



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE

Revue home page: <http://www.http://revue-agro.univ-setif.dz/>



Exploitations environnementale et agronomique de la Biométhanisation rurale appliquée aux déjections bovines reprises en Tunisie Environmental and agronomic valorizations of the rural Biomethanisation applied to the bovine dejections in Tunisia

M'SADAK Youssef ^(1*) et BARAKET Salma ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, Sousse - Tunisie

^(*) E-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

ARTICLE INFO

Reçu : 06 – 08 - 2014
Accepté : 22 - 12 - 2014

Mots clés :

Déjections bovines,
digesteur rural, bilan de
dépollution, jus de
process bovin,
méthacompost bovin.

Key words:

Bovine dejections, rural
digester, assessment of
depollution, juice of
bovine process,
methacompost bovine.

RÉSUMÉ

Ce travail consiste à étudier deux valorisations possibles de la biométhanisation rurale appliquée aux déjections bovines, autres que la valorisation énergétique. A ce propos, le suivi du digesteur adopté a porté sur : - L'analyse de certains paramètres environnementaux (Matières En Suspension : MES et Demande Biologique en Oxygène : DBO₅), afin d'établir les bilans de dépollution correspondants. - Un essai agronomique hors sol des résidus : le méthacompost comme substitut intégral ou partiel de la tourbe et/ou du terreau et le jus de process en tant que fertilisant des plants maraîchers. Les principaux résultats acquis sont : - Le processus de Biométhanisation rurale a permis une réduction insuffisante de la charge polluante de l'effluent traité, en raison surtout d'un procédé de digestion appliqué en continu plus ou moins adéquat ainsi qu'un système de post-traitement relativement dérisoire. - L'utilisation de la tourbe mélangée avec du méthacompost comme substrat de culture a donné une bonne croissance en hauteur des plants de piment produits. - Le jus de process dilué à raison de 75% d'eau a montré un pouvoir fertilisant intéressant, tout en éliminant le flétrissement intégral observé avec la fertigation concentrée.

ABSTRACT

This work consists in studying two possible valorizations of the rural biomethanisation applied to the bovine dejections, others that energy valorization. In this respect, the follow-up of the adopted digester related to: - Analysis of certain environmental parameters (Suspended Solids: SS and Biological Oxygen Demand: BOD₅), in order to establish the corresponding assessments of depollution. - An agronomic test except ground of the residues: the methacompost like substitute integral or partial of the peat and/or the compost and juice of process as a fertilizer of the market-gardening seedlings. The principal results are: - The process of rural biomethanisation allowed an insufficient reduction of the polluting load of the treated effluent, because especially of a process of digestion applied uninterrupted more or less powerful as well as an ineffective system of post processing. - The use of the peat mixed with methacompost as substrate of culture gave encouraging results with respect to the growth in height of the seedlings of pepper produced. - The juice of bovine process diluted at a rate of water 75% showed interesting power fertilizing, all the more absence observed of integral fading with the concentrated fertigation.

1. Introduction

Les pouvoirs publics sont perpétuellement à la recherche de solutions technologiques permettant un traitement efficace et moins coûteux des déchets. La biomasse constitue un gisement renouvelable pour la production d'énergie. Cette ressource est d'autant plus intéressante qu'elle intervient également dans la préservation de l'environnement (Afilal et al, 2007 ; Afilal et al, 2010 ; Afilal et al, 2013a ; Afilal et al, 2013b ; Afilal et al, 2014).

Une des technologies permettant le traitement de la fraction organique de la biomasse générée est la Biométhanisation qui peut transformer un problème des déchets en une source de richesses (Saidi et Abada, 2007). Elle fournit, en effet, plusieurs opportunités de recyclage de déchets organiques, notamment pour la production d'énergie (Intérêt énergétique) et la fertilisation de sols agricoles (Intérêt agronomique), de manière à réduire la quantité de déchets organiques abandonnés et à diversifier les sources d'énergie de substitution (Intérêt environnemental).

Les déjections animales sont particulièrement intéressantes à utiliser quand elles sont produites en quantités importantes et régulières (Tou et al, 2001 ; M'Sadak et al, 2012 ; M'Sadak et Zoghalmi, 2012 ; M'Sadak et al, 2013 ; M'Sadak et Ben M'Barek, 2013) et surtout lorsqu'elles sont traitées par Biométhanisation avant utilisation (Verrier et al, 1982 ; Béline et Gac, 2007 ; Macias-Corral et al, 2008).

