



VALORISATION COMBINÉE DES DIGESTATS AVICOLES SOLIDE ET LIQUIDE POUR LA PRODUCTION HORS SOL DES PLANTS DE TOMATE EN TUNISIE

COMBINED VALORIZATION OF SOLID AND LIQUID AVICOLEOUS DIGESTATS FOR THE PRODUCTION ABOVEGROUND OF TOMATO PLANTS IN TUNISIA

M'SADAK Y., BEN M'BAREK A.

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel. Université de Sousse. Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, BP 47, 4042 Chott Mariem, Tunisie

msadak.youssef@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'emploi de la tourbe mélangée avec du méthacompost avicole (MCA) avec ou sans incorporation du compost sylvicole brut (CSB) dans le substrat de culture élaboré a fait l'objet d'une expérimentation maraîchère hors sol, tout en ayant recours à la fertigation au Jus de Process Avicole (JPA) dilué selon le rapport 1/150. La croissance et le flétrissement des plants de tomate ont été, entre autres, relevés.

Les résultats essentiels obtenus montrent une germination propice des semences de tomate aboutissant presque à 100% sur les mélanges Tourbe + MCA, une croissance en hauteur la plus élevée enregistrée pour le mélange insérant 10% MCA et une amélioration convenable de la croissance en hauteur des plants suite à l'application du JPA dilué (1/150). L'incorporation partielle du MCA avec/sans CSB à raison de 10% (SB et SA') a permis de concéder des plants de qualité admissible et à croissance supérieure à celle des plants installés sur SC (80% Tourbe + 20% MCA) et SC' (60% Tourbe + 20% MCA + 20% CSB) qui sont loin d'être acceptables en comparaison au substrat importé (Tourbe). Le substrat SA' (80% Tourbe + 10% MCA + 10% CSB) a enregistré la croissance en diamètre la plus grande.

Mots clés : Pépinière maraîchère hors sol, Méthacompost avicole, Jus de process avicole, Substrat de culture, Fertigation, Comportement agronomique.

ABSTRACT

The use of peat mixed with methacompost of poultry (MCA) with or without incorporation of forestry raw compost (CSB) in the culture substrates has been developed a soilless gardening experiment while using the fertigation at Juice Process Poultry (JPA) diluted 1/150 depending on the report. Growth and wilting tomato plants were, among others, statements.

The main results obtained show a favorable germination of tomato seeds leading to almost 100% on mixtures Peat + MCA, growth in the higher height recorded for MCA 10% and inserting a suitable improvement in growth in height mixing plants following the application of diluted JPA (1/150). The partial incorporation of MCA with / without CBS at 10% (SB and SA) allowed to grant quality seedlings eligible and higher than that of SC plants installed on growth (80% + 20% peat MCA) and SC' (60% peat + 20% + 20% MCA CSB) which are far from acceptable in comparison to the imported substrate (peat). The substrate SA (80% peat + 10% + 10% CSB MCA) recorded growth in the largest diameter.

Keywords: Nursery aboveground vegetable, Methacompost of poultry, Juice of process poultry, Culture substrate, Fertigation, Agronomic performance.

INTRODUCTION

Dans le contexte de l'évolution de nouvelles sources d'énergie, le monde agricole a la possibilité de développer de nouvelles branches visant à se développer dans les prochaines années. Parmi celles-ci la production de biogaz sur base des matières premières produites dans les exploitations agricoles représente une opportunité intéressante et contribue à répondre aux exigences énergétiques à venir. La production agricole de biogaz s'est développée tout d'abord à partir de l'utilisation de fumier de ferme liquide. Le fumier fût utilisé ainsi dans les installations biogaz du fait des grosses quantités disponibles, de sa grande teneur en matière sèche et de la capacité de formation de gaz (Anonyme, 2010).

La technologie de Biométhanisation mise en oeuvre permet le traitement biologique anaérobie de la fraction organique de la biomasse générée en transformant un problème des déchets en une source de richesses (Saidi et Abada, 2007). 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., 2011 ; M'Sadak et al, 2012 ; M'Sadak et Zoghliami, 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 gestion de la Matière Organique (MO) reste une priorité dans la gestion des déchets. La filière de retour au sol des matières organiques se construit, avec aujourd'hui le développement important de la Biométhanisation (Muller et Zdanevitch, 2013).

La Biométhanisation permet de transformer la matière organique volatile en énergie, tout en préservant son potentiel fertilisant, aussi bien du point de vue de la matière organique que des éléments minéraux. Ce bioprocédé offre ainsi une solution de valorisation énergétique de la biomasse qui, loin d'être en concurrence avec les impératifs agronomiques, est au contraire en synergie avec ceux-ci (Mignon, 2009). Elle vise à transformer le carbone de la MO en méthane (CH₄). La matière résiduelle résultante du procédé, qui peut représenter de 70 à 80% de la masse initiale est appelée digestat. La valorisation de ce digestat, Co-produit secondaire ou résidu de la Biométhanisation, est essentielle pour rentabiliser cette filière de traitement anaérobie, afin de ne pas créer un nouveau type de déchet (Martel et al., 2013).

