

Exploitation des digestats liquides d'origine animale pour la fertigation hors sol des plants maraîchers en Tunisie

Y. M'Sadak* et A. Ben M'Barek

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

(reçu le 20 Novembre 2015 - accepté le 25 Décembre 2016)

Résumé - Cette étude est consacrée à l'évaluation du comportement végétatif des plants maraîchers vis-à-vis des jus de process obtenus après dilution respectivement, du digestat liquide issu d'une installation de biométhanisation rurale bovine, dénommé Jus de Process Bovin (JPB) et du digestat liquide issu d'une installation de biométhanisation industrielle avicole, appelé Jus de Process Avicole (JPA). Parmi les paramètres agronomiques étudiés, la croissance en hauteur et le flétrissement des plants ont été particulièrement suivis selon diverses dates pour les plants témoins arrosés à l'eau (sans fertigation) et pour les plants arrosés aux solutions fertilisantes considérées (avec fertigation). Le JPB dilué à raison de 75 % d'eau a montré une capacité fertilisante intéressante pour la production hors sol des plants de piment, tout en éliminant le flétrissement intégral observé avec la fertigation concentrée. Les JPA dilués ont dévoilé des pouvoirs fertilisants intéressants spécialement celui dilué au rapport (1/150). L'analyse statistique a révélé que la différence est non significative entre la croissance des plants de tomate arrosés avec l'eau (témoin) et ceux auxquels une fertigation est appliquée par le JPA dilué. Cependant, les résultats méritent d'être considérés avec prudence, en raison de certaines anomalies végétatives relevées dans le cas des plants arrosés avec des JPA plus concentrés.

Abstract - This study is devoted to the evaluation of the autonomic behavior of vegetable plants vis-à-vis the process of juice obtained after dilution, respectively, of liquid digestate from a rural facility bovine biomethanation, called Juice Process Cattle (JPB) and liquid digestate from an installation of industrial poultry biomethanation called Juice Process poultry (JPA). Among the agronomic parameters studied, height growth and wilting of plants were closely monitored by various dates for the control plants sprayed with water (no fertigation) and for plants watered with treated fertilizer solutions (with fertigation). Diluted earnings at 75 % JPB water showed an interesting fertilizing capacity for the production of the above-ground pepper plants, while eliminating the full wilting observed with fertigation concentrated. Diluted JPA unveiled powers fertilizers especially interesting that the dilution of (1/150). Statistical analysis revealed that the difference was not significant between the growth of tomato plants irrigated with water (control) or to which is applied by fertigation a diluted JPA. However, the results need to be viewed with caution, because of some vegetative anomalies in the case of irrigated with JPA more concentrated plants.

Mots clés: Pépinière maraîchère hors sol - Jus de process bovin - Jus de process avicole
- Dilution - Fertigation - Comportement agronomique.

1. INTRODUCTION

La gestion des déchets représente un challenge important pour une gestion durable de l'environnement. Qu'ils soient inertes, organiques ou toxiques, il s'agit de mettre en œuvre les stratégies de gestion les mieux adaptées. La biométhanisation des déchets est

* msadak.youssef@yahoo.fr

en pleine expansion. La production d'énergie et la conservation des éléments fertilisants sont des atouts importants de cette filière (Moletta, 2003).

La technologie de biométhanisation mise en œuvre permet le traitement biologique anaérobie de la fraction organique de la biomasse générée en transformant un problème des déchets en une source de richesses (Saïdi *et al.*, 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.*, 2012a; M'Sadak *et al.*, 2012b; M'Sadak *et al.*, 2013a; M'Sadak *et al.*, 2013b) et surtout lorsqu'elles sont traitées par biométhanisation avant utilisation (Verrier *et al.*, 1982; Béline *et al.*, 2007; Macias-Corral *et al.*, 2008).

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 Matière Organique (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). Les deux effets principaux de la biométhanisation sont donc, d'une part, de réduire la teneur en matière organique en produisant du biogaz, et d'autre part, de transformer une fraction plus ou moins importante de l'azote organique en azote minéral (Pfundtner, 2002).

Selon Bakx *et al.*, (2009), le digestat représente la matière digérée sortant du procédé de biométhanisation. Ce produit organique a une bonne valeur fertilisante. Les caractéristiques du digestat dépendent du type d'installation de méthanisation et des substrats digérés. La fraction liquide du digestat représente la plus grande partie du volume et contient la majorité de l'azote minéral (sous forme d'ammonium) et du potassium et, suivant le traitement et l'application des flocculants /coagulants pour améliorer la séparation, entre 1 et 50 % du phosphore. Le phosphore est de façon homogène réparti entre la phase solide / matière en suspension (non dissous) et la phase liquide (dissous).