La dégradation de la Matière Organique (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 (Brondeau et al, 1982 ; Angelidaki et Ellegaard, 2003 ; Westerman et Bicudo, 2005). En l'absence d'oxygène (O_2), des bactéries dégradent partiellement la MO, ce qui conduit à la formation d'une part, d'un biogaz composé majoritairement du biométhane et valorisé en énergie, et d'autre part, des résidus appelés digestats (Karellas et al, 2010). Ces Co-produits secondaires peuvent être employés à l'état solide (Méthacompost) comme partie intégrante des substrats de culture (Moral et al, 2009) ou être épandus (Fuchs et al, 2001 ; Mbuligwe et Kassenga, 2004 ; Poeschl et al, 2010), comme ils peuvent être utilisés directement à l'état liquide (Jus de Process) comme fertilisant des sols agricoles (Amigun et Von-Blottnitz, 2007 ; Pouech, 2007), voire, en culture hors sol.

La présente étude se propose d'évaluer certains paramètres déterminants dans l'appréciation des performances environnementale du biogaz rural (charge polluante en MES et en DBO_5 des déjections avant et après fermentation) et agronomique (emploi du méthacompost comme substrat de croissance et du jus de process comme fertilisant en pépinière maraichère hors sol) de la biomasse bovine digérée dans un digesteur rural de ferme.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site expérimental et digesteur adopté

Le travail entrepris fait partie de l'expérimentation de la Biométhanisation des bouses bovines au niveau du digesteur installé sur la ferme rattachée au Centre de Formation Professionnelle Agricole en Elevage Bovin (C.F.P.A.E.B.) à Sidi Thabet, Tunisie. Ce digesteur rural de ferme a été construit vers les années 2000. Il s'agit d'un digesteur pilote enterré à alimentation manuelle en continu et d'une capacité de l'ordre de 6 m^3 (Figure 1).

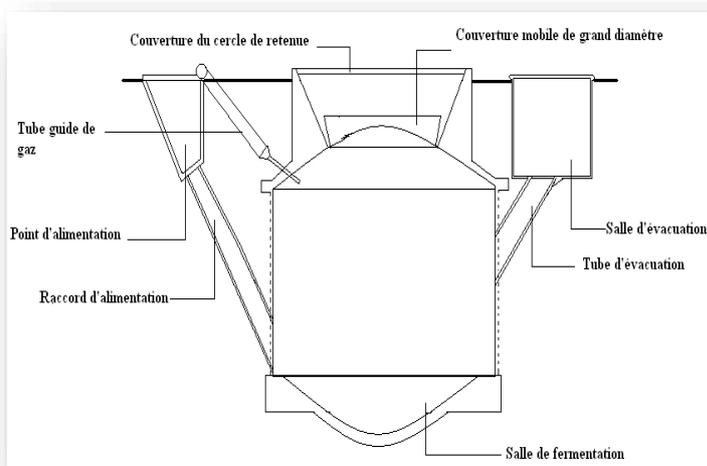


Figure 1. Schéma de principe et composantes du digesteur pilote rural mis en œuvre

L'installation de Biométhanisation considérée est à proximité de l'étable, pour faciliter la manutention des déjections bovines. Elle est formée d'une bouche d'alimentation, d'un digesteur souterrain, en maçonnerie, de forme circulaire et d'une fosse de récupération du digestat (Figure 1). À partir de ce digesteur, on peut extraire le digestat pour l'utiliser, entre autres, comme substrat de culture et/ou comme fertilisant en pépinière hors sol.

2.2. Matériel expérimental

Il s'agit de la Biométhanisation des bouses fraîches produites par les vaches disponibles (comme substrat mis en fermentation) et des bouses bovines noires diluées extraites de la fosse septique adoptée (comme inoculum). Les caractéristiques de ces deux bouses sont illustrées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des intrants bovins mis à l'essai

Nature de bouses bovines	% MS	pH
Bouses fraîches	31,5	6,5
Bouses noires diluées	9,4	7,2

2.3. Tests d'évaluation mis en œuvre

Signalons que les analyses environnementales ont été effectuées au laboratoire « Biogaz » du C.F.P.A.E.B., alors que les suivis agronomiques hors sol ont été réalisés dans un local rattaché également au C.F.P.A.E.B.