La digestion anaérobie est un procédé conservatif pour les éléments n'entrant pas dans la composition du biogaz. Ce procédé permet donc la préservation des éléments fertilisants majeurs (l'azote, le phosphore et le potassium), et des oligo-éléments dans le digestat brut (ADEME, 2006). Par conséquent, il va y avoir conservation des éléments fertilisants, mais également des polluants potentiels. Pour ce qui est des qualités fertilisantes au sens strict, les principaux changements qui s'opèrent lors de la Biométhanisation sont observables sur l'azote, notamment sa forme chimique : A l'issue de la Biométhanisation, l'azote sera principalement sous forme minérale (45-75 % d'ammonium) rapidement exploitable par les végétaux. Les 25-55 % restants sont sous forme organique (Muller, 2011). Quoique, les risques de pertes gazeuses de cet azote sous forme ammoniacale est très importante (jusqu'à près de 70 % de la quantité de NH₄₊ épandue) si les conditions et quantités d'épandage ne sont pas optimales (Muller, 2011).

Les Co-produits secondaires ou digestats de la Biométhanisation peuvent être utilisés à l'état solide (Méthacompost) comme partie intégrante des substrats de culture (Moral et al, 2009 ; M'Sadak et Ben M'Barek, 2015a ; M'Sadak et Ben M'Barek, 2015c ; M'Sadak et Ben M'Barek, 2016) 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 fertigation hors sol (M'Sadak et Ben M'Barek, 2015b).

Les divers paramètres agissent sur les potentialités fertilisantes des digestats. C'est pourquoi, une meilleure connaissance de ces possibilités est nécessaire afin de pouvoir optimiser leur emploi pour une meilleure valorisation dans les systèmes de production végétale, notamment en culture hors sol.

Dans ce cadre, la présente étude constitue une tentative de valorisation agronomique du digestat liquide ou Jus de Process Avicole (JPA) prélevé à la sortie du bassin de décantation d'un digesteur pilote de biométhanisation industrielle appliquée aux fientes de volailles, en utilisant le meilleur rapport de dilution adopté (1/150) pour la fertigation des jeunes plants de tomate, conduits en pépinière maraîchère hors sol sur des substrats de croissance confectionnés à base de mélange Tourbe et digestat solide ou Méthacompost Avicole (MCA), avec ou sans incorporation du compost sylvicole brut (CSB). L'objectif final recherché étant l'exploitation combinée des digestats solide et liquide pour la production hors sol des plants maraîchers en Tunisie, en vue de limiter, d'une part, les importations de tourbe (composant intégral des substrats de culture), et d'autre part, l'emploi des fertilisants chimiques pour la fertigation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site expérimental et digesteur mis en œuvre

Il s'agit d'un digesteur industriel pilote de forme cylindrique, installé dans une ferme avicole à Hammam Sousse relevant du gouvernorat de Sousse (Tunisie), depuis l'année 2000, d'une capacité utile de 300 m³, alimenté en continu quotidiennement par 10 m³ de substrat composé d'environ 1/3 de fientes avicoles et 2/3 d'eau provenant lors du raclage des poulaillers avec l'effluent sortant décanté (solution aqueuse ou surnageant). L'alimentation en fientes avicoles étant mécanique et le raclage des poulaillers permet une bonne dilution du substrat et un pompage facile (ALCOR et AXENNE, 2003).

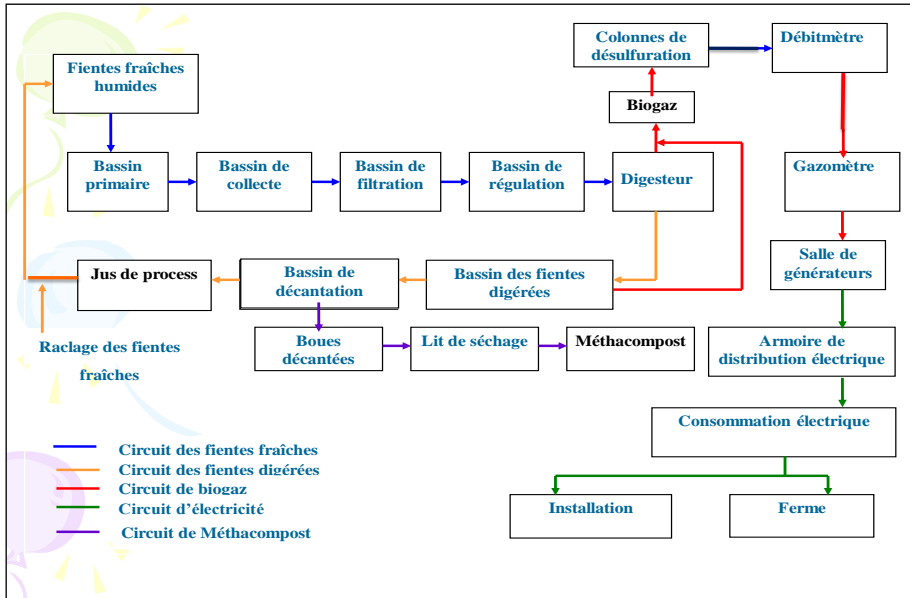


Figure 1 : Schéma synoptique de différents circuits de la Biométhanisation industrielle avicole adoptée

Ce digesteur industriel cylindrique, disposé verticalement, est du type digesteur de contact anaérobie à cellules immobilisées (à biomasse fixée). Il est composé d'un milieu réactionnel rempli d'un solide (lit fixe) sur lequel vont se fixer les bactéries. Le garnissage est constitué d'un support inerte de nature (6000 briques de 12). Un tel digesteur fonctionne avec un flux ascendant/descendant. Suivant ce procédé, l'affluent s'écoule vers le haut ou vers le bas (selon sa teneur en solides) à travers le digesteur contenant les briques de 12 qui retiennent les microorganismes anaérobies et sur lesquelles ils se multiplient.

