

## Caractérisation des fumiers des dindes de chair et du digesteur à adopter dans une exploitation agro-industrielle (Tunisie)

Y. M'Sadak \*, I. Ghariani † et N. Ben Salah

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

(reçu le 10 Décembre 2014 - accepté le 10 Janvier 2017)

**Résumé** - Parmi les problèmes engendrés par l'aviculture, celui concernant les déjections est le plus crucial, car elles sont à l'origine de nuisances olfactives et de pollutions. La biomasse avicole générée lors de l'élevage des dindes de chair est constituée par les déjections solides ou fumiers. Ces effluents ont été utilisés traditionnellement comme fertilisant par l'épandage direct sur le sol. Ils peuvent être traités par voie biologique (biométhanisation et/ou compostage). Cette contribution est consacrée à la caractérisation qualitative des fumiers des dindes de chair produits par une entreprise agro-industrielle à Moknine (Tunisie), en vue d'estimer leur potentiel énergétique, nécessaire au dimensionnement d'une station typique de biométhanisation-compostage. Au total, 10 échantillons moyens de Fumiers des Dindes (FD) ont été prélevés à partir de 10 bâtiments d'élevage selon le système d'élevage et l'âge. Les résultats acquis ont dévoilé que la biomasse étudiée est facilement biodégradable, ce qui lui confère une bonne aptitude à la production du biogaz, et particulièrement, du co-compost en associant un agent structurant. Néanmoins, les FD ont présenté une conductivité électrique (CE) très élevée et un rapport C/N inférieur à l'optimum. L'estimation du pouvoir énergétique a permis la détermination de la capacité initiale du digesteur (de l'ordre de 460 m<sup>3</sup>).

**Abstract** - Among the problems caused by poultry farming, manures is the most crucial because they are the source of odors and pollution. Poultry biomass generated during rearing broiler turkeys consists of solid waste or manure. These effluents have been traditionally used as fertilizer by direct application on the ground. They can be treated biologically (Biomethanation and/or composting). This contribution is devoted to the qualitative characterization of manures of broiler turkeys produced by agribusiness company in Moknine (Tunisia), to estimate their energy potential necessary to the design of a typical station Biomethanation-composting. A total of 10 samples of Manures means of Turkeys (MT) were taken from 10 livestock buildings according to the rearing system and age. The results obtained have revealed that the biomass is considered readily biodegradable, which gives it a good capacity for the production of biogas, especially, Co-compost by combining a structuring agent. However, MT showed a high Electrical Conductivity (EC) and a C/N ratio lower than the optimum. The estimated energy power has allowed the determination of the initial capacity of the digester (around 460 m<sup>3</sup>).

**Mots clés:** Déjections Avicoles Solides - Caractérisation physico-chimique - Biométhanisation agro-industrielle - Capacité du digesteur.

### 1. INTRODUCTION

L'explosion démographique, l'expansion des villes, l'amélioration du niveau de vie des populations, l'industrialisation et la diversification des activités socioéconomiques, engendrent une libération massive de déchets de toute sorte dans le milieu naturel, d'où une pollution de plus en plus grave et une fragilisation à long terme de l'écosystème [1]. Aussi, l'agriculture et l'industrie génèrent des rejets nocifs pour l'environnement.

---

\* msadak.youssef@yahoo.fr

† inaam.ghariani@gmail.com

Pendant longtemps, les effluents de ces deux secteurs ont été rejetés dans la nature sans réelle précaution [2]. L'aviculture est l'un des secteurs dominants pour la production animale dans le monde [3]. L'augmentation de cette production est accompagnée par la progression de déjections produites dans les bâtiments de l'élevage. Il est donc indispensable de recycler ces déchets tout en respectant l'environnement.

La préservation durable du milieu nécessite une gestion rationnelle de ces déchets insalubres et leur traitement ou recyclage avant tout rejet dans la nature [4]. Des études récentes [5] ont montré la faisabilité de transformer les déchets animaux, tel que les fumiers de poulets et de dindes, en charbon actif pour les applications d'assainissement.

Parmi les autres méthodes de traitement adoptées dans de nombreux pays, il y a la Digestion Anaérobie (DA) ou Biométhanisation des déchets organiques. Cette méthode offre une avantageuse alternative au rejet en décharge, à l'enfouissement et à l'incinération.

La Biométhanisation des déchets permet de produire du biométhane (biogaz) et de l'exploiter, ainsi que des boues stabilisées (digestats solide et liquide) pouvant servir d'engrais, une fois séchées. La Biométhanisation est une fermentation anaérobie ou plus exactement un processus biochimique très complexe, où la Matière Organique (MO) est dégradée par des microorganismes naturellement présents dans le substrat [6].

