



CARACTÉRISATION QUALITATIVE D'UN DIGESTAT AVICOLE LIQUIDE ISSU DE LA BIOMÉTHANISATION INDUSTRIELLE ET VALORISATION EN FERTIGATION DES PLANTS DE TOMATE

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

RESUME

La présente investigation est consacrée à une évaluation tant directe (comportement chimique) qu'indirecte (comportement végétatif des plants de tomate) des jus de process avicoles dénommés JPA (utilisés pour la fertigation hors sol) obtenus après dilution du digestat liquide issu d'une installation de Biométhanisation industrielle avicole, aménagée en Tunisie. Les paramètres chimiques suivis se rapportent au pH, à la Conductivité Électrique (CE) et aux Matières En Suspension (MES) du JPA concentré et de quatre JPA dilués. Comme paramètres agronomiques étudiés, la croissance en hauteur et le flétrissement des plants de tomate ont été notamment relevés selon diverses dates pour les plants témoins arrosés à l'eau (Sans Fertigation) et pour les plants arrosés aux quatre JPA dilués considérés (Avec Fertigation).

Les JPA dilués ont dévoilé des pouvoirs fertilisants intéressants notamment celui dilué au rapport (1/150). L'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas une différence significative entre la croissance en hauteur des plants de tomate arrosés avec l'eau (témoin) et ceux auxquels on applique une fertigation par le JPA dilué. Toutefois, les résultats acquis ne sont que préliminaires et ils méritent d'être considérés avec prudence, en raison de certaines anomalies végétatives observées dans le cas des plants arrosés avec des JPA plus concentrés.

Mots clés : Pépinière maraîchère hors sol, Jus de process avicole, Dilution, Qualité chimique, Fertigation, Comportement agronomique.

ABSTRACT

The present investigation is devoted to both direct and indirect assessment (chemical behavior) (vegetative behavior of tomato plants) of juices poultry process called JPA (used for fertigation above ground) obtained by diluting of liquid digestate from a facility industrial Biomethanisation of poultry droppings, built in Tunisia. The Chemical parameters monitored relate to pH, Electrical Conductivity (EC) and the Suspended Solids (SS) of concentrate JPA and four JPA diluted. As agronomic parameters studied, height growth and wilting tomato plants have been identified as including various dates for the control plants sprayed with water (No Fertigation) and for plants watered with four JPA diluted considered (With Fertigation).

Diluted JPA unveiled powers fertilizer diluted to one particularly interesting report (1/150). Statistical analysis showed that there is no significant difference between the growth in height of tomato plants irrigated with water (control) or to which we apply a fertigation using diluted JPA. However, the results are preliminary and they deserve to be treated with caution, because of some vegetative anomalies in the case of irrigated with JPA more concentrated plants.

Keywords: Nursery aboveground vegetable, Juice process poultry, Dilution, Chemical quality, Fertigation, Agronomic performance.

INTRODUCTION

L'emploi de la Digestion Anaérobie (DA) ou Biométhanisation a des sérieux atouts pour s'imposer dans de nombreux secteurs générateurs de déchets, particulièrement agricoles d'origine animale (M'Sadak et al., 2010a). Les déjections animales sont particulièrement intéressantes à utiliser quand elles sont produites en quantités importantes et régulières (Tou et al., 2001) et surtout lorsqu'elles sont traitées biologiquement (par biométhanisation et/ou par compostage) avant utilisation. En effet, l'utilisation agronomique des résidus de la Biométhanisation s'intègre bien dans la tendance actuelle vers les pratiques agrobiologiques, compte tenu de la réduction importante de la charge polluante des déjections après traitement biologique (M'Sadak et al., 2010b).

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. Elle constitue donc une voie de valorisation énergétique de produits tels que les déjections d'élevage et les résidus de culture dont le retour au sol est indispensable. La Biométhanisation 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).

La Biométhanisation vise à transformer le carbone de la Matière Organique (MO) en méthane (CH_4). 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 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).