En captant plus de matière en suspension par dosage de flocculants/coagulants, où se trouve également le phosphore non dissous, celui-ci est aussi plus évacué dans la phase solide. La phase solide est riche en matière fibreuse, ainsi qu'en phosphore et en azote organique. En fait, selon leur solubilité les composants se trouvent soit dans la phase liquide soit dans la phase solide. La technique liée à celle-ci et le rendement de la séparation des ces phases, déterminent la répartition finale des fertilisants.

Le digestat est une matière organique stabilisée, la fraction fermentescible (génératrice d'odeurs) ayant été dégradée lors du processus de biométhanisation; il est donc peu générateur d'odeurs, à la différence de matières organiques fraîches (Anonyme, sd). Le conditionnement de ce digestat permet l'obtention d'un digestat solide, appelé méthacompost et d'un digestat liquide, appelé jus de process (M'Sadak *et al.*, 2010; M'Sadak *et al.*, 2011). Selon Redon (2013), quelque soit sa composition, il est admis que le digestat est un fertilisant de part sa richesse en N, P et K.

Le digestat solide est comparable à un amendement organique avec une action structurant des sols qui reste cependant deux fois moins importante que celle d'un

compost (Redon, 2013). Selon Anonyme (sd), il s'agit d'un fertilisant de type I ($C/N > 8$). Le digestat liquide est comparable à un fertilisant minéral (Redon, 2013). C'est un fertilisant de type II ($C/N < 8$) (Anonyme, sd). Généralement, la fraction solide est riche en matière organique et en phosphore, alors que la fraction liquide est riche en azote et en potassium (Redon, 2013).

Les co-produits secondaires de la biométhanisation peuvent être utilisés 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 al.*, 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 al.*, 2007; Pouech, 2007), voire, en culture hors sol.

Divers paramètres influencent les potentialités fertilisantes des Jus de Process. 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 cette optique, la présente étude constitue une tentative de valorisation agronomique, d'une part, du Jus de Process Bovin (JPB) repris à la sortie d'un digesteur pilote de Biométhanisation rurale appliquée aux déjections de bovins, et d'autre part, du 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 vue d'optimiser la dilution et de dégager le meilleur rapport de dilution adopté à l'arrosage des jeunes plants, respectivement de piment et de tomate, conduits en pépinière maraîchère hors sol.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Sites expérimentaux et digesteurs mis en œuvre

2.1.1 Cas du digesteur rural bovin 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 m³.

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. A partir de ce digesteur, on peut extraire le digestat pour l'utiliser, entre autres, comme substrat de culture (fraction solide) et/ou comme fertilisant (fraction liquide) en pépinière hors sol.

2.1.2 Cas du digesteur industriel avicole adopté

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 (Alcore *et al.*, 2003).

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: 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. A 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.

2.2 Evaluation des performances agronomiques du jus de process bovin

Pour le JPB, son appréciation s'est limitée à une caractérisation indirecte réalisée, suite à un suivi du comportement végétatif (notamment 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 JPB, elle a été appréciée en l'utilisant pour arroser des plantules de piment déjà préparées à l'avance (graines 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 commencé 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 (depuis le collet jusqu'au sommet de la tige principale à l'aide d'une règle) 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 % et de 75 %. Lors du suivi réalisé, des observations ont concerné la survie des plants de piment (anomalies végétatives, flétrissement, ...).

L'essai mis en œuvre fait appel à une évaluation préliminaire, sans recourir à l'adoption d'un dispositif expérimental s'appêtant à une analyse statistique approfondie des résultats. Cette dernière a été limitée intentionnellement à la détermination des valeurs moyennes relatives à chaque traitement considéré.

2.3 Evaluation des performances agronomiques du jus de process avicole

La capacité fertilisante du JPA a été appréciée en l'utilisant pour arroser des plantules de tomate déjà préparées à l'avance (graines semées dans des plaques alvéolées sur un même support de référence qui est la tourbe), tout en sélectionnant les plantules ayant des hauteurs homogènes, ayant fait le support de l'expérimentation mise en œuvre.

Un dispositif expérimental a été mis en place dans cet essai. Il s'agit d'un dispositif Blocs Aléatoires Complets (BAC) avec un seul facteur étudié (rapport de dilution) et un seul facteur contrôlé (3 blocs).

Les solutions employées lors de cet essai sont au nombre de cinq: l'eau (témoin), le JPA dilué selon les rapports 1/200, 1/150, 1/100 et 1/50.