Les fientes digérées, produites dans le digesteur, traversent trois bassins différents (Figure 1) : Un premier bassin recevant le substrat digéré pour un faible temps de séjour (appelé bassin des fientes digérées) avant de séjourner dans le second bassin, appelé bassin de décantation ou décanteur. À partir de ce dernier, les boues des fientes décantées seront séchées et transformées en méthacompost. Quant à l'eau surnageant (Jus de process) le bassin de décantation, elle passe dans le troisième bassin pour servir actuellement au raclage des fientes fraîches des poulaillers.

Il convient de signaler que conjointement à chaque opération d'alimentation par de nouvelles fientes, une même quantité de fientes traitées s'évacue à partir du trop-plein vers le bassin de collecte des fientes digérées.

Appréciation de l'incidence combinée du méthacompost et du jus de process avicoles

L'ensemble des résultats acquis montre que les substrats confectionnés à base de mélange et les solutions préparées suite à la dilution du JPA, se distinguent par leur qualité agronomique. Pour cette raison, les meilleures combinaisons (mélanges) ont été retenues pour expérimentation.

Le but recherché de cette expérimentation est donc d'étudier l'effet combiné du mélange à base de MCA (Effet substrat) et de l'apport fertilisant à base du JPA dilué (Effet fertigation) sur le comportement (germination, croissance en hauteur et diamètre) des plants de tomate.

Tableau 1 : Identification et composition de mélanges confectionnés

Mélanges T + MCA			Mélanges T + MCA + CSB			
Substrats	% T	% MCA	Substrats	% T	% MCA	% CSB
SA	100	00	SA'	80	10	10
SB	90	10	SB'	70	20	10
SC	80	20	SC'	60	20	20
SD	75	25	SD'	50	20	30
SE	70	30	SE'	50	30	20

Les substrats employés lors de l'essai réalisé sont au nombre de cinq (deux mélanges Tourbe + MCA, deux mélanges Tourbe + MCA + CSB et Tourbe comme substrat de référence). Il s'agit de quatre meilleurs substrats de culture parmi neuf mélanges confectionnés et testés, relatés dans le Tableau 1. Ces substrats ont été arrosés avec le JPA dilué ayant donné les meilleurs résultats (choisi parmi quatre solutions fertilisantes préparées et testées). Il s'agit du JPA dilué (1/150).

A propos des substrats de culture mis à l'essai, on a retenu, en plus de SA (Témoin), SB et SC parmi les mélanges Tourbe + MCA, ainsi que SA' et SC' parmi les mélanges Tourbe + MCA + CSB.

Il s'agit donc d'améliorer la qualité des plants produits en bénéficiant des caractéristiques physico-chimiques convenables du MCA et du JPA dilué. Le dispositif expérimental correspondant est le même employé dans les divers autres essais préalables. Il s'agit du dispositif Blocs Aléatoires Complètes (BAC) avec un seul facteur étudié qui est le substrat et un seul facteur contrôlé (3 blocs) (Figure 2).

SA	SB	SC	SA'	SC'	Bloc I
SA'	SC	SA	SC'	SB	Bloc II
SB	SA'	SC'	SC	SA	Bloc III

SA : 100% T, SB : 90% T + 10% MCA, SC : 80% T + 20% MCA, SA' : 80% T + 10% MCA + 10% CSB, SC' : 60% T + 20% MCA + 20% CSB

Figure 2 : Dispositif expérimental adopté lors de l'essai réalisé

Le suivi de l'évolution de l'accroissement en hauteur de la partie aérienne des plants de tomate a été conduit à partir des mesures (à intervalles plus ou moins réguliers de quatre jours) depuis le collet jusqu'au bourgeon apical à l'aide d'une règle. En outre, des observations ont porté sur la survie des plants de tomate (anomalies végétatives, flétrissement, ...). Les mesures de l'accroissement en diamètre ont été effectuées en même temps que celles de l'accroissement en hauteur et avec un pied à coulisse à affichage digital. Auparavant, on a accompli un suivi de germination des semences de tomate. Lors de chaque suivi de croissance et pour chaque bloc, on a effectué des mesures selon un échantillonnage systématique non destructif. En effet, dans chaque bloc, on a choisi 5 plants homogènes : 5 plants x 3 blocs = 15 plants/Traitement, soit 75 plants de tomate/Suivi.