Le digestat, Co-produit secondaire ou résidu de la Biométhanisation, peut être utilisé comme matière première pour le compostage de déchets organiques solides (fientes de volailles, fumiers de bovins), comme il peut être épandu directement sur les sols agricoles comme fertilisant (M'Sadak et al., 2010b ; M'Sadak et al., 2011). Sa qualité est influencée fortement par les matières premières, mais également par le procédé utilisé (Pfundtner, 2002). 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., 2010b ; 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 ($\text{C/N} > 8$). Le digestat liquide est comparable à un fertilisant minéral (Redon, 2013). C'est un fertilisant de type II ($\text{C/N} < 8$) (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 divers paramètres influençant les propriétés fertilisantes des digestats liquides, dénommés Jus de Process ainsi que les mécanismes impliqués sont encore insuffisamment connus. C'est pourquoi, une meilleure connaissance de ces paramètres et une approche analytique sont indispensables afin de pouvoir optimiser leur utilisation 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 du Jus de Process Avicole (JPA) prélevé à la sortie du décanteur d'une installation pilote de biométhanisation industrielle appliquée aux fientes de volailles, en vue d'optimiser sa dilution et de dégager le meilleur rapport de dilution adopté à l'arrosage des jeunes plants de tomate conduits en pépinière maraîchère hors sol. Une évaluation directe de certaines propriétés chimiques (pH, ...) et une autre indirecte basée sur le suivi du comportement végétatif des plants (croissance en hauteur, ...) ont été mises en œuvre lors de cette étude, afin de

mettre au point une solution fertilisante permettant aux plants de tomate des conditions optimales de croissance.

MATERIEL ET METHODES

Évaluation directe du jus de process

Les analyses physico-chimiques ont été accomplies au laboratoire de Chimie relevant de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem (Sousse, Tunisie) pour cinq JPA dont un à l'état concentré (100%) et quatre à l'état dilué selon les rapports respectifs de dilution suivants : 1/50, 1/100, 1/150, 1/200. Ces analyses ont été limitées au pH, à la Conductivité Électrique (CE) et aux Matières En Suspension (MES).

pH

Le pH du JPA dilué est déterminé suite à une lecture directe à partir d'un pH-mètre modèle « HANNA Instruments 8519 ».

Conductivité électrique

La CE, exprimée en mS/cm et mesurée à l'aide d'un conductimètre modèle « Metter Toledo, Seven easy », donne une idée sur la quantité de sels et d'ions existants dans la solution.

Matières en suspension

Selon DRIRE (2005), ce sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non. Les MES comprennent les matières décantables correspondant aux MES qui se déposent au repos pendant une durée fixée conventionnellement à deux heures et les matières colloïdales qui représentent la différence entre les MES et les matières décantables. Leur taille est en général inférieure à 0,01 mm. Par ailleurs, les MES sont constituées de Matière Minérale (MM), de Matière Organique (MO) et de Matière Volatile (MV) en suspension.

L'analyse repose sur le principe de quantification de 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. De ce fait, le mode opératoire correspond aux étapes suivantes :

- On met les papiers filtres dans l'étuve à 105°C pour être sûr qu'ils sont bien secs puis on les laisse refroidir au dessiccateur pour ne pas absorber l'humidité de l'air. On pèse les papiers filtres pour connaître leurs poids initiaux (P1).
- On filtre les solutions diluées tout en connaissant le volume de l'extrait filtré (V = 50 ml) et on met les papiers filtres dans l'étuve de nouveau et on les laisse se sécher à 105°C.
- On pèse les papiers filtres renfermant les MES obtenus lors de la filtration (P2). La teneur en MES dans chaque solution est déterminée à partir de la formule ci-après.

$$\text{MES (mg/l)} = (P_2 - P_1) \times 1000/V$$

Avec : P1 : Poids du papier filtre à vide (g) ; P2 : Poids du papier filtre avec filtrat après séchage (g) ; V : Volume d'échantillon (ml).