Lors de cet essai, les arrosages par les diverses solutions ont été distribués d'une façon aléatoire sur les blocs. On a commencé l'arrosage des plantules sélectionnées avec l'eau pendant les quatre premières semaines, puis avec les solutions préparées à raison d'un arrosage toutes les 72 h pendant 20 jours, tout en prélevant les mesures de la hauteur cumulée à des intervalles réguliers de quatre jours. L'arrosage avec l'eau (SF) se fait d'une façon quotidienne.

Le suivi de l'évolution de l'accroissement en hauteur de la partie aérienne des plants 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, ...). 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 05 plants homogènes: 05 plants x 03 blocs = 15 plants/Traitement, soit 75 plants de tomate/Suivi.

Les données obtenues pour la croissance en hauteur des plants de tomate ont été analysées 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 des différents types de traitement (Test Duncan), tout en recherchant là où les moyennes sont considérées comme étant identiques, 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:

$$y = \frac{A1 - A2}{1 + e^{(x - x_0)/dx}} + A2 \quad (1)$$

Pour l'essai réalisé, on a testé la variation de différents paramètres de cette équation ($A1$, $A2$, x_0 et dx) suivant le facteur contrôlé dans chaque essai (substrat ou rapport de dilution).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Evaluation de la capacité fertilisante du jus de process bovin

Les résultats du suivi de la croissance en hauteur des plants de piment arrosés avec le JPB, à l'état concentré ou dilué avec l'eau à différentes proportions sont relatés sur la figure 1.

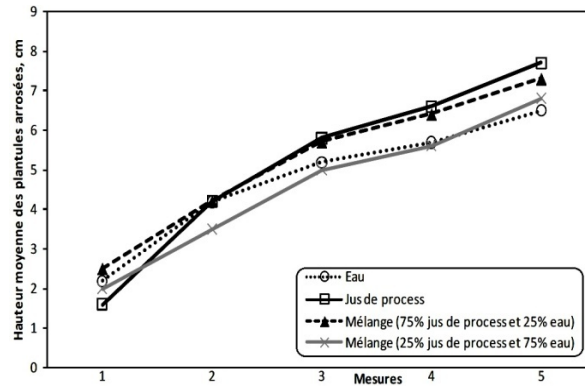


Fig. 1: Résultats de croissance des plants de piment arrosés avec diverses solutions fertilisantes à base de JPB

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 al.*, 1974 cités par Lamhamdi *et al.*, 1997).

Le JPB utilisé à l'état concentré pour l'arrosage des plants de piment a permis une croissance importante en hauteur atteignant 8 cm en 20 jours, mais il faut évoquer que plusieurs plants ont achevé 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 assuré une bonne croissance des plants produits sans présence d'anomalies de flétrissement.

Dans l'avenir, de tels résultats méritent d'être confirmés en testant conjointement le rapport de dilution 1/2, afin d'étudier la potentialité de fertilisation liquide des plants avec ce dernier rapport.

En outre, il convient aussi d'adopter un dispositif expérimental adéquat pour analyser statistiquement les résultats acquis.

3.2. Evaluation de la capacité fertilisante du jus de process avicole

3.2.1. Evolution de la germination des semences de tomate

La figure 2 ci-après illustre les résultats du dernier comptage de germination. L'analyse statistique s'est intéressée donc à l'interprétation de derniers résultats relevés.

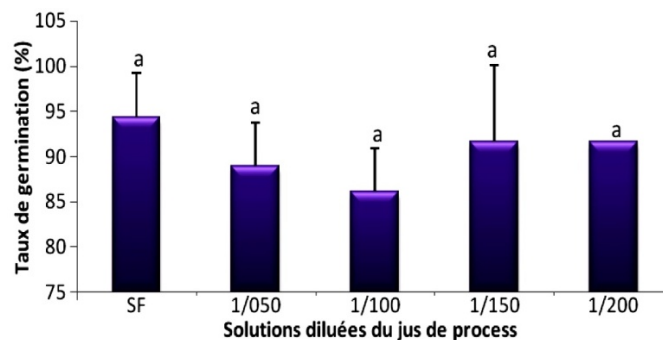


Fig. 2: Effet du rapport de dilution sur la variation du taux de germination

Le rapport de dilution, employé pour la fertigation des plants de tomate installés sur tourbe, n'a pas d'effet significatif sur la germination des semences utilisées. Toutes les valeurs constituent un seul groupe et la germination des semences est presque la même que sur la tourbe arrosée avec l'eau seule. En effet, la composition et la qualité chimique variables de diverses solutions préparées du jus de process n'ont pas enregistré d'effet sur la germination et la levée des plantules.

