cours de l'expérimentation.

Tableau 5

Valeurs relevées pour les VS

Digesteur	% VS		
	1ère prise	2ème prise	3ème prise
Expérimental I	2,6	--	--
Expérimental II	2,6	2,5	3,3
Expérimental III	2,4	2,5	3,0
Expérimental IV	9,3	10,3	--

Il y a lieu de constater que dans l'ensemble, le pourcentage de VS a tendance à augmenter légèrement au cours du temps. Cette constatation est en corrélation directe, surtout, avec l'aptitude à la décomposition de la matière à fermenter et de son TRH. Toutefois, on peut dire que la concentration en MS augmente le taux des VS, à partir d'un certain seuil. Cette augmentation apparaît nettement au niveau du digesteur IV (16 % MS).

## 3.2. Bilan de dépollution

### 3.2.1. Réduction des MES

Le tableau 6 regroupe les analyses relatives aux MES, présentes dans les digesteurs expérimentaux, effectuées avant et après fermentation.

Tableau 6

Résultats des analyses des MES

Digesteur	MES avant	MES après	Bilan de	
	Fermentation	Fermentation	dépollution	
	(mg/l)	(mg/l)	mg/l	%
Expérimental I	3,35	3,24	0,11	3,3

Expérimental II	15,30	13,70	1,60	10,5
Expérimental III	20,30	12,43	7,87	38,8
Expérimental IV	27,58	10,31	17,48	63,4

La consistance des digesteurs en MS influence considérablement sur le bilan de dépollution des MES. En effet, plus la MS est importante, plus la réduction des MES est croissante. On considère les bilans des digesteurs I et II comme non satisfaisants. Ceci peut être dû à la grande quantité d'eau présente et aussi à la courte durée du fonctionnement (cas du digesteur I). Ces deux digesteurs ont fait appel à des concentrations en MS relativement faibles ( $\leq 6$  %). A partir de 8 % MS (digesteur III), la réduction MES est plus intéressante.

### 3.2.2. Réduction de la DBO<sub>5</sub>

Comme pour les MES, la détermination du bilan de dépollution de la DBO<sub>5</sub> nécessite la réalisation de deux prises d'échantillons avant et après fermentation. Le tableau 7 montre les résultats obtenus pour les quatre digesteurs expérimentaux considérés.

Tableau 7

Bilan de dépollution de la DBO<sub>5</sub>

Digesteur	Début de la fermentation (mg/l)	Fin de la fermentation (mg/l)	Bilan de dépollution	
			mg/l	%
Expérimental I	947,21	827,17	120,04	12,70
Expérimental II	1128,05	548,93	579,12	51,30
Expérimental III	1340,95	373,91	967,04	72,10
Expérimental IV	2398,62	1471,29	927,33	38,70

On constate que le bilan de dépollution de la DBO<sub>5</sub> augmente en fonction de la concentration de la MS introduite dans le digesteur. 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 IV (16 % de MS) dont le bilan de dépollution est plus faible par rapport au digesteur III à 8 % de MS qui présente le meilleur bilan de dépollution de DBO<sub>5</sub>. Le digesteur I a enregistré un bilan de dépollution non satisfaisant, alors que le digesteur II révèle un bilan relativement satisfaisant.

### 3.3. Résultats du suivi de la productivité gazeuse

Il s'agit de suivre quantitativement et qualitativement la production du gaz au niveau des digesteurs expérimentaux. Le suivi énergétique au niveau du digesteur I a été raté faute de manque de production.

#### 3.3.1. Analyses quantitatives de la productivité gazeuse

Le suivi a été réalisé juste après la phase de démarrage, c'est-à-dire après 10 jours du début de l'expérimentation. La figure 3 ci-après montre les courbes de productions

quantitatives journalières du biogaz relevées pour les trois digesteurs fonctionnels.

Pour le digesteur II (6 % de MS), la production journalière du biogaz n'est pas constante. Elle a fluctué autour d'une valeur moyenne, qui est de l'ordre de 142 ml. La courbe présente un pic au 9<sup>ème</sup> jour de l'ordre de 220 ml.