Les données obtenues pour chaque paramètre (germination, croissance en hauteur et diamètre des plants) ont été interprétées en utilisant le logiciel statistique SPSS.17. L'interprétation fait appel respectivement à l'analyse de la variance (ANOVA) et à la comparaison des moyennes de différents types de traitement (Test Duncan) tout en recherchant là où les moyennes sont considérées comme étant analogues, si au contraire, il y a une différence significative, le test « Duncan » permet de compléter l'interprétation et d'identifier les groupes de moyennes homogènes.

L'évolution de la croissance au cours du temps peut être traduite par des courbes de croissance, qu'il est utile de réduire à des modèles mathématiques simples, permettant de dégager des paramètres facilitant les comparaisons. Grossièrement, les courbes représentatives de la longueur de la tige sont des courbes en forme S dites sigmoïdes (en forme de sigma grec de mot, très allongé). L'établissement des courbes de croissance a été réalisé à l'aide du logiciel « ORIGIN, version 7.0 ».

Si l'on néglige les variations de détails, les courbes de croissance peuvent être décrites par un modèle simple, qui conduit à des formules mathématiques commodes facilitant les comparaisons entre les divers matériels ou conditions expérimentales influençant la croissance. Particulièrement, l'évolution de la croissance en hauteur (y) est ajustée par un modèle sigmoïdal (Fit Boltzmann) ayant l'équation suivante :

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2$$

Pour l'essai réalisé, on a testé la variation de différents paramètres de cette équation (A_1 , A_2 , x_0 et dx) suivant le facteur contrôlé dans chaque essai (substrat ou rapport de dilution).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Évolution de la germination des semences de tomate

La qualité des méthacomposts, des composts et des substrats en mélange peut être définie comme étant l'ensemble de leurs caractéristiques qui leur donnent une valeur et qui assurent la possibilité de leur usage sans nuisances pour l'environnement ou les cultures produites sur eux. L'incidence de l'incorporation partielle du MCA et du CSB dans la confection des substrats de culture peut être déduite à partir de la figure 3 ci-après qui illustre la variation des pourcentages de germination des plants de tomate en fonction du substrat utilisé. Le taux élevé de germination est l'un des critères de qualité des substrats de culture.

Les résultats des essais de germination sur les différents substrats retenus et les analyses statistiques ont montré que les cinétiques et les pourcentages de germination des semences utilisées ont été relativement identiques dans le cas des substrats SA et SB qui forment ensemble un seul groupe (Figure 3). Ils présentent les deux un % maximal de germination égal à 100% dû à leur forte

énergie germinative. L'analyse statistique permet de dégager encore qu'il n'existe pas une différence entre SA' et SC' concernant leur effet sur la germination. Ils constituent ainsi un même groupe. Le substrat SC présente un caractère intermédiaire entre les deux groupes mentionnés.

L'excellente germination indique que les substrats employés ne contiennent pas de substances phénoliques qui peuvent entraver la germination des plants. Ceci laisse suggérer que les différents types de mélange sont prêts à être utilisés pour produire des plants à l'échelle opérationnelle dans les pépinières maraîchères hors sol.

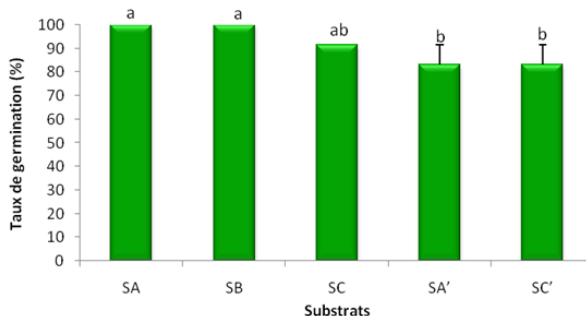


Figure 3 : Incidence du type de substrat sur la variation du taux de germination

Évolution de la croissance en hauteur des plants de tomate et de leur survie

Zucconi et De Bertoldi (1987) cités par Bernal et al. (2009) ont discuté les différences entre les essais de germination et les essais de croissance. Les essais de germination fournissent une image instantanée de phytotoxicité, tandis que les essais de croissance seront affectés en continu des changements de la stabilité ou de la maturité du compost examiné : il peut y avoir des effets préjudiciables, en partie, sur la croissance, mais des effets bénéfiques plus tard.

Selon Wacquant (1995), la croissance est l'ensemble de modifications quantitatives qui interviennent au cours du développement et qui se traduisent par une augmentation des dimensions, sans changement appréciable des propriétés qualitatives. De cette définition découle la possibilité de déterminer certains critères d'évaluation (hauteur, diamètre, ratio de robustesse).

La hauteur exprimée en cm, constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui est corrélée avec le nombre des feuilles (Armson et Sadreika, 1974 cités par Lamhamedi, 1997).

L'évolution de la hauteur des plants de tomate en fonction du nombre de jours après semis (Figure 4) montre que la réponse de ces plants vis-à-vis des divers substrats n'est pas la même. Les plants sont sensibles dès les premiers stades de croissance à la nature et à la composition du substrat. Cette sensibilité est en rapport avec les propriétés physico-chimiques de chaque substrat. L'analyse des allures générales des courbes d'évolution de la hauteur des plants de tomate montre des réponses différentes de divers substrats testés. On constate que le substrat SC' présente dès le début un retard de croissance par rapport aux autres substrats confectionnés, probablement dû à un mauvais contact de la graine avec les particules environnantes grossières (qualités physique et hydrique non satisfaisantes).