3.2.2 Evolution de la croissance des plants de tomate en hauteur

Le comportement des plants s'est montré variable d'un arrosage (avec ou sans fertigation) à un autre et d'une observation de croissance à une autre.

D'après la figure 3, l'arrosage des plants de tomate avec le JPA dilué n'apporte pas des améliorations significatives par rapport à l'eau (témoin), au niveau de la croissance en hauteur. Les JPA dilués (1/100 et 1/150) n'ont pas montré de différence par rapport au témoin.

Ces résultats montrent que les JPA dilués, produits organiques facilement récupérables et à moindre coût, peuvent favoriser une croissance linéaire meilleure que celle obtenue en appliquant l'eau seule comme solution fertilisante des plants maraîchers.

Cette constatation pourrait être attribuée à la richesse de ces solutions diluées en éléments fertilisants, en acides fulviques et humiques facilement assimilables par la plante et qui ont un effet positif sur la croissance.

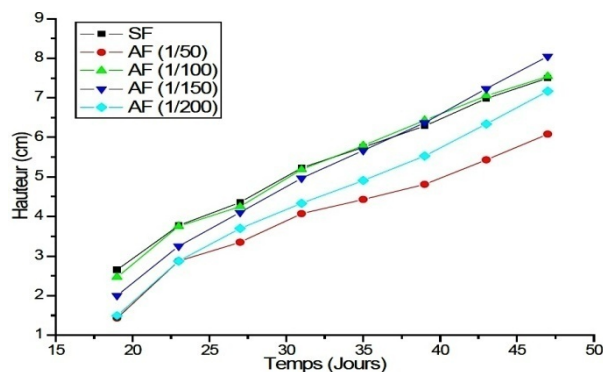


Fig. 3: Evolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

D'après la figure 4 ci-après, et d'après les analyses statistiques montrant les valeurs moyennes de croissance trouvées pour la dernière mesure, on constate que la variation du rapport de dilution n'a pas d'effet sur la croissance en hauteur des plants de tomate, toutefois, la valeur maximale de croissance est enregistrée pour le JPA (1/150).

La croissance en hauteur des plants de tomate est presque identique pour les sujets arrosés avec les différentes solutions adoptées. Le rapport de dilution a une incidence sur la croissance en hauteur des plants de tomate, toutefois la valeur maximale de croissance est enregistrée pour le JPA (1/150). L'arrosage des plants avec l'eau ou le JPA (1/100) donne pratiquement les mêmes résultats (presque la même croissance en hauteur). Il n'y a pas donc une différence significative entre le témoin (eau) et cette solution. Ce résultat reste à confirmer après traitement statistique.

Au contraire, la solution la plus concentrée JPA (1/50) et celle la plus diluée JPA (1/200) donnent des résultats inférieurs à ceux obtenus pour le témoin. La solution JPA (1/100) garde sa supériorité tout le long de la période de suivi tout en montrant les

meilleurs résultats de croissance, alors que vers la fin, c'est le JPA (1/150) qui vient prendre sa place. La solution présente des résultats très encourageants sans dévoiler des cas de mortalité comme c'est déjà obtenu avec toutes les autres solutions fertilisantes.

Les résultats relevés précédemment dans le cas du JPB ont révélé que l'emploi de ce digestat liquide concentré ou dilué a des impacts positifs sur la biomasse des plants de piment, ce qui n'est pas le cas du JPA. En effet, les caractéristiques convenables du JPB à l'état pur expliquent bien son emploi à l'état concentré et le choix des rapports de dilution assez faibles variant de 1/4 à 3/4.

Le JPB a permis une croissance appréciable en hauteur, mais il faut rappeler que plusieurs plants finissent par flétrir brusquement lors de l'arrosage avec une solution composée de 75 % JPB. Une solution composée de 25 % JPB a permis, au contraire, une meilleure croissance sans présence d'anomalies de flétrissement. Ces mêmes constatations ont été relevées pour l'arrosage avec JPA (1/50). Cette dernière solution fertilisante est à proscrire comme le JPA (100 %).