Pour le digesteur III (8 % de MS), la valeur moyenne de production journalière est de l'ordre de 147 ml. Il présente deux pics importants l'un au 6<sup>ème</sup> jour (200 ml), quant à l'autre, il est au 9<sup>ème</sup> jour (de l'ordre de 220 ml).

Les résultats obtenus pour les deux digesteurs II et III sont conformes avec la bibliographie qui prévoit une augmentation de la production de biogaz avec l'augmentation de la concentration de MS [1]. La présence de divers pics peut 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.

Pour le digesteur IV (16 % de MS), la valeur moyenne calculée pour la production journalière est de l'ordre de 54 ml. Il s'agit d'une très faible production de biogaz, malgré que la concentration en MS soit élevée. Ceci peut être expliqué par l'accumulation de la matière mise en fermentation dans le digesteur, pouvant occasionner le bouchage, dès la première semaine de l'alimentation avec les fientes. Ce qui explique en conséquence la chute de la production de biogaz au cours du temps.

Selon la littérature, la concentration en MS des fientes de volailles dans un digesteur ne peut pas dépasser 10 %. Au-delà de cette valeur, la matière est dense et provoque rapidement l'arrêt de la fermentation méthanique [1].

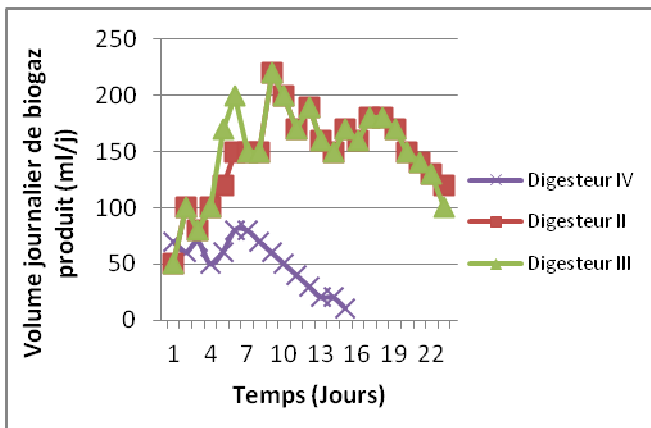


Figure 3. Evolution du volume de biogaz produit au niveau des digesteurs considérés

### 3.3.2. Analyses qualitatives de la productivité gazeuse

La qualité du biogaz est évaluée essentiellement par le pourcentage de méthane ( $\text{CH}_4$ ) qu'il contient. Un biogaz est d'autant meilleur que son pourcentage en méthane est élevé. La qualité du biogaz selon [1] varie en fonction de la température, du TRH et de la concentration en MS.

**Composition gazeuse :** Lors des travaux réalisés, les analyses de composition du biogaz produit par les digesteurs II et III ont été effectuées après trois semaines de la fin de la phase de démarrage et leurs résultats sont donnés dans le tableau 8.

Tableau 8

Expression des résultats de la composition du biogaz produit

Digesteur	% $\text{CH}_4$	% $\text{CO}_2$	% $\text{H}_2\text{S}$	% $\text{H}_2$
Expérimental II	63,28	20,0	16,18	0,54
Expérimental III	63,40	30,0	5,89	0,70

Le % de  $\text{CH}_4$  produit généralement s'élève selon l'augmentation de la concentration en MS. 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, ...).

Le % de  $\text{CO}_2$  s'élève aussi avec l'augmentation de la concentration en MS, ceci est expliqué par la dissolution de l'ammoniac sous forme d'ammoniaque, élevant ainsi la valeur du pH.

Le % de  $\text{H}_2\text{S}$  a diminué avec l'élévation de la concentration en MS dans les conditions expérimentales adoptées. Toutefois, 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.