Les déchets générés lors de l'élevage et de la transformation avicoles sont fondamentalement de deux types: solides et liquides. Les déchets solides ou fumiers sont l'ensemble des déjections de volailles, mêlées à un support de paille ou de copeaux de bois [7].

Ils ont été utilisés traditionnellement comme engrais organique fertilisant par l'épandage direct sur le sol. En revanche, les déchets liquides (boues, sang et eaux usées d'abattoir) exigent toujours des traitements spécifiques, afin de mieux assurer leur valorisation.

Cette étude constitue une contribution à l'évaluation qualitative (de point de vue notamment chimique) des fumiers des dindes de chair produits par une entreprise agro-industrielle à Moknine (Monastir, Tunisie), en vue d'estimer leur potentiel de production du biogaz, indispensable au dimensionnement d'une station typique de Biométhanisation-compostage à mettre en place.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Matériel expérimental

Pour caractériser qualitativement les ressources en biomasse avicole, au total, 10 échantillons moyens de Fumiers des Dindes (FD) ont été prélevés à partir de 10 bâtiments d'élevage de dindes de chair, selon le système d'élevage (Traditionnel ou Moderne) et selon l'âge (Démarrage, Intermédiaire et Finition). L'échantillonnage a été réalisé comme suit: pour chaque prélèvement, le bâtiment a été divisé en trois compartiments.

Dans chaque compartiment, cinq (05) prises de (05) endroits différents ont été considérées (une poignée, de l'ordre de 150 g par prise). L'échantillon final, d'environ 2500 g par bâtiment, est constitué de 15 prises mélangées et homogénéisées, afin de retirer 500 g comme échantillon final.

Les moyennes se rapportent à la moyenne relevée pour deux bâtiments (2 répétitions) par âge et système d'élevage (05 situations étudiées). Il est à signaler que pour l'élevage moderne des dindes, la récupération de fumier d'âge intermédiaire a été

abandonnée à cause du transfert des bandes, suite à la pénétration des pluies violentes au niveau des bâtiments considérés.

## 2.2 Caractérisation qualitative

### 2.2.1 pH

Le pH est un indice de l'acidité ou de l'alcalinité de l'échantillon. Il est mesuré après mise en solution de 20 g de l'échantillon, dans 100 ml d'eau distillée. La méthode utilisée consiste à préparer une suspension du substrat dilué séché dans 05 fois son volume d'eau (1 : 5), la laisser en agitation pendant 05 mn, ensuite la faire reposer pendant au moins deux heures. La lecture du pH se fait par un pH-mètre.

### 2.2.2 Conductivité électrique

La Conductivité Electrique (CE) d'une solution est un indice des teneurs en sels solubles. Elle permet de mesurer la concentration en ions solubles ou la salinité d'un substrat par le biais de la propriété d'une solution aqueuse de conduire l'électricité relativement à sa concentration en ions [8]. La mesure se fait généralement en mS/cm ou à l'aide d'un conductimètre (Rapport d'extraction de 1: 5 pour dissoudre les électrolytes).

### 2.2.3 Matières sèche, minérale et organique

La détermination de la Matière Organique (MO) et des cendres est effectuée suivant la Norme Tunisienne (NT) relative au dosage de la MO du fumier.

Le taux de Matière Sèche (MS) est déterminé par dessiccation à l'étuve. Les échantillons de fumier, placés dans des creusets en porcelaine, sont séchés à 105 °C pendant 24 h. On pèse le creuset vide identifié par un numéro, soit Pt. Ensuite, on place l'échantillon dans le creuset et on le pèse, soit P1. Puis, on place le creuset dans l'étuve et on le pèse après séchage, soit P2.

$$MS(\%) = (P2 - Pt) / (P1 - Pt)$$

Pour déterminer le taux de la Matière Minérale (MM) au niveau de chaque substrat, on pèse le creuset vide identifié par un numéro, soit Pc. Puis, on dépose 3 g de l'échantillon dans un creuset et on pèse le creuset plein, soit P1\*. Après avoir placé le creuset dans l'étuve, on le pèse après séchage, soit P2\*. Ensuite, on place le creuset dans le four et on le pèse après incinération, soit P3\*.

Le poids restant après incinération correspond à la MM.

$$MM(\% MS) = (P3* - Pc) / (P2* - Pc)$$

La MO est déterminée par l'expression suivante:

$$MO(\% MS) = 100 - MM(\% MS)$$

La détermination du Carbone Organique Total (COT) est obtenue par déduction.

$$\% COT = \% MO / 1.8$$

Notons que la relation entre MS, MM et MO s'exprime par la formule suivante:

$$MS = MM + MO$$

### 2.2.4 Dosage de l'azote total

L'azote est dosé par la méthode de Kjeldhal [9] dont le principe repose sur l'attaque de l'extrait par l'acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). L'azote organique se transforme en azote ammoniacal.