La mesure de croissance en hauteur la plus élevée est enregistrée pour SB ayant une moyenne de 7,3 cm, alors que la valeur la plus faible est relative au substrat SC, elle est de l'ordre de 5,4 cm. Ce dernier présente une légère évolution, au cours du temps, de la première à la dernière mesure.

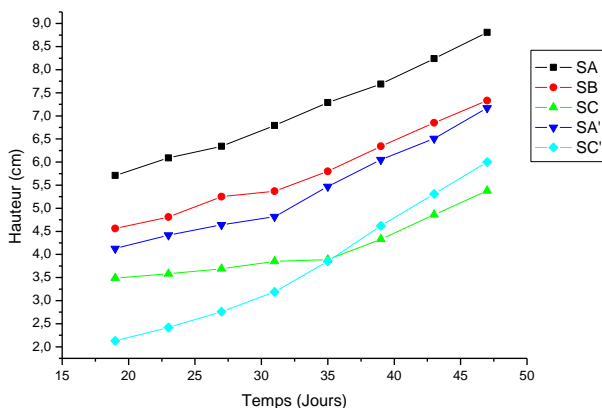


Figure 4 : Évolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

L'application du JPA dilué (1/150) sur le substrat de culture a permis une amélioration nette de la croissance en hauteur des plants tout le long de son application. Les résultats relevés peuvent être expliqués par la présence dans le JPA d'éléments nutritifs et de microorganismes bénéfiques (essentiellement des bactéries) qui promettent la croissance racinaire (Growth Promoting Bacteria). Ces bactéries, d'après Kerkeni (2008), se localisent dans la phyllosphère et stimulent la croissance des plantes.

Pour certaines espèces horticoles de pépinière et de serre, les déchets et les boues résiduaires utilisés à l'état frais ou composté sont intéressants à incorporer à des substrats tourbeux parce qu'ils n'affectent pas négativement la croissance des plantes (Chong et Cline, 1993 cités par Gauthier et al., 1998). L'incorporation des résidus organiques (MCA avec/sans CSB) a des répercussions négatives sur la croissance des organes végétatifs. Les hauteurs considérées des plants sont moins élevées que celles du témoin. L'émission de nouvelles feuilles a été également réduite ainsi que leurs tailles. L'intégration partielle de ces deux matériaux à raison de 10% (SB et SA') a permis de donner des plants de qualité acceptable et à croissance meilleure que celle des plants installés sur SC et SC' qui sont loin d'être acceptables par comparaison au substrat commercial (Tourbe). Les résultats sont encore justifiés en faisant recours à l'analyse statistique des résultats de la croissance en hauteur relative au dernier suivi (Figure 5). La proportion maximale de résidus à être incorporée en remplacement de la tourbe se situe probablement entre 20 et 40% par volume (Jespersen et Willumsen 1993 cités par Gauthier et al., 1998).

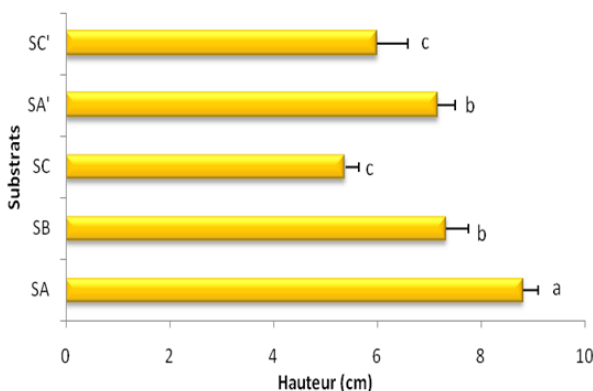


Figure 5 : Variation de la hauteur moyenne des plants de tomate

Les hauteurs réduites des plants se sont révélées plus importantes lorsque le MCA est incorporé à une proportion de 20% par volume. Il est à noter que ces résultats sont souvent en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des matériaux introduits (MCA et/ou CSB) et les proportions de leur intégration. La faible porosité d'aération, surtout des substrats à base de mélange Tourbe + MCA intégré à forte proportion, peut causer l'asphyxie racinaire des plants, ce qui permet de diminuer leur croissance comme elle peut causer la mort de ces derniers. La teneur élevée des éléments nutritifs occasionne la phytotoxicité de jeunes plants.

En plus de l'accroissement de la stabilité des substrats, la maturité des matériaux compostés influence leur composition chimique (De Vleeschauwer et al., 1981 cités par Gauthier et al., 1998). Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques des substrats ont possiblement évoluées durant la période de production malgré la durée relativement courte de la culture. Lemaire (1993) cité par Gauthier et al. (1998) a soulevé l'importance de connaître la durée d'utilisation des matériaux organiques afin de choisir des cultures de durée équivalente.