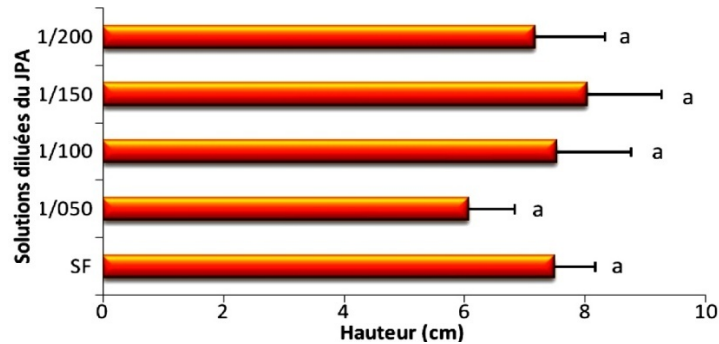


Fig. 4: Variation de la hauteur moyenne des plants de tomate

3.2.3 Flétrissement des plants de tomate et dommages foliaires

Des observations ont été prises sur la mortalité des plants et sur la présence de dommages foliaires. Il faut évoquer que plusieurs plants de tomate finissent par flétrir soudainement suite à l'arrosage avec les divers JPA dilués. Les jeunes plants sont, particulièrement, trop sensibles (figure 5) surtout en arrosant avec les solutions extrêmes 1/50 (dilution minimale) et 1/200 (dilution maximale). On remarque, en effet, la présence des tiges grêles, sensibles et quelques unes ont été brûlées et finissent par flétrir.

Les substrats tourbeux usuels sont microbiologiquement inactifs. Un agent pathogène rentrant en contact avec de tels substrats, peut s'y développer rapidement et causer d'importants dégâts (Fuchs *et al.*, 2000). Selon Juste *et al.*, 1985, parmi les symptômes de la phytotoxicité une modification flagrante de la morphologie ou de la coloration de la plante. Ces manifestations phytotoxiques regroupent le blanchissement, les chloroses, les changements en intensité de couleur, le brunissement, les nécroses, les déformations telles que l'enroulement, le rabougrissement. Ces symptômes sont parfois bien caractéristiques de toxicités spécifiques et permettent l'identification rapide.

Outre la composition des matériaux de départ, le degré de maturité du JPA, qui continue sa fermentation au niveau du décanteur, semble également jouer un rôle dans son efficacité. L'efficacité du JPA comme du Méthacompost Avicole (MCA) dépend du degré de maturité de ce dernier. Les constatations relevées sont déduites par analogie avec celles relatives à l'effet du degré de maturité sur l'efficacité de l'extrait de compost (Brinton *et al.*, 1996 cités par Kerkeni, 2008).

En effet, le degré de maturité de l'extrait dépend des matériaux de départ et des conditions de stockage (Scheuerell *et al.*, 2002 cités par Kerkeni, 2008). Les résultats sont encore comparables à ceux donnés par Merrill *et al.*, 1998 cités par Kerkeni (2008) qui considèrent que les extraits de compost sont de bonnes sources d'éléments nutritifs et que leur apport peut corriger tout déficit observé sur les plantes. Toutefois, leur richesse en macro et micro éléments dépend de plusieurs facteurs, entre autres, l'âge et la nature du matériau d'origine utilisé.

L'apport du JPA améliore la vigueur des cultures, grâce à sa teneur en molécules facilement assimilables par les plants, telles que les protéines, les sucres ainsi que les agents de chélation (acides humiques et fulviques). En plus de l'utilité vérifiée du JPA comme solution organique, il reste à vérifier le rôle que peut jouer dans la protection des plantes. Généralement, les extraits de composts provenant de composts de fumier sont souvent décrits comme étant les plus efficaces contre les pathogènes (Weltzien, 1992 cité par Kerkeni, 2008).

La durabilité d'un système hors sol, peut être compromise par l'apparition subite dans la nature, d'agents pathogènes dangereux, mais traditionnellement, le risque peut provenir d'une dégradation lente et irréversible du système, notamment des qualités du substrat, même en conditions de conduite normale.

Traitée sous l'angle de la fertigation, la menace sur la durabilité semble surtout liée à une accumulation dangereuse de sels. La réduction de l'espace poral par effritement physique, tassement, accumulation de MO racinaire peut engendrer une certaine tendance à freiner d'importants dépôts de sels visibles même à l'œil nu, à la surface du substrat.

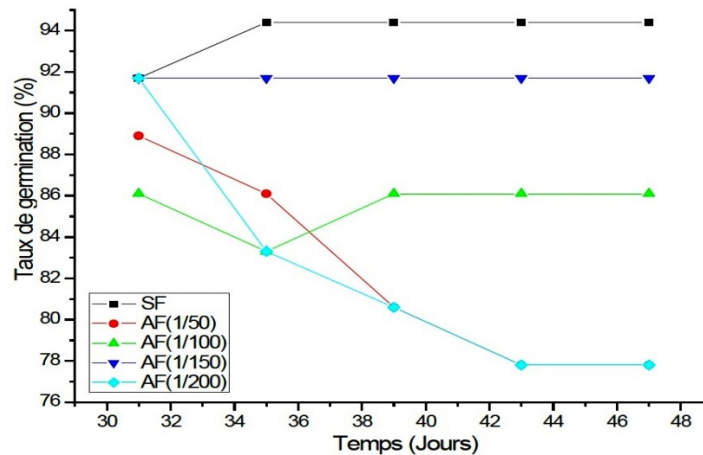


Fig. 5: Impact de la fertigation avec le jus de process dilué sur la survie des plants de tomate