Le dosage d'azote repose sur le principe décrit dans ce qui suit. Dans chaque matras à digestion, on introduit 200 mg du substrat tout en évitant d'en déposer sur le col du matras, 5 ml d'acide sulfurique concentré; c'est la phase de minéralisation. Après un repos de 30 mn, on ajoute 200 mg de catalyseur à base de sélénium et on passe les matras dans le digesteur pour se chauffer pendant 1 heure jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune; c'est la phase de digestion.

Après refroidissement, on ajoute 30 ml d'eau distillée dans le matras et on le fixe à l'appareil à entraînement par la vapeur et on lui ajoute 30 ml de lessive de soude pour alcaliniser le milieu ; c'est la phase de distillation. Le dosage est effectué d'une façon automatisée. Les teneurs en azote relatives à chaque substrat sont affichées directement dans une fiche de mesure sur ordinateur branché au distillateur.

### 2.2.5 Dosage de phosphore par spectrophotomètre

Le phosphore est extrait par agitation dans une solution de bicarbonate de sodium. Le dosage se fait par spectrophotomètre en milieu acide. Le phosphate dissous forme avec le molybdate d'aluminium un oxyde de couleur bleue. L'intensité est proportionnelle à la concentration du phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La mesure est faite à 600 nm.

La formule de calcul est la suivante:

$$P_2O_5 \text{ ppm} = \text{Phosphore Total (P)} \times 2.3$$

### 2.2.6 Dosage de phosphore par complexométrie

Le calcium (Ca<sup>2+</sup>) est dosé par complexométrie qui est une méthode volumique dans laquelle la solution titrante contient un ligand qui forme avec l'ion à doser (Ca<sup>2+</sup>) un complexe suffisamment stable. La solution titrante utilisée est une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA). L'EDTA est un des ligands les plus employés en complexométrie. En solution aqueuse, le sel disodique de l'EDTA est sous forme ionisée. Si le milieu est tamponné à un pH = 10, une mole d'EDTA correspond à une mole de Ca<sup>2+</sup>.

## 2.3 Estimation du pouvoir énergétique et de la capacité du digesteur à mettre en œuvre

Avant de déterminer les dimensionnements et les descriptifs techniques des équipements constitutifs de l'installation de Biométhanisation, il faut tout d'abord comparer et sélectionner la technologie la mieux adaptée au projet envisagé. A ce propos, on peut se baser, d'une part, sur la nature physique du substrat biométhanisable (voies humide ou sèche), et d'autre part, sur le mode de digestion anaérobie (en discontinu ou en continu).

Après avoir comparé les différents types de digesteurs envisageables, le procédé continu à cultures fixées par voie sèche a été retenu pour l'installation envisagée de Biométhanisation. En effet, le procédé par voie sèche (% MS de 30 à 40 %) est surtout développé pour traiter les déchets solides. Ce procédé nécessite un volume moindre mais une bonne maîtrise de la circulation de la matière à traiter (pompage et brassage).

Des mesures de sécurité importantes sont à prendre pour l'ouverture et la fermeture du digesteur. Le digesteur est chargé d'une façon régulière de Matière Fraîche (MF). En conséquence, un volume identique de matière dégradée est évacué quotidiennement du digesteur.

Le digesteur est chargé d'une façon régulière de Matière Fraîche (MF). En conséquence, un volume identique de matière dégradée est évacué quotidiennement du digesteur. Dans ce système, le biogaz est produit en continu. Le fonctionnement continu garantit un certain équilibre aux populations bactériennes, ce qui contribue à la stabilité du process. Un tel procédé engendre une production continue de biogaz.

Le principal inconvénient est lié aux coûts d'installation et d'entretien plus élevés par rapport au système discontinu, tout en exigeant de la technicité poussée.

Pour la production du biogaz, on va utiliser du fumier des dindes de chair et des eaux usées traitées de l'abattoir de volailles en place, pouvant servir pour l'arrosage lors de l'alimentation du digesteur par le fumier considéré. Pour estimer la productivité quantitative de biogaz, on a eu recours à certaines estimations évoquées aussi bien par Fischer [10] et Camirand [11], une tonne de MF de fumier de volailles produit 61 à 112 m<sup>3</sup> de biogaz, que par Biogaz PlanET [12], un volume de 1 m<sup>3</sup> de biogaz (issu du fumier des dindes) donne 3.58 kWh thermique.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Evaluation qualitative des fumiers des dindes

##### 3.1.1 pH et conductivité électrique

Le **Tableau 1** récapitule le pH et la CE relevés pour chaque substrat étudié selon le système d'élevage et l'âge.