Une approche qui gagne de plus en plus d'intérêt, dont il faut tenir compte lors de la phase pépinière de production des plants maraîchers, concerne la valeur potentielle des composts à supprimer plusieurs maladies (De Ceuster et Hoitink et al., 1999 cités par Kerkeni, 2008). L'addition par exemple, aux substrats de culture, de compost fait à partir de résidus de végétaux et de déchets des animaux ou bien des composts faits de résidus de papiers, a permis la suppression du *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, responsable du flétrissement de la tomate (Cotxarrera et al., 2002 cités par Kerkeni, 2008) et du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, responsable de la pourriture du collet sur cette même espèce (Pharand et al., 2002 cités par Kerkeni, 2008). Ces deux symptômes (flétrissement et pourriture du collet) ont été observés sur quelques plants finissant par mourir (Figure 6). L'ajout de 25% d'un compost fait à partir de fumier des animaux dans le substrat de culture, s'est avéré suppressif vis-à-vis de *Phytophthora cinnamomi*, agent causal de la pourriture des racines chez *Lupinus albus* (Aryantha et al., 2000 cité par Kerkeni, 2008).

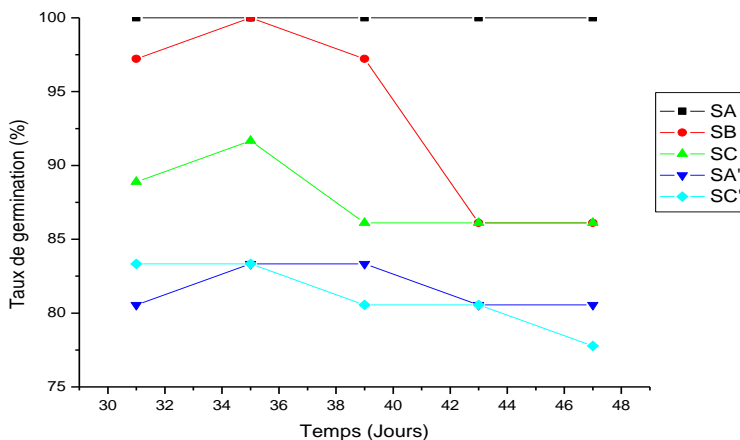


Figure 6 : Effet combiné substrat-fertigation sur la survie des plants de tomate

Le compost comme le méthacompost peuvent être employés pour la production de jeunes plants avec comme avantage par rapport à la tourbe, de produire des plantes plus résistantes aux pathogènes (Hoitink *et al.*, 1997 cités par Larbi, 2006). Les possibilités d'utilisation de ces résidus organiques sont prometteuses, mais restent fortement tributaires de leur aspect qualitatif.

Les relations existantes entre le substrat et la plante permettent de connaître les qualités nécessaires à un support de culture pour une croissance optimale des végétaux. En culture hors sol, les propriétés des substrats sont d'autant plus importantes qu'il n'existe qu'un faible pouvoir tampon en cas d'incident. Concernant l'étude de l'impact de l'effet combiné du substrat à base de tourbe en mélange avec le MCA et/ou le CSB et du JPA dilué sur la durabilité du système, il vaudrait mieux parler de défauts apparents attribuables à la mauvaise nutrition (insuffisance, déséquilibre) ou à l'interaction de la mauvaise nutrition avec d'autres facteurs accablants tels que l'amplitude thermique, les basses températures nocturnes, la sensibilité variétale, ... que de la qualité qui est un concept beaucoup plus large.

Résultats de l'ajustement par une sigmoïde de la croissance

Les résultats de l'ajustement de la croissance en hauteur des plants de tomate installés sur les divers substrats sont présentés dans le Tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Variation de différents paramètres de la sigmoïde

Substrats	R ²	A1	A2	x ₀	dx
SA	0,99882	3,62478	20,20450	66,30113	24,48247
SB	0,99511	3,61637	12,69877	52,68462	15,83924
SC	0,99306	3,50092	6,99920	46,01303	6,04066
SA'	0,99520	3,87984	8,77946	41,33063	8,14132
SC'	0,99964	1,75787	7,66006	39,65598	7,84772

La qualité de l'ajustement est meilleure dans le cas des plants installés sur SC'. La courbe de croissance sigmoïde relative à ce substrat est présentée par la Figure 7.

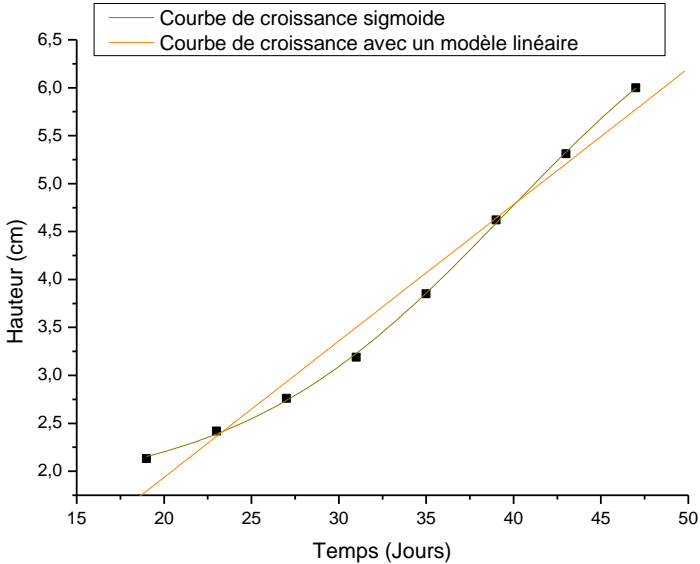


Figure 7 : Ajustement par une sigmoïde de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

Évolution de la croissance des plants de tomate en diamètre

L'analyse statistique relative à la dernière mesure du diamètre des plants de tomate est illustrée sur la Figure 8 ci-après. Elle présente les moyennes des mesures spécifiques au diamètre de 5 plants homogènes relatifs à un même bloc, soit 15 plants par substrat.