3.2.4 Résultats de l'ajustement par une sigmoïde de la croissance

Les résultats de l'ajustement de la croissance sigmoïde en hauteur des plants de tomate installés sur tourbe avec ou sans fertigation par le JPA selon les diverses dilutions sont relatés dans le **Tableau 1** ci-après.

La qualité de l'ajustement est meilleure dans le cas des plants arrosés avec la solution diluée JPA (1/150). Les courbes représentatives de la croissance (sigmoïde et linéaire) des plants installés sont présentées par la figure 6 ci-après.

Tableau 1: Variation des différents paramètres de la sigmoïde

Solutions	R^2	A1	A2	x_0	dx
SF	0.99667	-55.77301	11.75229	-45.17896	34.30084
1/50	0.98059	-57.31984	7.95011	-34.52980	23.92860
1/100	0.99592	-66.70599	11.46488	-46.16182	31.73646
1/150	0.99712	-58.12770	17.02760	-47.62910	47.66370
1/200	0.98970	-61.63639	13.52151	-51.07278	41.70438

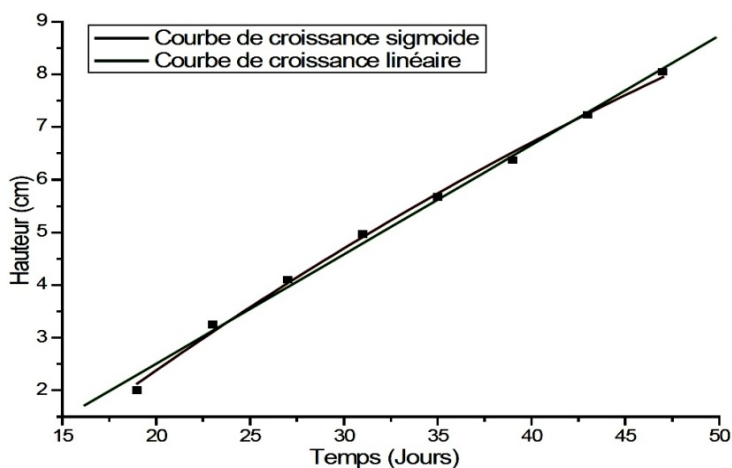


Fig. 6: Ajustement de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

4. CONCLUSION

L'emploi agronomique des digestats liquides d'origine animale s'intègre bien dans la tendance actuelle vers les pratiques agrobiologiques, compte tenu notamment de la réduction importante de la charge polluante des effluents après traitement par Biométhanisation.

La caractérisation du digestat liquide d'origine bovine (issu d'un digesteur rural) appelé Jus de Process Bovin (JPB), basée sur l'appréciation de la croissance en hauteur des plants de piment produits en hors sol, a permis de ressortir que les JPB mis à l'essai ont montré des pouvoirs fertilisants intéressants, particulièrement, celui dilué à 75% d'eau. Néanmoins, les résultats relevés ne sont qu'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 %).

La caractérisation du digestat liquide d'origine avicole (issu d'un digesteur industriel) dénommé Jus de Process Avicole (JPA), basée sur l'appréciation de certains critères agronomiques de diverses solutions fertilisantes testées pour la production hors sol des plants de tomate, a permis de dégager que, d'une part, le rapport de dilution agit sur la croissance en hauteur des plants suivis, néanmoins la valeur maximale de croissance est enregistrée pour le JPA (1/150), et d'autre part, les jeunes plants sont, généralement, trop sensibles notamment dans le cas de l'arrosage avec les solutions extrêmes 1/50 (dilution minimale) et 1/200 (dilution maximale), ce qui a procréé, la présence des tiges grêles et quelques unes ont été brûlées et terminent par flétrir.

Incontestablement, la qualité de l'ajustement par une sigmoïde de la croissance est meilleure dans le cas des plants arrosés avec la solution diluée JPA (1/150).

Présentement, l'emploi de substances organiques apparaît comme une option intéressante pour déficeler les problèmes de fertilisation et de phytoprotection. Des études ultérieures concernant la reconnaissance des composés responsables de ces activités sont essentielles pour mieux dégager les effets.