Traitement des données

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif complètement aléatoire à trois répétitions. Les résultats présentés sont exprimés donc en moyenne. Les données ont été évaluées par une analyse de la variance (ANOVA) moyennant le logiciel SPSS. 17 et elles sont présentées sous forme de tableaux. La comparaison des moyennes a été effectuée selon le test de Duncan au seuil de signification 5%.

Méthodologie d'évaluation indirecte et dispositifs expérimentaux mis en place

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 qui vont être le support de l'expérimentation mise en œuvre.

Le but est donc de tester l'incidence des JPA dilués sur la croissance en hauteur et sur la survie des plants de tomate arrosés avec les divers produits préparés. Le dispositif expérimental mis en place dans cet essai est le dispositif Blocs Aléatoires Complets (BAC) avec un seul facteur étudié (rapport de dilution) et un seul facteur contrôlé (3 blocs) et qui est schématisé par le tableau 1 ci-après.

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.

Tableau 1 : Dispositif expérimental adopté lors de l'essai III

Bloc I	SF	AF 1/50	AF 1/100	AF 1/150	AF 1/200
Bloc II	AF 1/150	AF 1/100	SF	AF 1/200	AF 1/50
Bloc III	AF 1/50	AF 1/150	AF 1/200	AF 1/100	SF

Lors de cet essai, les arrosages par les diverses solutions ont été répartis 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 (anomalies végétatives, flétrissement, ...).

Lors de chaque suivi 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.

Analyse statistique des résultats

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 égales, 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.

RESULTATS ET DISCUSSION

Appréciation de certains paramètres chimiques du jus de process

Évolution du pH

L'eau doit répondre à certaines normes pour la production des plants. Les excès d'éléments apportés par l'eau peuvent être une source d'ennuis au moment de la fertilisation des plantes, principalement dans le cas des jeunes plants installés dans des cavités de petit volume. La limite souhaitable du pH d'une eau

d'irrigation varie de 5,4 à 6,8. La limite supérieure oscille entre 5,4 et 7,0 (Comtois et Légaré, 2004).

Le JPA à l'état concentré présente des valeurs de pH très élevées au cours du temps. Son pH augmente pendant les 45 premiers jours après prélèvement pour atteindre des valeurs hautement basiques, puis il diminue progressivement. Or, un pH élevé, d'après Mustin (1987), peut causer des déséquilibres nutritionnels et entraîner une salinité élevée et des carences en fer. C'est pour cette raison, ainsi que pour d'autres raisons d'ordre biologique (toxicité, ...), que l'on a écarté son utilisation comme solution fertilisante à l'état pur et on a préféré de le diluer selon divers rapports de dilution pour la recherche de la dilution adéquate à appliquer.

Le pH de l'eau ou de la solution fertilisante devrait être ajusté en choisissant convenablement les fertilisants et les ratios de mélange, afin d'optimiser la disponibilité et l'absorption des éléments nutritifs (Tsidale, 1989 cité par Lamhamdi et al., 1997). En effet, le pH a un effet sur la disponibilité des éléments qui peuvent devenir non assimilables ou toxiques à des pH extrêmes.

L'utilisation régulière d'une solution fertilisante dont le taux d'alcalinité est élevé aura le même effet que de rajouter une petite quantité de chaux à chaque arrosage. Évidemment, cette situation crée une élévation du pH du substrat à long terme. Une alcalinité très basse aura souvent l'effet inverse.

Les solutions diluées présentent des valeurs du pH variant entre 6,19 et 6,61 (Tableau 2) qui sont considérées comme convenables, puisqu'elles appartiennent à la fourchette du pH comprise entre 5 et 7.

Le pH varie progressivement et en continu au cours du temps pour les divers rapports de dilution employés (Tableau 2). Le taux de diminution est presque le même pour toutes les solutions diluées, pour atteindre, lors de la dernière mesure, des pH légèrement acides. Le rapport de dilution n'a pas beaucoup d'incidence sur les valeurs du pH. Ces résultats permettent de dire que les quatre dilutions élaborées peuvent être utilisées en fertigation, car leurs pH ne présentent aucun problème d'inhibition d'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la croissance des plants.