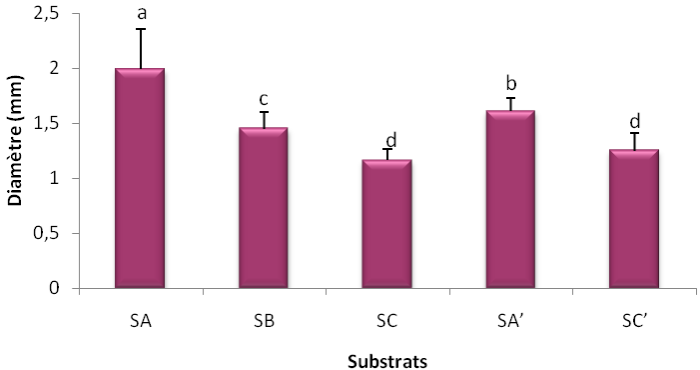


Figure 8 : Variation du diamètre moyen des plants de tomate

Le substrat SA' présente la croissance en diamètre la plus importante de l'ordre de 1,61mm. Comme pour la hauteur, le substrat SC vient en dernière position avec des valeurs largement inférieures à celles obtenus pour le reste des substrats. Il constitue avec SC' un même groupe. Il s'agit dans ce cas d'une relation de proportionnalité entre la croissance en hauteur et en diamètre des plants.

CONCLUSION

La Biométhanisation de la biomasse animale (fientes avicoles seules) et/ou le compostage de la biomasse végétale (broyats sylvicoles) constituent des alternatives de rechange face à l'utilisation massive de la tourbe importée. La substitution partielle de la tourbe par le méthacompost avicole (issu du bassin de décantation d'un digesteur industriel) dans la confection des substrats de croissance des plants maraîchers, constitue l'un des objectifs recherchés lors de cette étude. L'objectif essentiel étant l'évaluation de l'effet de l'association simultanée Méthacompost (Digestat solide en tant que substitut partiel de la Tourbe importée)-Jus de process (Digestat liquide en tant que produit fertilisant) sur le comportement agronomique hors sol des plants maraîchers (germination, accroissement en hauteur et survie des plants, ajustement sigmoïdal de la croissance, accroissement en diamètre).

L'utilisation de la tourbe en mélange avec du méthacompost avicole (MCA) avec ou sans intégration du compost sylvicole brut (CSB) dans le substrat de culture confectionné a fait l'objet de l'expérimentation entreprise, tout en faisant appel à la fertigation au Jus de Process Avicole (JPA) dilué selon le rapport 1/150.

Les principaux résultats relevés dévoilent une bonne germination des semences de tomate atteignant pratiquement 100% sur les mélanges Tourbe + MCA, une croissance en hauteur la plus grande enregistrée pour le mélange incorporant 10% MCA et une amélioration nette de la croissance en hauteur des plants tout le long de l'application du JPA dilué (1/150). En outre, l'intégration partielle du MCA avec ou sans CSB à raison de 10% (SB et SA') a permis de donner des plants de qualité acceptable et à croissance supérieure à celle des plants installés sur SC (80% Tourbe + 20% MCA) et SC' (60% Tourbe + 20% MCA + 20% CSB) qui sont loin d'être admissibles en comparaison au substrat importé (Tourbe). Par ailleurs, le substrat SA' (80% Tourbe + 10% MCA + 10% CSB) a présenté la croissance en diamètre la plus importante.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME (2006). Gestion des déchets organiques en France. Le point sur les filières de gestion biologique avec retour au sol, Mars 2006, 22 p.
- ALCOR, AXENNE (2003). Étude stratégique pour le développement des énergies renouvelables en Tunisie- Bilan des réalisations. Rapport final de l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER), 148-157.
- AMIGUN B., VON BLOTTNITZ H. (2007). Investigation of scale economies for African biogas installations. *Energy Conversion and Management* (48), 3090-3094.
- ANONYME (2010). Valeur fertilisante de digestats issus de la biométhanisation en comparaison avec un lisier bovin, Centre Pilote de Maïs, Belgique, 67-74.
- BELINE F., GAC A. (2007). 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, 4 p.
- BERNAL M.P., ALBURQUERQUE J.A., MORAL R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology* 100, 2009, 5444-5453.
- FUCHS J.G., GALLI U., SCHLEISS K., WELLINGER A. (2001). Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) & Forum Biogaz Suisse, 26 p.
- GAUTHIER F., GAGNON S., DANSEREAU B. (1998). Incorporation de résidus organiques dans un substrat tourbeux pour la production d'impatiens et de géraniums. *Can. J. Plant Sci.*, 131-138.
- KERKENI A. (2008). Contribution à la valorisation des composts et des jus de composts : Incidence sur la fertilisation et la protection phytosanitaire de quelques espèces légumières. Thèse Agriculture Durable pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem (ISA-CM), Tunisie, 158 p.
- LAMHAMEDI M.S., FORTINN J.A., AMMARI Y., BEN JALLOUN S., POIRIER M., FECTEAU B., BOUGACHA A., GODIN L. (1997). Évaluation des composts, des substrats et de qualité des plants (*Pinus pinea*, *Punica halepensis*, *Cupressus sempervirens* et *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Rapport technique : Exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie. Publication DGF de Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Québec, Canada, 121 p.
- LARBI M. (2006). Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Neuchâtel, Suisse, 15-21.
- MACIAS-CORRAL M., SAMANI Z., HANSON A., SMITH G., FUNK P., YU H., LONGWORTH J. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid waste and