**Tableau 1:** pH et CE des fumiers des dindes de chair selon le système et l'âge d'élevage

		pH	CE (mS/cm)
<b>Norme</b>		6 < pH < 8	0,5 à 2,0
<b>Référence</b>		[15]	[16]
<b>FDT</b>	Age Démarrage (AD)	7,5	4,5
	Age Intermédiaire (AI)	7,3	7,7
	Age Finition (AF)	6,8	10,1
<b>FDM</b>	Age Démarrage (AD)	6,9	8,7
	Age Intermédiaire (AI)	-	-
	Age Finition (AF)	7,0	10,8

FDT : Fumier des Dindes de Chair Traditionnel

FDM : Fumier des Dindes de Chair Moderne

De point de vue pH, ce dernier, révèle l'activité des ions hydrogènes (H<sup>+</sup>) en solution. Il est exprimé selon une échelle de 0 à 14, la neutralité se situe à un pH de 7. Si la concentration des ions H<sup>+</sup> est plus élevée, le pH est acide. A l'inverse, le pH sera alcalin [13]. D'après Mustin [14], le développement des bactéries responsables de la dégradation de la MO est conditionné pour des valeurs de pH respectivement voisines de la neutralité (6 à 8), alors que les champignons sont plus tolérants à des pH de 5 à 8.5 environ.

Le **Tableau 1** montre que le pH de différents échantillons de fumiers analysés se trouve dans l'intervalle [6 - 8]. Il est proche de celui recommandé à la Réunion par Chabalié *et al.* [15]. Il est donc favorable au développement et à l'activité microbiologique responsable de la dégradation de la MO. Znaïdi [7] a rapporté un pH de 8.1 pour le fumier de volailles. Ce pH basique favorise le développement des actinomycètes et des bactéries alcalines [14].

Concernant la CE, celle-ci est reliée, entre autres, à la quantité totale d'ions minéraux en solution. Une valeur élevée représente une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs par la plante

et peut même brûler les racines [13]. On peut dire que les CE relevées sont élevées par rapport aux normes requises (entre 0.5 et 2.0 mS/cm), rapportées par Morel *et al.* [16] pour tous les échantillons étudiés.

Les valeurs enregistrées dans le **Tableau 1** dévoilent que pour les deux systèmes d'élevage étudiés, la CE des fumiers d'âge finition est la plus élevée par rapport aux autres âges. Elle varie de 4.5 à 10.8 mS/cm. Ce paramètre pourrait être réduit davantage par le lessivage suite aux arrosages avec de l'eau usée traitée d'abattoir pouvant être pratiqués au cours du processus de la biométhanisation-compostage.

A ce propos, pour le cas des eaux usées d'abattoir, Belghyti *et al.* [17] ont montré que la CE est de l'ordre de 1.3 mS/cm. De même, Nisbet [18] a signalé des valeurs moyennes, comprises entre 0.4 mS/cm et 1.0 mS/cm. De telles valeurs de la CE sont de loin inférieures aux résultats relevés pour les fumiers testés.

### 3.1.2 Evaluation de la fraction organique

Le **Tableau 2** ci-après relate les résultats relevés relatifs aux taux de MS, MM et MO de différents substrats analysés.

**Tableau 2:** MS, MM et MO des fumiers des dindes de chair selon le système et l'âge d'élevage

		MS (%)	MM (% MS)	MO (% MS)
<b>Norme</b>		60 ou 63	Max 26,2	81,5
<b>Référence</b>		[7, 15]	[19]	[19]
<b>FDT</b>	AD	51,0	11,8	88,2
	AI	49,8	14,7	85,3
	AF	47,1	14,0	86,0
<b>FDM</b>	AD	47,8	12,2	87,8
	AI	-	-	-
	AF	51,7	14,7	85,3

FDT : Fumier des Dindes de Chair Traditionnel  
FDM : Fumier des Dindes de Chair Moderne

Tous les FD collectés sont à l'état humide, montrant une humidité relativement forte, variable entre 48.3 % et 52.9 % avec une moyenne de 50.5 %. La MS étudiée est inférieure, en grande partie à 60 % et 63 %, valeurs trouvées respectivement par Znaïdi [7] et Chabaliier [15].