2.3.1. Évaluation des performances environnementales du digesteur

Les paramètres environnementaux auxquels on s'est intéressé sont relatifs aux charges polluantes (MES et DBO₅) de la matière mise en fermentation.

Pour les MES, elles correspondent à l'ensemble de particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée (Ramade, 1993). Leur détermination permet d'estimer la biomasse bactérienne dans le digesteur (Moletta, 1989). 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'O₂ consommé après incubation de l'échantillon durant cinq jours

2.3.2. Évaluation des performances agronomiques du méthacompost bovin

Pour le méthacompost, l'évaluation d'une façon directe, en appréciant sa maturité et ses propriétés physiques (porosité totale, d'aération et de rétention) et indirecte, par le suivi des paramètres morphologiques des plants (germination, croissance en hauteur, etc.) est nécessaire, afin de mettre au point un substrat convenable permettant aux plants des conditions optimales de croissance.

Concernant l'évaluation de la maturité du méthacompost, il s'agit de réaliser un biotest de germination sur des semences de laitue (Bernal et al, 2009). Le but de ce biotest est d'évaluer la maturité du méthacompost (Albuquerque et al, 2006), de prévoir l'existence éventuelle de certains éléments phytotoxiques (Goyal et al, 2005 ; Bernal et al, 2009), tout en mettant en considération la photosensibilité des semences de laitue, adoptée comme Plante-test (Lemaire et al, 1989 ; Ammari et al, 2006). La démarche suivie consiste à poser, dans des conditions favorables de germination, les graines de laitue. Pour cela, on a utilisé des petits pots en plastique, transparents à la lumière, imperméables et hermétiquement fermés (Juste et al, 1985). Le méthacompost a subi une légère humidification. On a mis ensuite dans chaque pot 20 graines de laitue et on a pris comme témoin le sable avec trois répétitions pour le méthacompost. Notons que la maturité peut être jugée, d'après le pourcentage de germination, voire, d'après l'énergie germinative. La détermination du taux et de l'énergie germinative des semences de laitue a été réalisée à partir des comptages réguliers des graines germées.

À propos de la détermination de la porosité des substrats de croissance étudiés, elle se base sur la maîtrise et la compréhension des structures microscopiques.

La porosité totale (Pt) est déterminée par le rapport entre le volume versé à la saturation du substrat en eau et le volume total (attente d'une heure environ, puis ajout de l'eau, s'il est nécessaire pour avoir une bonne saturation en eau du substrat). La porosité d'aération (Pa) est déterminée par le rapport entre le volume ressuyé à travers les trous de drainage sous l'effet des forces de gravité et le volume total (en laissant l'eau s'infiltrer pendant 10 mn environ).

La porosité de rétention (Pr) est déterminée par différence entre les porosités totale et d'aération. La porosité totale des substrats est généralement supérieure à celle de la terre, qui est de 40 à 50% du volume total (Gras et Aigus, 1982).

Les conditions tunisiennes exigent les proportions de porosité suivantes : Pt ≥ 50%, Pa ≥ 20% et Pr ≥ 30%. Ces règles à appliquer ont été inspirées des normes canadiennes (CPVQ, 1993), en favorisant la rétention sur l'aération, en raison du climat sec de la Tunisie.

L'évaluation des porosités a été effectuée, à l'aide du test standard de porosité, sur substrats purs : tourbe et terreau (comme substrats de référence) et méthacompost. Signalons que chaque test de porosité a été accompli avec trois répétitions.

Au sujet de l'appréciation de la valeur agronomique du méthacompost et de son aptitude à l'emploi comme substrat de culture à l'état pur ou en mélange, elle s'est extériorisée à l'aide d'un test portant sur le semis des graines du piment. Le méthacompost utilisé lors de cet essai a été prélevé après un temps de séjour de 15 jours dans le digesteur rural, puis séché pendant une période de quatre jours. Trois types de substrats ont été testés qui sont une tourbe pure (témoin), un méthacompost pur et un mélange constitué de 60% tourbe et de 40% méthacompost.