Le travail entrepris a eu le mérite d'avoir pensé à l'inoculum, mais, il serait souhaitable, dans l'avenir, de le compléter en conduisant un suivi microbiologique de l'évolution de l'inoculum méthanisant en parallèle aux autres paramètres physico-chimiques et de production. Aussi, il serait nécessaire d'utiliser un inoculum concentré et d'ajouter une source de carbone dans le mélange

**Rendement technologique et pouvoir calorifique des digesteurs :** Les résultats énergétiques correspondant au calcul du rendement technologique et à l'estimation des PCI et des PCS au niveau de deux digesteurs sont relatés dans le tableau 9.

Tableau 9

Résultats relatifs aux paramètres énergétiques

Digesteur	Rendement technologique (l biogaz/l digesteur /jour)	PCI (kcal/Nm <sup>3</sup> )	PCS (kcal/Nm <sup>3</sup> )
Expérimental II	1,40	5394	6011
Expérimental III	1,41	5429	6045

Le rendement technologique pour les fientes de volailles varie entre 0,5 et 2,5 l biogaz/l digesteur/jour [1]. Il est en relation avec le % de  $\text{CH}_4$ , c'est pour cela que l'on ne

remarque pas vraiment une différence entre les deux digesteurs.

On remarque une légère augmentation des PCI et des PCS en fonction de la concentration en MS. Les valeurs calorifiques relevées sont conformes à celles indiquées par [13] qui annonce une fourchette comprise généralement entre 5000 et 8500 kcal/Nm<sup>3</sup>.

#### 4. Conclusion

L'emploi de la digestion anaérobie comme procédé de dépollution et de production d'énergie a des atouts raisonnables pour s'imposer dans des nombreux secteurs générateurs de déchets, particulièrement d'origine animale.

À la lumière des résultats acquis lors de cette étude se rapportant à la valorisation environnementale et énergétique des fientes avicoles, on a pu tirer quelques informations intéressantes sur l'effet de la concentration en MS aussi bien sur la réduction de la charge polluante de point de vue MES et DBO<sub>5</sub> que sur les performances énergétiques (productivité quantitative gazeuse, composition du biogaz, ...).

Il apparaît que les fientes avicoles nécessitent un ensemencement des bactéries méthanogènes pour le bon démarrage de la fermentation méthanique (inoculum utilisé à base de bouses noires bovines).

Il ressort également les principales constatations ci-après.

- Le pH a évolué d'une manière très accélérée, atteignant dans la plupart des cas des valeurs supérieures au seuil limite de production, pendant la phase de démarrage et les courbes d'évolution étaient rapprochées. Pendant la phase de production, seuls les deux digesteurs II et III se sont comportés de la même manière et ont été fonctionnels pour produire du biogaz.

- Le suivi de la MS et des VS pendant la phase de production et les résultats significatifs obtenus permettent d'affirmer le bon déroulement du processus de fermentation (aptitude à la décomposition de la matière à traiter), et particulièrement, l'alimentation-extraction.

#### Références

- [1] Akrouit J. 1992. Etude énergétique de la fermentation méthanique des fientes de volailles : optimisation des facteurs influents et modélisation du système. Doctorat de spécialisation ; ENI, Tunisie, 143p.
- [2] Albertson-Maurice L., Pruden A., Oliver R-T., 2006. Enhanced anaerobic digestion of biomass waste for optimized production of renewable energy and solids for compost. International Congress Series 1293, p. 221-229.
- [3] Aubert C., 1982. Digestion anaérobie des déchets d'élevage. Thèse, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [4] Brodeur C., Crowley D., Desmeules X., Pigeon S., Saint-Arnaud R-M., 2008. La biométhanisation à la ferme : Publication no EVC 033 : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 18p.

- Le digesteur III présente les bilans de dépollution les plus significatifs, que ce soit pour les MES (38,8 %) que pour la DBO<sub>5</sub> (72,1 %). En effet, c'est l'augmentation de la concentration de la MS introduite dans le digesteur qui agit considérablement sur le bilan de dépollution relatif à ces deux paramètres environnementaux. Cette observation est valable à condition que la concentration en MS ne dépasse pas 10 %, ce qui est confirmé par les résultats relevés pour le digesteur III (8 % de MS).