REFERENCES

- [1] Alcor, Axenne, '*Etude Stratégique pour le Développement des Energies Renouvelables en Tunisie- Bilan des Réalisations*', Rapport Final de l'Agence Nationale des Energies Renouvelables, ANER, pp. 148-157, 2003.
- [2] B. Amigun and H. Von Blottnitz, '*Investigation of Scale Economies for African Biogas Installations*', Energy Conversion and Management, Vol. 48, pp. 3090 - 3094, 2007.
<https://www.mysciencework.com/.../controle-et-conduite-des-digesteurs-...>
- [3] Anonyme (sd), 'Résumé non Technique Biogaz. Biàgaz d'Arcis à Ormes, France, pp. 6 - 15. www.aube.gouv.fr/.../BIOGAZ-d-ARCIS.../Resume-non-technique-BIO...
- [4] T. Bakx, Y. Membrez, A. Mottet, A. Joss et M. Boehler, '*Etat de l'Art des Méthodes pour l'Elimination, la Concentration ou la Transformation de l'Azote pour les Installations de Biogaz Agricoles de Taille Petite/Moyenne*', Rapport Final, Projet 153470, EREP SA, Office Fédéral de l'Énergie, Suisse, 93 p., 2009.
www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file...pdf...
- [5] F. Beline et A. Gac, '*La Méthanisation: un Moyen de Valoriser la Matière Organique des Déjections Animales et de Réduire les Emissions de Gaz à Effet de Serre*', Sinfotech- Les Fiches Savoir-faire, Cemagref, 4 p., 2007.
- [6] J.G. Fuchs et M. Bieri, 'Nouveaux Biotests pour Caractériser la Qualité des Composts', AGRAR-Forschung, Vol. 7, N°7, pp. 314 - 319, 2000.
http://www.agrarforschungschweiz.ch/archiv_11fr.php?id_artikel=142
- [7] J.G. Fuchs, U. Galli, k. Schleiss and A. Wellinger, '*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., 2001. www.educompost.ch/f/downloads.html
- [8] C. Juste, P. Solda et P. Dureau, '*Test Agronomique Simple Destiné à Juger Rapidement de la Phytotoxicité Eventuelle et du Degré de Maturité d'un Compost d'Ordures Ménagères*', Chapitre d'Ouvrage Edité - BMA: Utilisation Agricole des Déchets. Résultats de dix Années de Recherches. Comité "Sols et Déchets" 1973-1983. Document Elaboré par l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets, ANRED, Nantes, France, 04 p., 1985.
- [9] A. Kerkeni, '*Contribution à la Valorisation des Composts et des Jus de Composts: Incidence sur la Fertilisation et la Protection Phytosanitaire de Quelques Espèces Légumineuses*', Thèse de Doctorat, Sciences Agronomiques, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Tunisie, 158 p., 2008.
- [10] M.S. Lamhamedi, J.A. Fortin, Y. Ammari, S. Ben Jalloun, M. Poirier, B. Fecteau, A. Bougacha et L. Godin, '*Evaluation des Composts, des Substrats et de Qualité des Plants (Pinus pinea, Punis halepensis, Cupressus sempervirens et Quercus suber) Elevés 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., 1997.
- [11] M. Macias-Corral, Z. Samani, A. Hanson, G. Smith, P. Funk, H. Yu and J. Longworth, '*Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste and agricultural waste and the Effect of Co-digestion with dairy cow manure*', Bioresource Technology, Vol. 99, pp. 8288 - 8293, 2008.
www.researchgate.net/...Anaerobic_digestion_of_mu...
- [12] S. Martel, X. Desmeules, Ch Landry, S. Lavallée, M. Paré et F. Tremblay, '*Valeur Fertilisante des Digestats de Méthanisation. Recherche et Innovation en Agriculture (Agrinova)*', Canada, 3 p., 2013.
[http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Fiche%20digestat%20\(version%20finale\).pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Fiche%20digestat%20(version%20finale).pdf)
- [13] S.E. Mbuligwe and G.R. Kassenga, '*Feasibility and Strategies for Anaerobic Digestion of Solid Waste for Energy Production in Dar Es Salaam City, Tanzania*', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 42, pp. 183 - 203, 2004.
top25.sciencedirect.com/.../resources-conservation-an...
- [14] C. Mignon, '*Utilisation du Digestat comme Fertilisant en Agriculture*', Valbiom, Belgique, 15 p., 2009.
<http://www.valbiom.be/files/library/Docs/Biomethanisation/utilisationdudigestatcommefertilisantenagriculture1284120093.pdf>
- [15] R. Moletta, '*La Digestion Anaérobie des Déchets Municipaux*', Moletta Méthanisation & Association Record, France, 16 p., 2003.
www.moletta-methanisation.fr/textes/Methanisationdesdechets.pdf
- [16] R. Moral, C. Paredes, M.A. Bustamante, F. Marhuenda-Egea and M.P. Bernal, '*Utilisation of Manure Composts by High-Value Crops: Safety and Environmental Challenges*', Bioresource Technology, Vol. 100, pp. 5454 - 5460, 2009.
www.sciencedirect.com/science/journal/.../100/22
- [17] Y. M'Sadak, A. Ben M'Barek and S. Baraket, '*Agronomic Interest of the Residues of Rural Biomethanisation Applied to the Bovine Biomass*', Displays, Isofar/Moan Symposium: Soil Fertility and Crop Nutrition Management in Mediterranean Organic Agriculture, Sousse, Tunisia, pp. 23 - 25, 2010.
- [18] Y. M'Sadak, A. Ben M'Barek, R.I. Zoghliami et S. Barakets, '*Caractérisation des Co-produits de la Biométhanisation Appliquée à la Biomasse Animale*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 14, N°2, pp. 343 - 356, 2011.
http://www.cder.dz/download/Art14-2_14.pdf
- [19] Y. M'Sadak, A. Ben M'Barek et S. Baraket, '*Suivis Physico-Chimique et Energétique de la Biométhanisation Expérimentale Appliquée à la Biomasse Bovine*', Revue Nature & Technologie, N°7, pp. 81 - 86, 2012. http://www.univ-chlef.dz/RevueNatec/Art_07_10.pdf
- [20] Y. M'Sadak et R.I. Zoghliami, '*Caractérisations Physico-Chimique, Environnementale et Energétique de la biométhanisation Industrielle Avicole en Tunisie Semi-Aride*', Algerian Journal of Arid Environment (AJAE), Vol. 2 N°2, pp. 16 - 27, 2012.
www.univ-ouargla.dz/Pagesweb/PressUniversitaire/doc/.../E020202.pdf