L'évaluation indirecte s'est avérée nécessaire, afin de mettre au point un substrat permettant aux plants des conditions optimales de croissance. 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 prélevant les hauteurs cumulées à des intervalles réguliers de quatre jours.

2.3.3. Évaluation des performances agronomiques du jus de process bovin

Pour le jus de process, son appréciation s'est limitée à une caractérisation indirecte réalisée, suite à un suivi du comportement végétatif (croissance en hauteur) des plants de piment vis-à-vis de leurs arrosages intégral et partiel avec ce Co-produit à l'état concentré et à l'état dilué.

Concernant la capacité fertilisante du jus de process, elle est évaluée en l'utilisant pour arroser des plantules de piment déjà préparées à l'avance (semées dans des plaques alvéolées sur le même support de référence qui est le terreau), tout en sélectionnant 24 plantules ayant des hauteurs homogènes qui ont servi comme support de l'expérimentation. On a débuté l'arrosage des plantules sélectionnées avec les solutions préparées, à raison d'un arrosage toutes les 48 heures pendant 20 jours, tout en mesurant la hauteur cumulée à des intervalles réguliers de quatre jours. Quatre solutions fertilisantes ont été testées : l'eau (témoin), le jus de process concentré, ensuite dilué respectivement, à raison de 25% ou de 75%.

3. Résultats et discussion

3.1. Appréciation de l'intérêt environnemental de la Biométhanisation

Les analyses des MES et de la DBO₅ ont été accomplies sur les deux mélanges initialement et ultérieurement introduits. Les résultats sont donnés dans le tableau 2.

Le bilan de dépollution des MES comme celui de la DBO₅ augmente en fonction de la concentration de MS introduite dans le digesteur (du premier au second mélange). Les bilans de dépollution obtenus sont considérés comme non satisfaisants aussi bien en se basant sur les MES que sur la DBO₅ et méritent d'être améliorés davantage notamment pour le cas du mélange initialement introduit.

Tableau 2. Établissement des bilans de dépollution de la charge introduite

Paramètres environnementaux suivis	Mélange 1 (*)	Mélange 2 (*)
MES avant fermentation (mg/l)	13,9	20,5
MES après fermentation (mg/l)	12,3	12,2
Bilan de dépollution des MES (%)	11,5	40,4
DBO ₅ début fermentation (mg d'O ₂ /l)	406,7	573,5
DBO ₅ fin fermentation (mg d'O ₂ /l)	323,7	354,2
Bilan de dépollution de la DBO₅ (%)	20,4	38,1

(*)Mélange 1 : Mélange initialement introduit

Mélange 2 : Mélange ultérieurement introduit.

2.2. Résultats de l'évaluation agronomique du méthacompost bovin

2.2.1. Appréciation de la maturité

Les résultats de germination des semences de laitue sur le méthacompost sont mentionnés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Résultats relevés du biotest de germination de graines de laitue

Substrat	Taux de germination (%)	Énergie germinative (jours)
Sable (Témoin)	82	5
Méthacompost bovin	95	3

Les valeurs obtenues de la biogermination des semences de laitue sur le méthacompost testé donnent une pleine satisfaction, puisque le taux de germination est même plus élevé que celui obtenu sur le sable. De même, l'énergie germinative est meilleure en termes de rapidité (trois au lieu de cinq jours), ce qui renseigne sur sa bonne maturité.

La bonne germination indique que le compost ne contient pas de substances phénoliques qui peuvent entraver la germination des plants (Sullivan et Miller, 2001).

Le compost peut être employé pour la production de jeunes plants, avec, comme avantage par rapport à la tourbe, de produire des plants plus résistants aux pathogènes (Hoitink et al, 1997). De ce fait, le méthacompost produit par le digesteur rural, considéré comme mûr, pourrait ainsi servir dans la composition des substrats de culture.

3.2.2. Appréciation de la porosité des substrats de croissance testés

La figure 1 donne une idée sur les diverses porosités des substrats purs utilisés lors du test standard mis en œuvre.