Concernant le taux de MM, les différents substrats présentent des valeurs inférieures à la norme rapportée par l'ITAVI, cité par Aubert et Gadais [19] qui est de l'ordre de 26.2 %. Les fumiers des dindes de chair sont riches en MO, présentant 86.6 % en moyenne, ce qui est proche aux directives évoquées par Aubert et Gadais [19].

### 3.1.3 Evaluation de l'azote et du rapport C/N

Le **Tableau 3** résume la teneur en azote et le rapport C/N relevés pour chaque substrat considéré.

Depuis des siècles, les fumiers des animaux ont été utilisés comme fertilisants pour l'agriculture. Le fumier de volailles est reconnu comme le plus notable de ces engrais naturels, en raison de sa forte teneur en azote [20]. Ces effluents contiennent de l'azote sous deux formes principalement l'azote ammoniacal qui se comporte comme un engrais minéral classique et l'azote organique qui a besoin d'être dégradé par les microorganismes du sol pour se minéraliser [21].

**Tableau 3:** % N et C/N des fumiers des dindes de chair selon le système et l'âge d'élevage

		COT (%)	N (%)	C/N
<b>Norme</b>		-	3,0	10
<b>Référence</b>		-	[15]	[14]
<b>FDT</b>	AD	49,0	2,6	18,8
	AI	47,3	3,5	13,5
	AF	47,7	4,1	11,6
<b>FDM</b>	AD	48,7	4,1	11,8
	AI	-	-	-
	AF	47,3	4,0	11,8

*FDT : Fumier des Dindes de Chair Traditionnel*

*FDM : Fumier des Dindes de Chair Moderne*

La valeur moyenne de la teneur en azote total est de 3.7 %, cette teneur varie avec l'âge et le mode d'élevage. Elle prend la valeur maximale à l'âge de finition. Elle est proche de la valeur trouvée par Chabalier *et al.* [15].

Le rapport C/N est souvent considéré comme indice de biodégradabilité d'un substrat organique solide. Le rapport C/N relevé est variable entre 11.6 et 18.8 avec une moyenne de l'ordre de 13.5. Il est supérieur à la valeur indiquée par ESCO MAFOR [22] pour le fumier des dindes. Un tel rapport, reste encore de loin inférieur aux conditions recherchées pour le compostage d'un déchet organique (30-35) selon Mustin [14], ce qui suppose un processus de dégradation de la MO très lent et une longue durée de compostage.

Néanmoins, pour remédier à ce problème, le co-compostage représente la bonne solution par l'ajout d'un agent structurant (riche en carbone) comme les résidus végétaux (broyats de déchets verts, ...) qui améliorent l'aération, tout en augmentant le rapport C/N par un apport supplémentaire de carbone, étant donné que la biomasse avicole considérée (fumier des dindes) est riche en azote, mais relativement pauvre en carbone dans la plupart des cas (litière insuffisante).

### 3.1.4 Evaluation des teneurs en phosphore, en potassium et en calcium

Le **Tableau 4** présente les résultats dégagés relatifs aux teneurs des éléments minéraux relevés pour chaque substrat testé

Les déjections avicoles, grâce à la MO qu'elles contiennent, constituent une garantie pour la fertilité physique, chimique et biologique des sols. Le sol, quant à lui, a un rôle épurateur pour les fumiers, les lisiers ou les fientes [23]. Ces produits que l'on appelle des engrais de ferme, sont des engrais complets [23].

Les animaux d'élevage rejettent 20 à 40% de l'azote et du phosphore et 70 à 90% du potassium ingérés avec les aliments. Pour les volailles, 70% de l'azote et du phosphore consommés se retrouvent dans les déjections [15]. On retrouve la plus grande partie de ces éléments dans les lisiers et les fumiers [15].

Par ailleurs, les taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de K<sub>2</sub>O sont concentrés dans le compost surtout dans ceux issus des excréments des dindes [24]. Généralement, la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est de 23.80 kg/t (MS) selon CRAAQ [25]. Les valeurs relevées pour les substrats mis à l'essai donnent une moyenne de l'ordre de 24.5 kg/t qui est proche de cette norme (**Tableau 4**). La teneur moyenne en K<sub>2</sub>O est de l'ordre de 23.2 kg/t (MS) (**Tableau 4**). Cette teneur est légèrement supérieure à la valeur rapportée par CRAAQ [25]: 16.80 kg/t (MS).

Le Ca rend le milieu favorable aux microorganismes du sol, agents de la décomposition de la MO, de l'humification, de la minéralisation et de la fixation symbiotique. Les FD présentent une teneur moyenne en Ca peu élevée de l'ordre de 22.7 %. Cette valeur est généralement plus proche de la fourchette annoncée par Esco Mafor

[22] (de 10.4 à 20 g/kg de MB) pour tous les types des fumiers de volailles mêmes les fumiers des dindes, l'objet de notre contribution.