Tableau 2 : Variation temporelle du pH selon le rapport de dilution adopté

Solutions	30/10/2009	25/11/2009	15/12/2009	10/03/2010	10/05/2010
100% JPA	8,47	8,83	9,65	9,27	8,62
JPA 1/50	8,14	7,94	7,66	6,67	6,48
JPA 1/100	7,84	7,56	7,26	6,46	6,38
JPA 1/150	7,67	7,52	7,49	6,10	6,19
JPA 1/200	7,87	7,69	7,55	6,73	6,61

Évolution de la Conductivité Électrique

La CE informe immédiatement sur la présence ou non de sels en solution. Une valeur élevée implique la recherche de l'élément ou des éléments responsables de cette élévation et suggère les correctifs à apporter (Comtois et Légaré, 2004). Les effets inhibiteurs dans la croissance de plants peuvent être attribués à certaines caractéristiques chimiques des extraits du compost. En effet, Tiquia et Tam (1998) cités par Tiquia (2010) ont trouvé un rapport curviligne entre l'indice de germination (IG) et les propriétés chimiques des extraits porcins. Ils ont signalé que les variations des valeurs de l'IG dépendent fortement des propriétés chimiques des extraits.

Selon Tiquia et Tam (1998), la CE devrait, en général, être inférieure à 1,5-2,0 mS/cm en début de culture et se maintenir entre 0,75 et 3,5 mS/cm en cours de culture. Généralement, les effets de la salinité sont négligeables dans les extraits pour des valeurs de CE inférieures à 2 mS/cm (Mengel et al., 2001 cités par Tiquia, 2010).

L'augmentation de la valeur de la CE dans le cas des solutions diluées ou du JPA concentré (Tableau 3) pourrait être expliquée par l'élévation de la matière en solution issue de la transformation des contenus des cellules vivantes existantes dans le JPA. Le JPA concentré est fortement salin. Les valeurs obtenues ont atteint des valeurs maximales. Son utilisation à l'état pur peut causer beaucoup de risques et être à l'origine de diverses anomalies pour les plants arrosés avec ce dernier. Vu que la CE et la salinité sont directement proportionnelles, on constate ainsi une évolution de la salinité des solutions fertilisantes utilisées. Si l'on écarte le JPA (100%), pour des raisons sanitaires, la solution diluée JPA (1/50) est plus saline que les autres durant la période d'évaluation mise en œuvre.

Tableau 3 : Variation temporelle de la conductivité électrique (mS/cm) selon la dilution adoptée

Solutions	30/10/2009	25/11/2009	15/12/2009	10/03/2010	10/05/2010
100% JPA	51,40	53,90	44,30	94,90	102,5
JPA 1/050	2,02	1,85	2,49	5,49	5,52
JPA 1/100	1,29	1,42	1,93	4,32	4,34
JPA 1/150	0,70	1,25	1,62	3,92	3,88
JPA 1/200	0,54	1,14	0,66	3,71	3,74

Évolution des Matières En Suspension

Les MES correspondent à l'ensemble de particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. La mesure des MES est la mesure de toutes les matières qui peuvent être décantables ou non et qui se trouvent en

suspension dans la solution considérée (Ramade, 1993 cité par M'Sadak et al., 2010a).

Le JPA concentré présente une teneur en MES largement plus élevée que les diverses solutions diluées (Tableau 4). Elle atteint 26892 mg/l lors de la dernière mesure et dépasse ainsi les normes de rejet à l'entrée applicables pour les STEP (MES = 400mg/l) et les normes de rejet à la sortie (MES = 30mg/l). Il est impossible dans ce cas de rejeter le JPA dans le réseau d'assainissement de l'ONAS (DGGR, 1995).

Il y a eu une forte augmentation du taux des MES dans le cas du JPA concentré tout le long de la période des essais. Il n'est pas conseillé donc de l'utiliser en fertigation. Les solutions diluées, au contraire du jus concentré, présentent une réduction continue et importante du taux des MES au cours du temps.