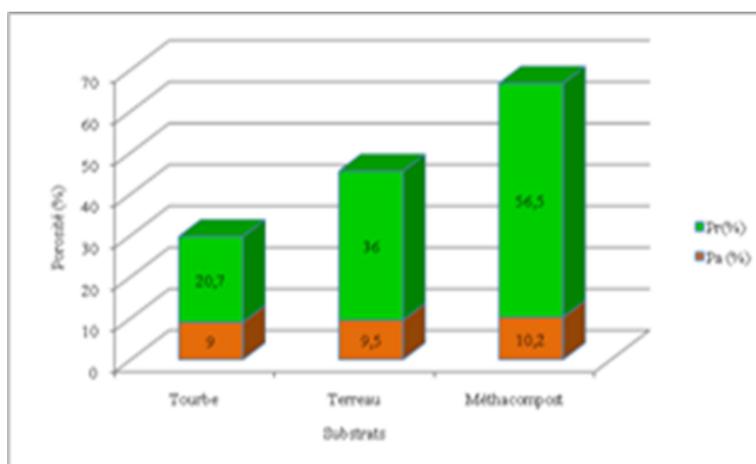


Figure 2. Résultats relevés de porosité de différents substrats purs testés

Pour garantir une bonne production des plants, on doit s'assurer surtout des caractères physiques du substrat de croissance utilisé qui doivent être satisfaites, parce qu'elles jouent un rôle important dans l'alimentation en eau du végétal et dans le fonctionnement des racines : aération et température. Les propriétés physiques concernent surtout la porosité du substrat et l'évaluation des teneurs en eau et en air disponibles pour les racines (Morard, 1995).

Concernant les résultats obtenus, on peut constater que les témoins sont loin d'être acceptables de point de vue porosité totale, d'aération et de rétention. Seul le terreau montre une porosité de rétention acceptable. De tels résultats sont en contradiction avec la littérature, qui considère la tourbe comme le substrat idéal pour l'élevage des plants, surtout de point de vue porosité d'aération. Une telle situation pourrait être due particulièrement à des erreurs de manipulation et/ou de séchage lors de l'exécution du test standard de porosité.

Concernant le méthacompost, il répond aux normes de la porosité totale et de rétention, toutefois, sa porosité d'aération est inacceptable. Devant une telle situation, ce substrat peut être considéré rétenteur et incorporé partiellement avec un substrat aérateur. Le ratio optimal de mélange reste à déterminer. L'eau peut agir directement par des réactions de dégradation et par des réactions d'hydrolyse. Ces dernières réduisent relativement les dimensions granulométriques du méthacompost. Il convient de noter que la capacité de rétention en eau peut accroître et la porosité d'aération peut diminuer lorsque la granulométrie du méthacompost est fine. Le méthacompost issu de la Biométhanisation des bouses bovines ne peut être qu'un substitut partiel de la tourbe et/ou du terreau.

3.2.3. Aptitude à l'emploi agronomique du méthacompost comme substrat de culture

Les résultats du suivi de la croissance en hauteur des plants de piment cultivés sur méthacompost à l'état pur ou mélangé avec la tourbe sont relatés sur la figure 2.

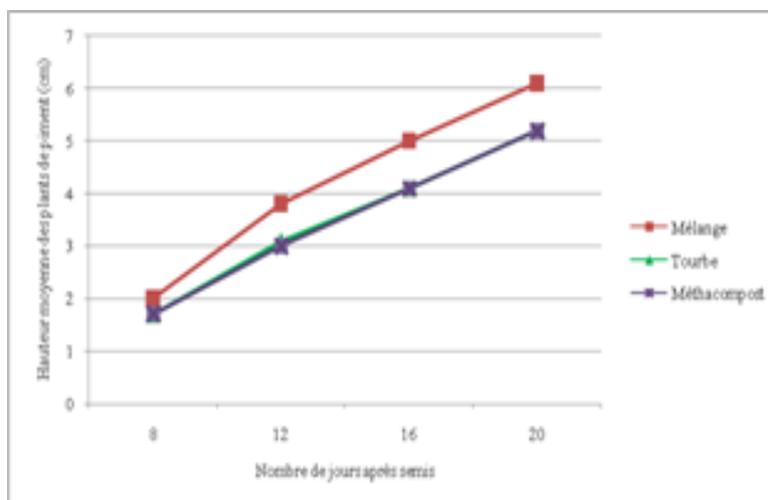


Figure 3. Croissance en hauteur des plants de piment installés sur différents substrats

Par comparaison entre les différents substrats de culture confectionnés (purs 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. Mais, les plants installés sur méthacompost pur ont présenté des tiges grêles, sensibles et quelques uns ont été brûlés et finissent par flétrir totalement. 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 végétales. Ces résultats préliminaires sont intéressants (étant donné la possibilité d'incorporation du méthacompost à raison de 40% avec la tourbe) et méritent d'autres investigations.