On peut dire que les éléments minéraux, à savoir: P, K et Ca, sont dans l'ensemble, favorables au compostage à mettre en œuvre et que presque toutes les teneurs en question prennent la valeur maximale à l'âge de finition.

**Tableau 4:** Eléments minéraux des fumiers des dindes de chair selon le système et l'âge d'élevage

		P (kg/t MS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t MS)	K (kg/t MS)	K <sub>2</sub> O (kg/t MS)	Ca (g/kg MB)
<b>Norme</b>		10,43	23,80	14,00	16,80	10,4 à 20
<b>Référence</b>	[25]	[25]	[25]	[25]	[25]	[22]
<b>FDT</b>	AD	9,40	21,70	19,10	22,90	8,10
	AI	11,40	26,20	21,10	25,30	23,20
	AF	12,90	29,60	20,50	24,60	33,20
<b>FDM</b>	AD	9,10	21,10	15,60	18,70	5,85
	AI	-	-	-	-	-
	AF	10,40	23,90	20,60	24,70	43,30

FDT : Fumier des Dindes de Chair Traditionnel  
FDM : Fumier des Dindes de Chair Moderne

## 3.2 Evaluation du pouvoir énergétique et de la capacité du digesteur à adopter

### 3.2.1 Considérations générales

Aujourd'hui, le développement des énergies renouvelables connaît une croissance importante, tant à travers la production d'électricité qu'à travers la production de chaleur à partir de sources organiques. La DA présente une filière de production d'énergie propre à partir des ressources en biomasse. Elle s'avère bien adaptée aux pratiques agricoles actuelles et améliore la valeur agronomique et environnementale des effluents qui en sont issus.

Elle touche aussi l'industrie agro-alimentaire où le potentiel d'exploitation est élevé aussi bien économiquement, grâce aux possibilités d'autoconsommation du biogaz produit, que techniquement grâce à la constance de la composition et du flux des matières premières entrant dans le digesteur.

La production de biogaz s'entend de la production que l'on obtient de la matière pendant la période de fermentation dans le digesteur. Plus la valeur de la production de biogaz par tonne est élevée, plus le rendement énergétique l'est également. Cette valeur diffère considérablement selon le type de matière et son état. De ce fait, la capacité du digesteur et la nature de la biomasse utilisée sont liées avec la quantité gazeuse produite.

### 3.2.2 Estimation de la capacité du digesteur

D'après l'entreprise agro-industrielle considérée, la consommation annuelle en électricité pour l'abattoir de volailles est de l'ordre de 1 500 000 kWh. En appliquant une majoration de 20 %, la consommation électrique annuelle future est estimée à 1 800 000 kWh.

Selon Biogaz PlanET [12], un volume de 1 m<sup>3</sup> de biogaz donne 3.58 kWh électrique, d'où, on a besoin d'environ 502793 m<sup>3</sup> de biogaz, afin de satisfaire la totalité des besoins. Selon Fischer [10] et Camirand [11], une tonne de MF de fumier de volailles produit 61 à 112 m<sup>3</sup> de biogaz.

Il est à noter que la valeur moyenne de 80 m<sup>3</sup> de biogaz a été retenue pour l'appréciation du pouvoir énergétique.

De telles données permettent de fixer le tonnage annuel de la biomasse avicole à environ 502793 / 80 = 6285 tonnes de MF avicole.



Le rendement technologique d'un digesteur à cellules fixées varie de 2.5 à 5.0 m<sup>3</sup> de biogaz / m<sup>3</sup> digesteur/ jour pour un temps de 4 à 5 jours de séjour [26]. La valeur retenue pour le calcul a été fixée à 3.0 m<sup>3</sup> de biogaz / m<sup>3</sup> digesteur/ jour.

La capacité initiale du digesteur (C) est évaluée à partir de l'expression ci-après.

$$C \text{ (m}^3 \text{ de digesteur)} = \frac{502793 \text{ m}^3 \text{ de biogaz}}{(365 \text{ j} \times 3 \text{ m}^3 \text{ de biogaz / m}^3 \text{ de digesteur)}}$$

Ainsi,  $C = 502793 / (365 \times 3) = 460 \text{ m}^3$   $C = 502793 / (365 \times 3) = 460 \text{ m}^3$ .