Valorisation combinée des digestats avicoles solide et liquide pour la production hors sol des plants de tomate en Tunisie

- agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology* (99), 8288-8293.
- MARTEL S., DESMEULES X., LANDRY Ch., LAVALLÉE S., PARÉ M., TREMBLAY F. (2013). Valeur fertilisante des digestats de méthanisation. *Recherche et Innovation en Agriculture (AGRINOVA)*, Canada, 3 p.
- MBULIGWE S.E., KASSENKA G.R. (2004). Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar es Salaam City, Tanzania. *Resources, Conservation and Recycling* (42), 183-203.
- MIGNON Ch. (2009). Utilisation du digestat comme fertilisant en agriculture. *Valbiom*, Belgique, 15 p.
- MORAL R., PAREDES C., BUSTAMANTE M.A., MARHUENDA-EGEA F., BERNAL M.P. (2009). Utilisation of manure composts by high-value crops: Safety and environmental challenges. *Bioresource Technology* (100), 5454-5460.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., ZOGHLAMI R.I., BARAKET S. (2011). Caractérisation des Co-produits de la Biométhanisation appliquée à la biomasse animale. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 14 N°2, 2011, 343-356.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., BARAKET S. (2012). Suivis physico-chimique et énergétique de la Biométhanisation expérimentale appliquée à la biomasse bovine. *Revue Nature & Technologie*, No7, Juin 2012, 81-86.
- M'SADAK Y., ZOGHLAMI R.I. (2012). Caractérisations physico-chimique, environnementale et énergétique de la Biométhanisation industrielle avicole en Tunisie semi-aride. *Algerian Journal of Arid Environment (AJAE)*, Vol. 2 No2, Décembre 2012, 16-27.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., ZOGHLAMI R.I. (2013). Diagnostics environnemental et énergétique des digesteurs anaérobies expérimentaux des fientes avicoles. *Revue Nature & Technologie*, No8 (C), Janvier 2013, 19-26.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A. (2013). Energy, environmental and agronomic valorizations of the rural biomethanisation of the bovine biomass. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, October 2013, Vol. 4, No2, 343-352.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A. (2015a). Valorizations environmental, energy and agronomic of biomethanisation industrial of the avicolous biomass. *J. Fundam. Appl. Sci.*, Janvier 2015, 7 (1), 14-32.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A. (2015b). Caractérisation qualitative d'un digestat avicole liquide issu de la biométhanisation industrielle et valorisation en fertigation des plants de tomate. *Journal Larhyss*, Mars 2015, No21, 51-67.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A. (2015c). Valorization agricultural of a solid digestate avicolous resulting from the industrial biomethanisation in Tunisia. *J Fundment Appl Sci.*, Septembre 2015, 7 (3), 298-321

- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A. (2016). Characterization qualitative and potentialities of utilization of methacomposts of poultry in the nurseries aboveground. *J. Fundam. Appl. Sci.*, Septembre 2016, 8 (3), 875-893.
- MULLER F. (2011). Qualité agronomique et sanitaire des digestats. Rapport Final, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et le Ministère de l'Agriculture par RITMO Agroenvironnement, Uteam, FIBL, INERIS, LDAR, France, Octobre 2011, 250 p.
- MULLER F., ZDANEVITCH I. (2013). Qualité des composts et des digestats. Colloque National " Prévention & Gestion des déchets dans les territoires ", Paris, France, 8 p.
- POESCHL M., WARD SH., OWENDE PH. (2010). Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. *Renewable and Sustainable Energy* (14), 1782-1797.
- POUECH Ph. (2007). Intérêt des digestats et possibilités de valorisation. Ateliers d'échange sur les aspects techniques et réglementaires de la méthanisation de la biomasse, 14 p.
- SAIDI A., ABADA B. (2007). La Biométhanisation : Une solution pour un développement durable. *Revue des Énergies Renouvelables*, CER'07 Oujda, 31-35.
- TOU I., IGOUD S., TOUZI A. (2001). Production de biométhane à partir des déjections animales. *Revue des Energies Renouvelables*, N° Spécial : Biomasse, Production et Valorisation, 103-108.
- VERRIER D., MORFAUX J.N., ALBAGNAC G., TOUZEL J.P. (1982). The French programme on methane fermentation. *Biomass* (2), 1982, 17-28.
- WACQUANT C. (1995). Maîtrise de la conduite climatique de la tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Éditions du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et des Légumes (CTIFL), Paris, France, 127 p.