3.2.4. Aptitude à l'emploi agronomique du jus de process comme fertilisant

Les résultats du suivi de la croissance en hauteur des plants de piment arrosés avec le jus de process, à l'état concentré ou dilué avec l'eau à différentes proportions sont illustrés sur la Figure 4.

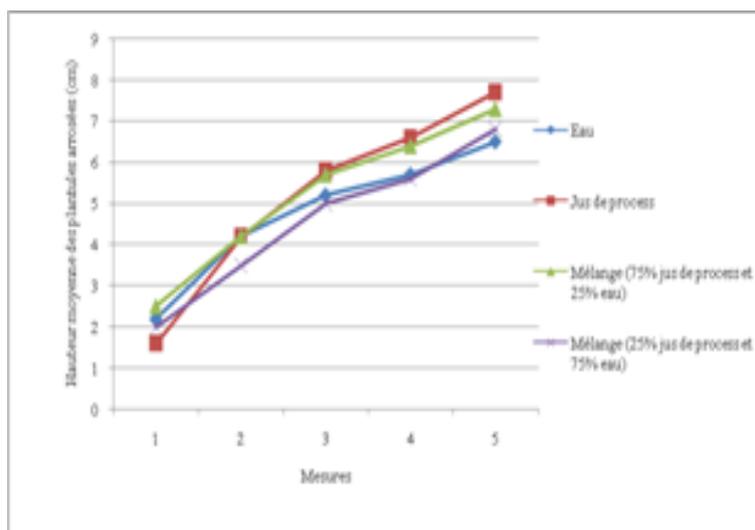


Figure 4. Test de croissance des plants de piment arrosés avec différentes fertigrations

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, aussi bien de point de vue croissance des plants que flétrissement brusque. Par contre, une solution composée de 25% Jus de Process et 75% Eau, a permis une croissance marquée sans présence d'anomalies de flétrissement.

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

4. Conclusion

À la lumière des résultats préliminaires obtenus lors de cette investigation se rapportant aux valorisations environnementale et agronomique de la biomasse bovine traitée dans un digesteur pilote rural alimenté en continu, on a pu tirer les enseignements essentiels ci-après.

- Les suivis environnementaux des MES et de la DBO₅ ont montré que la biométhanisation permet une réduction de la charge polluante qui prend plus d'importance avec l'élévation de la concentration en MS de la matière à fermenter, prouvant ainsi que la biométhanisation est un procédé très bénéfique en termes de valorisation énergétique et de recyclage de la MO pour la préservation de l'environnement. Cette réduction est considérée comme réduite et nécessite une amélioration, vu que les bilans de dépollution obtenus dans les conditions expérimentales considérées sont relativement insuffisants.

- Le méthacompost bovin ne peut pas être considéré comme un bon substrat de croissance à cause de sa porosité d'aération insuffisante, ce qui justifie son mélange, selon des proportions appropriées, avec la tourbe qui a une porosité d'aération normalement plus élevée, en vue d'une correction de l'équilibre physique des substrats de croissance à confectionner.

- Les expérimentations agronomiques réalisées ont décelé que l'emploi de la tourbe en mélange avec du méthacompost bovin à raison de 40 % comme substrat de culture, s'avère très encourageante et performante vis-à-vis de la croissance en hauteur des plants du piment. Le recours au méthacompost comme substitut partiel de la tourbe ou du terreau dans la confection des substrats de croissance pourrait constituer une alternative pour limiter les importations, et par conséquent, l'hémorragie des devises.

- Les jus de process bovins mis à l'essai ont présenté des pouvoirs fertilisants intéressants, en particulier, celui dilué à 75% d'eau. Néanmoins, les résultats relevés ne sont que élémentaires et ils méritent d'être considérés avec précaution, en raison de certaines anomalies végétatives observées dans le cas des jus concentrés (de 75 à 100%).