- [21] Y. M'Sadak, A. Ben M'Barek et R.I. Zoghlami, '*Diagnostics Environnemental et Energétique des Digesteurs Anaérobies Expérimentaux des Fientes Avicoles*', Revue Nature & Technologie, N°8 (C), Janvier 2013, pp. 19 - 26, 2013.
www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art_08_C_03.pdf
- [22] Y. M'Sadak et A. Ben M'Barek, '*Energy, Environmental and Agronomic Valorizations of the Rural Biomethanisation of the Bovine Biomass*', International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 4, N°2, pp. 343 – 352, 2013.
www.issr-journals.org/ijias/fr/authid.php?id=612
- [23] E. Pfundtner, '*Limits and Merits of Sludge Utilisation - Land Application. European Workshop: Impact of Waste Management Legislation on Biogas Technology, Tulln, Austria*', pp. 12 - 14, 2002.
- [24] M. Poeschl, S.H. Ward and P.H. Owende, '*Prospects for Expanded Utilization of Biogas in Germany*', Renewable and Sustainable Energy, Vol. 14, pp. 1782 - 1797, 2010.
- [25] P. Pouech, '*Intérêt des Digestats et Possibilités de Valorisation*'. Ateliers d'Echange sur les Aspects Techniques et Réglementaires de la Méthanisation de la Biomasse, 14 p., 2007.
- [26] N. Redon, '*La Gestion des Digestats de Méthanisation. Valterra, Matières Organiques*', Communication Journée Méthanisation: Pour une Meilleure Connaissance par le Réseau Qualité Compost, 2013.
[gfol1.reseauqualitecompost.net/.../4_Qualite_Digestat_NRedon_101213 ...](http://gfol1.reseauqualitecompost.net/.../4_Qualite_Digestat_NRedon_101213...)
- [27] A. Saïdi et B. Abada, '*La Biométhanisation: Une solution pour un Développement Durable*', Revue des Énergies Renouvelables, N°Spécial, CER'07, Oujda, pp. 31 - 35, 2007. www.cder.dz/download/cer07_7.pdf
- [28] I. Tou, S. Igoud et A. Touzi, '*Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales*', Revue des Energies Renouvelables, N°Spécial- Biomasse, Production et Valorisation, pp. 103 - 108, 2001.
http://www.cder.dz/download/bio_17.pdf
- [29] D. Verrier, J.N. Morfaux, G. Albagnac and J.P. Touzel, '*The French Programme on Methane Fermentation*', Biomass, Vol. 2, N°1, pp. 17 - 28, 1982.
www.sciencedirect.com/science/journal/01444565/2/1