Afin de minimiser l'investissement, il convient de limiter la capacité du digesteur à la moitié calculée, soit 230 m<sup>3</sup>. De même, le tonnage annuel de la biomasse avicole biométhanisable devrait être limité à 50 %, soit 3142.5 tonnes de MF avicole. Cette quantité sera restreinte en ayant recours à sa dilution avec l'eau usée traitée lors du mélange à mettre en œuvre avant l'introduction dans le digesteur.

### 3.2.3 Caractéristiques techniques générales dégagées du digesteur à mettre en place

Le **Tableau 5** ci-après récapitule certaines caractéristiques générales du digesteur à mettre en œuvre, composant essentiel de l'installation de biométhanisation à adopter.

**Tableau 5:** Récapitulatif de quelques caractéristiques générales du digesteur étudié

Caractéristiques du digesteur	
Nature du substrat	FD + Eaux usées traitées d'abattoir
Type de fermentation	Biométhanisation par voie sèche
Capacité du digesteur (m <sup>3</sup> )	230
Mode de digestion	En continu
Procédé de fermentation	A cellules fixées
Quantité journalière entrante (tonnes MF)	8.6
Température de fonctionnement	Ambiante
Situation du digesteur / au sol	Surface du sol
Forme du digesteur	Cylindrique à axe vertical
Construction du digesteur	Maçonnerie

## 4. CONCLUSION

La gestion des déchets organiques représente un souci et une orientation stratégique pour tous les pays du monde, entre autres ceux du Maghreb surtout après leur engagement dans des politiques environnementales nationales, méditerranéennes et internationales. Ces orientations visent, entre autres, un développement industriel durable qui encourage les processus de production propre. Le problème posé par les effluents organiques du secteur avicole en général et des fumiers des dindes en particulier, pourrait être résolu par voie biologique, spécialement par biométhanisation et/ou compostage.

Cette étude a permis de caractériser qualitativement la biomasse avicole (fumiers des dindes de chair) produite par une entreprise agro-industrielle. L'analyse physico-chimique mise en œuvre a dévoilé que cette biomasse est généralement facilement biodégradable, ce qui lui confère une bonne aptitude à la production du biogaz, et particulièrement, du Co-compost en associant d'autres déchets ligno-cellulosiques jouant le rôle d'agent structurant qui permet l'amélioration de l'activité de la flore microbienne, responsable de la dégradation de la matière organique traitée

biologiquement. En effet, les fumiers des dindes ont présenté des teneurs moyennes élevées en azote et surtout en potassium.

Partant de quantités importantes de la biomasse avicole générée, qui sont susceptibles d'être traitées par biométhanisation-compostage, une étude a été entreprise pour la mise en place d'une station réservée à cet effet. Elle a permis de dimensionner et de choisir les infrastructures nécessaires, notamment le digesteur. Comme bases préliminaires du projet, il a été convenu, d'installer un digesteur cylindrique à axe vertical en mode continu d'une capacité utile de l'ordre de 230 m<sup>3</sup>, afin de satisfaire les besoins annuels en électricité de l'abattoir de volailles disponible.

L'étude de faisabilité technique du projet devrait être soigneusement affinée et suivie d'une étude économique. Cette dernière mérite d'être menée avant la mise en place du projet réel, en vue d'apprécier minutieusement sa rentabilité pour le traitement et la valorisation de la biomasse avicole en Tunisie.

## REFERENCES

- [1] L. Bensmail et A. Touzi, '*Valorisation de la Biomasse à des Fins Energétiques: Contribution de la Production de Biogaz au Développement Durable*', Journal of Science Research, Vol. 1, N°3, pp. 19 - 23, 2012.
- [2] J. Hess, '*Modélisation de la Qualité du Biogaz Produit par un Fermenteur Méthanogène et Stratégie de Régulation en Vue de sa Valorisation*', Thèse de Doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis, UFR Sciences, 2007.
- [3] M. Vale and W. Road, '*Nutrient Composition of Poultry Manures in England and Wales*', Vol. 58, pp. 279 - 284, 1997.
- [4] A. Sellal, '*Réserves d'Eau en Algérie et la Stratégie Adoptée pour Répondre au Défi de Demain*', L'Echo de l'Environnement Algérien, Avril 2005.
- [5] I.M. Lima and W. E. Marshall, '*Granular Activated Carbons From Broiler Manure: Physical, Chemical and Adsorptive Properties*', Bioresource Technology, Vol. 96, N°6, pp. 699 - 706, 2005.
- [6] S. Igoud, I. Tou, S. Kehal, N. Mansouri et A. Touzi, '*Première Approche de la Caractérisation du Biogaz Produit à Partir des Déjections Bovines*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 4, pp. 123 - 128, 2002.
- [7] I.A. Znaïdi, '*Etude et Evaluation du Compostage de Différents Types de Matières Organiques et des Jus de Composts Biologiques sur les Maladies des Plantes*', Mémoire de Master, Institution Agronomique Méditerranéenne de Bari, Italie, 104 p., 2002.
- [8] S.M. Tiquia, '*Réduction of Compost Phytotoxicity during the Process of Décomposition*', Chemosphere, Vol. 79, N°5, pp. 506 - 512, 2010.
- [9] S. Goyal, S.K. Dhull and K.K. Kapoor, '*Chemical and Biological Changes During Composting of Different Organic Wastes and Assessment of Compost Maturity*', Bioresource Technology, Vol. 96, pp. 1584 - 1591, 2005.
- [10] T. Fischer, '*Expérience Allemande: Politique et Apprentissage Technologique*', Journée sur la Méthanisation des Engrais de Ferme, Sainte-Julie, 2007.
- [11] E. Camirand, '*Le Biogaz, C'est Notre affaire*', Electrigaz, 12 p., 2011.