- L'utilisation agronomique des résidus de la Biométhanisation animale s'intègre bien dans la tendance actuelle vers les pratiques agrobiologiques, compte tenu de la réduction importante de la charge polluante des effluents après traitement.

Références bibliographiques

1. Afilal M.E., Moncif M., Benyamna A. - Valorisation des déchets organiques par fermentation méthanique. Revue des Energies Renouvelables : CER'07 Oujda, 2007, 9-12. www.cder.dz/download/cer07_2.pdf
2. Afilal M.E., Bakx A., Belakhdar N., Membrez Y. - Evaluation of the biogas potential of organic waste in the northern provinces of Morocco. Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2, 2010, 249-255. www.cder.dz/download/Art13-2_5.pdf
3. Afilal M.E., Belkhadir N., Daoudi H., Elasri O. - Fermentation méthanique des différents substrats organiques (Methanic fermentation of different organic substrates). J. Mater. Environ. Sci. 4 (1), 2013a, 11-16. www.jmaterenvironsci.com/Document/vol4/2-JMES-190-2012-Afilal.pdf
4. Afilal M.E., Belkhadir N., Merzak Z. - Biogas Production from Anaerobic Digestion of Manure Waste Moroccan Case. Global Journal of Science Frontier Research Biological Sciences Volume XIII Issue I, 2013b, 3 p. journalofscience.org/index.php/GJSFR/article/.../636
5. Afilal M.E., Elasri O., Merzak Z. - Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas). J. Mater. Environ. Sci. 5 (4), 2014, 1160-1169. www.jmaterenvironsci.com/Document/.../144-JMES-808-2014-Afilal.pdf
6. Saidi A., Abada B. - La Biométhanisation : Une solution pour un développement durable. Revue des Énergies Renouvelables, 2007, 31-35. www.cder.dz/download/cer07_7.pdf
7. Tou I., Igoud S., Touzi A. - Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales. Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation-Biomasse, 2001, 103-108. http://www.cder.dz/download/bio_17.pdf
8. M'Sadak Y., Ben M'Barek A., Baraket S. - Suivis physico-chimique et énergétique de la Biométhanisation expérimentale appliquée à la biomasse bovine. Revue Nature & Technologie, Numéro 7, Juin 2012, 81-86. http://www.univ-chlef.dz/RevueNatec/Art_07_10.pdf