- Les résultats d'évaluation quantitative du biogaz produit par les digesteurs II et III montrent qu'ils sont en accord avec la théorie qui prévoit une augmentation de la production de biogaz avec l'augmentation de la concentration de MS. La production journalière maximale est enregistrée au niveau du digesteur III (147 ml) présentant un pic atteignant 220 ml.

- La caractérisation qualitative du biogaz produit au niveau des digesteurs II et III a montré un intérêt certain et une qualité acceptable sur les plans composition (63 % de CH<sub>4</sub>), rendement technologique (1,41 l biogaz/l digesteur /jour) et pouvoir calorifique (PCI = 5429 kcal/Nm<sup>3</sup>).

#### Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Centre de Formation Professionnelle Agricole en Aviculture (CFPAA) de Sidi Thabet (Tunisie) qui mis à leur disposition les fientes avicoles utilisées comme matières premières dans le processus de fermentation anaérobie, le Centre de Formation Professionnelle Agricole en Elevage Bovin (CFPAEB) de Sidi Thabet qui a mis à leur disposition les bouses bovines utilisées comme inoculum, son laboratoire «Biogaz» (analyses physico-chimiques, bilan de dépollution et caractérisations quantitatives) et ses quatre digesteurs expérimentaux, ainsi que la Société Tunisienne des Industries de Raffinage (STIR) de Bizerte qui a soutenu la réalisation des analyses qualitatives du biogaz produit (composition gazeuse et pouvoir calorifique).

- [5] Delacour E., 2009. La méthanisation : production d'énergie et de compost à partir des déchets collectés sur le territoire. Bioénergies, quelles utilisations et quels enjeux en Picardie ?. Printemps de l'industrie, 19 Mars 2009, 18p.
- [6] Demeyer A., Jacob F., Jay M., Menguy G., Perrier J., 1980. La conversion bioénergétique du rayonnement solaire et les biotechnologies, 309p.
- [7] Frantz R. et Meier-Wawrzyniak V., 2009. La méthanisation agricole en France : Quelle technologie ? Voie liquide continue ? Voie sèche ?. Ateliers SIMA 2009 –26 février 2009. 17p.
- [8] Galy A., Pyke J., 1991. Amélioration of methane yield in cheese whey fermentation by controlling the pH of the methanogenic stage. Applied Biochemistry and biotechnology, 27, 1, p. 217-237.
- [9] Gomez X., Cuetos M-J., Cara J., Moran A., Garcia A-L., 2006. Technical Note Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes Conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate. Renewable Energy 31, p. 2017-2024.

- [10] Graieb M., 1988. Etude et réalisation d'une installation de méthanisation avec chauffage. Mémoire de Spécialisation, Institut National Agronomique de Tunis.
- [11] Holm-Nielsen J-B., Al Seadi T., Oleskiewicz-Popiel P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology* 100, p. 5478-5484.
- [12] Moletta R. 1989. Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies. *Revue des sciences de l'eau* 2, p. 265-293.
- [13] Mozambe M. 2002. La problématique de la biométhanisation en République démocratique du Congo. Université du Québec, 38p.
- [14] Ramade F. 1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Édiscience internationale, Paris.
- [15] Roque H., 1981. Fondements théoriques du traitement biologique des eaux. Chap. 3-6 Traitement anaérobie, p. 1476-1532.
- [16] Saidi A. et Abada B., 2007. La biométhanisation : une solution pour un développement durable. *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, p. 31-35.
- [17] Schievano A., D'Imporzano G., Adani F., 2009. Substituting energy crops with organic wastes and agro-industrial residues for biogas production. *Journal of Environmental Management* 90, p. 2537-2541.
- [18] Ward A-J., Hobbs Ph-J., Holliman P-J., Jones D-L., 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology* 99, p. 7928-7940.