- [12] Anonyme, '*Substrats pour Installation de Biométhanisation*', Biogaz PlanET France, 2013. [www.biogaz-planet.fr](http://www.biogaz-planet.fr)
- [13] M. Comtois et M. Legaré, '*La Fertilisation des Plantes Ligneuses Cultivées en Contenant*', Institut Québécois de Développement de l'Horticulture Ornementale, 57 p., 2004.
- [14] M. Mustin, '*Le Compost: Gestion de la Matière Organique*', Edition François Dubusc, Paris, 954 p., 1987.
- [15] P.F. Chabalier, H. Saint-Macary, et V. Van de Kerchove, '*Guide de la Fertilisation Organique à la Réunion. Fiches Matières organiques*', Edition CIRAD, 302 p., 2006.
- [16] P. Morel, P. Poncet et L-M. Rivière, '*Les Supports de Cultures Horticoles: Les Matériaux Complémentaires et Alternatifs à la Tourbe*', Editions INRA, Paris, 84 p., 2000.
- [17] D. Belghyti, H. Amghar, B. Boti, O. Bouchouata, H. Bounouira, Y. El Guamri, K. El Kharrim, A. Harchrass, L. Ouhidi, et G. Zti, '*Caractérisation Physico-Chimique des Eaux Usées d'Abattoir en Vue de la Mise en Œuvre d'un Traitement Adéquat: Cas de Kénitra au Maroc*', Afrique Science, Vol. 5, N°2, pp. 199-216, 2009.
- [18] M. Nisbet et J. Verneaux, '*Composantes Chimiques des Eaux Courantes. Discussion et Proposition en Tant Que Bases d'Interprétation des Analyses Chimiques*', Annales de Limnologie, Vol. 6, N°2, pp. 161 - 190, 1970.
- [19] C. Aubert et C. Gadais, '*Fumiers de Dindes: Caractérisation à la Sortie des Bâtiments et Estimation des Rejets en Azote et en Phosphore*', Sciences et Techniques Avicoles, N°50, pp. 15 - 19, 2005.
- [20] M. Delgado, C. Rodríguez, J. V. Martín, R. Miralles de Imperial and F. Alonso, '*Environmental Assay on the Effect of Poultry Manure Application on Soil Organisms in Agro Ecosystems*', The Science of the Total Environment, 2012.
- [21] H. Ait Aissa, '*Amélioration de la Prédiction de la Composition des Effluents d'Elevage par Spectroscopie Proche Infrarouge*', Master Professionnel II : Opex [Optimisation des Protocoles Expérimentaux], 2011.
- [22] Rapport Final de l'ESCo Matières Fertilisantes d'origine Résiduaire, Esco Mafor, '*Valorisation des Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire sur les Sols à Usage Agricole ou Forestier*', INRA, CNRS, IRSTEA, 14 p., 2014.
- [23] Anonyme, '*Les Déjections Avicoles*', Sciences et Techniques Avicoles. Hors Série, pp. 27 - 33, Septembre 2001.
- [24] R. Boughaba, '*Etude de la Gestion et Valorisation des Fientes par le Lombric Compostage dans la Wilaya de Constantine*', Mémoire de Magister en Écologie et Environnement, 2011.
- [25] CRAAQ, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, '*Charges Fertilisantes des Effluents d'Elevage (Production volaille: Poulets et dindons)*', Mars 2003.
- [26] M. Héduit, V. Dailienq, J.P. Lasneret, J.P. Perret et J.C. Sourie, '*Le Biogaz*', Association Technique de l'Industrie du Gaz en France. Congrès A.T.G, 24 p., 1984.