9. M'Sadak Y., Zoghalmi R.I. - Caractérisations physico-chimique, environnementale et énergétique de la Biométhanisation industrielle avicole en Tunisie semi-aride. Algerian Journal of Arid Environment (AJAE), Vol. 2 No 2, Décembre 2012, 16-27.
www.univ-ouargla.dz/Pagesweb/PressUniversitaire/doc/.../E020202.pdf
10. M'Sadak Y., Ben M'Barek A., Zoghalmi R.I. - Diagnostics environnemental et énergétique des digesteurs anaérobies expérimentaux des fientes avicoles. Revue Nature & Technologie, Numéro 8 (C), Janvier 2013, 19-26.
www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art_08_C_03.pdf
11. M'Sadak Y., Ben M'Barek A. - Energy, environmental and agronomic valorizations of the rural biomethanisation of the bovine biomass- International Journal of Innovation and Applied Studies, October 2013, vol. 4, no. 2, 343–352. www.issr-journals.org/ijias/fr/authid.php?id=612
12. Verrier D., Morfaux J.N., Albagnac G., Touzel J.P. - The French programme on methane fermentation. Biomass (2), 1982, 17-28. www.sciencedirect.com/science/journal/01444565/2/1
13. Béline F., Gac A. - La méthanisation : un moyen de valoriser la matière organique des déjections animales et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Sinfotech- Les Fiches Savoir-faire, CEMAGREF, 2007, 4 p.
14. Macias-Corral M., Samani Z., Hanson A., Smith G., Funk P., Yu H., Longworth J. - Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. Bioresource Technology (99), 2008, 8288-8293. www.researchgate.net/.../Anaerobic_digestion_of_mu...
15. Brondeau P., De La Farge B., Héduit M. - Un nouveau procédé de fermentation méthanique en continu pour les lisiers : Production d'énergie, dépollution et désodorisation. Génie Rural, Janvier-Février (1-2), 1982, 5-10.
16. Angelidaki I., Ellegaard L. - Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. Appl. Biochem. Biotech. (109), 2003, 95-105. link.springer.com/.../10.1385%2FABAB%3A109%3...
17. Westerman P., Bicudo J. - Management considerations for organic waste use in agriculture. Bioresour. Technol. (96), 2005, 215-221. www.sciencedirect.com/science/journal/.../96/2
18. Karellas S., Boukis I., Kontopoulos G. - Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews (14), 2010, 1273-1282. www.deepdyve.com/.../development-of-an-investmen...
19. Moral R., Paredes C., Bustamante M.A., Marhuenda-Egea F., Bernal M.P. - Utilisation of manure composts by high-value crops: Safety and environmental challenges. Bioresource Technology (100), 2009, 5454-5460. www.sciencedirect.com/science/journal/.../100/22
20. Fuchs J.G., Galli U., Schleiss K., Wellinger A. - Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) & Forum Biogaz Suisse, 2001, 26 p. www.educompost.ch/f/downloads.html
21. Mbuligwe S.E., Kassenga G.R. - Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar es Salaam City, Tanzania. Resources, Conservation and Recycling (42), 2004, 183-203. top25.sciencedirect.com/.../resources-conservation-an...
22. Poeschl M., Ward Sh., Owende Ph. - Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. Renewable and Sustainable Energy (14), 2010, 1782-1797.
23. Amigun B., Von Blottnitz H. - Investigation of scale economies for African biogas installations. Energy Conversion and Management (48), 2007, 3090–3094.
<https://www.mysciencework.com/.../controle-et-conduite-des-digesteurs-...>
24. Pouech Ph. - Intérêt des digestats et possibilités de valorisation. Ateliers d'échange sur les aspects techniques et réglementaires de la méthanisation de la biomasse, 2007, 14 p.
25. Ramade F. - Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Édiscience Internationale, Paris, France, 1993.
26. Moletta R. - Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies. Revue des sciences de l'eau (2), 1989, 265-293. <https://www.mysciencework.com/.../controle-et-conduite-des-digesteurs-...>
27. Bernal M.P., Albuquerque J.A., Moral R. - Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. Bioresource Technology (100), 2009, 5444-5453. www.sciencedirect.com/science/journal/.../100/22
28. Albuquerque J.A., Gonzalez J., Garcia D., Cegerra J. - Measuring detoxification and maturity in compost made from « alpercijo », the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. Chemosphere (64), 2006, 470-477.
29. Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K. - Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, Bioresource Technology (96), 2005, 1584-1591. top25.sciencedirect.com/.../microbiology/.../bioresour...
30. Lemaire F., Dartigues A., Riveres L.M., Charpentier S. - Culture en pots et conteneurs. Principes Agronomiques et Applications. INRA, Paris, France, 1989, 123-133.

31. Ammari Y., Lamhamedi M.S., Akrimi N., El Abidine A.Z. - Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost. *Geo-Eco-Trop* (30), 1, 2006, 11-24.
www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_301_413879.pdf
32. Juste C., Solda P., Dureau P. - Test agronomique simple destiné à juger rapidement de la phytotoxicité éventuelle et du degré de maturité d'un compost d'ordures ménagères. Comité "Sols et Déchets" 1973-1983. Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets, Nantes, France, 1985, 4 p.
33. Gras R., Aigus I. - Quelques propriétés physiques des substrats horticoles. *PHM Revue Horticole*, 1982, 51-53.
34. CPVQ - Pépinières, Culture en conteneurs, Substrats. Document technique, Conseil des Productions Végétales du Québec, Canada, 1993, 19 p.
35. Sullivan D.M., Miller R.O. - Compost quality attributes, measurements, and variability. In: Stoffella P.J., Kahn B.A. (Eds.). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers, New York, USA, 2001, 95-120.
36. Hoitink H.A.J., Stone A.G., Han D.Y. - Suppression of plant diseases by composts. *HortScience* 32 (2), 1997, 184-187.
37. Morard P. - *Les cultures végétales hors sol*. Édition Publications Agricoles AGEN, Paris, France, 1995, 9-11.