Le taux des MES est beaucoup plus important dans le cas du JPA (1/50) que dans les solutions diluées testées. Les MES diminuent donc avec l'élévation du rapport de dilution. Cette constatation est vraie tout le long de la période de testage.

Il n'y a pas un seuil de stabilisation des MES. La présence d'un taux important des MES constitue un obstacle majeur quant à sa valorisation directe. A ce propos, il convient de signaler que son utilisation en fertigation engendre automatiquement le colmatage rapide (accumulation des dépôts fins) au niveau des systèmes d'arrosage, en particulier, les asperseurs et les goutteurs (même en ayant recours à des dilutions importantes). Une telle situation mérite d'être étudiée davantage afin d'apporter les solutions nécessaires (dispositif d'infusion adapté, éventuelle filtration avant tout traitement préalable, ...).

Tableau 4 : Variation temporelle des MES (mg/l) selon la dilution adoptée

Solutions	30/10/2009	25/11/2009	15/12/2009	15/01/2010
100% JPA	11388,67	15364,36	22648,73	26892,00
JPA 1/50	2855,55	1142,22	780,00	398,00
JPA 1/100	1518,21	848,88	635,00	96,00
JPA 1/150	1840,00	736,00	250,00	57,33
JPA 1/200	1082,22	432,89	306,00	114,66

Évaluation de la capacité fertilisante du jus de process

Évolution de la croissance des plants en hauteur

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 Lamhamdi et al., 1997). 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 1, 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.

Les résultats de mesures montrent que le JPA utilisé, selon les rapports de dilution considérés, n'a pas un effet sur l'évolution morphologique des plants de tomate, en particulier, la croissance en hauteur. Généralement, la plupart des plants produits ont été sains, homogènes et de qualité. Il semble que les dilutions utilisées s'apprentent bien à une utilisation en fertigation. Les résultats relevés concernant ce paramètre sont relatés sur la figure 1 ci-après.

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 donc pas de 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 présenter des cas de mortalité comme c'est déjà obtenu avec toutes les autres solutions.

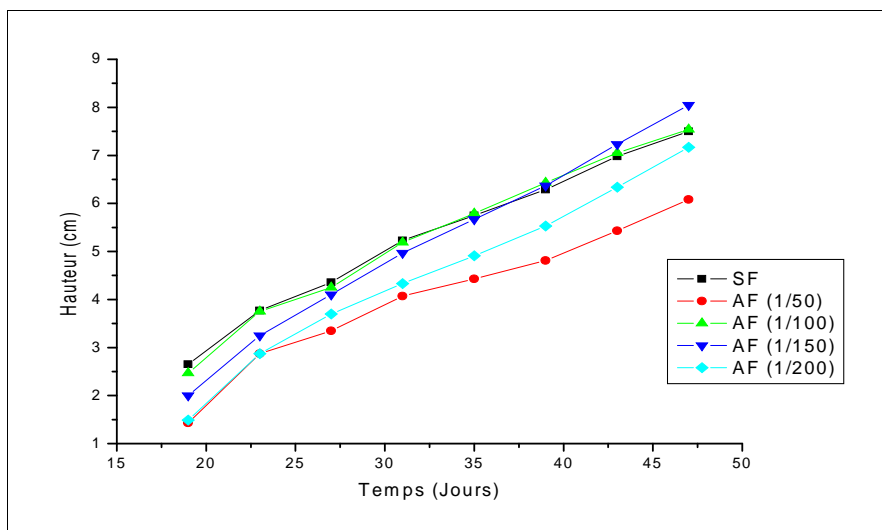


Figure 1 : Évolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

D'après la figure 2 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).

L'étude menée par M'Sadak et al. (2010b) a montré que l'utilisation du Jus de Process Bovin (JPB) concentré ou dilué a des effets 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 importante en hauteur atteignant 8 cm en 20 jours, mais il faut évoquer 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%).

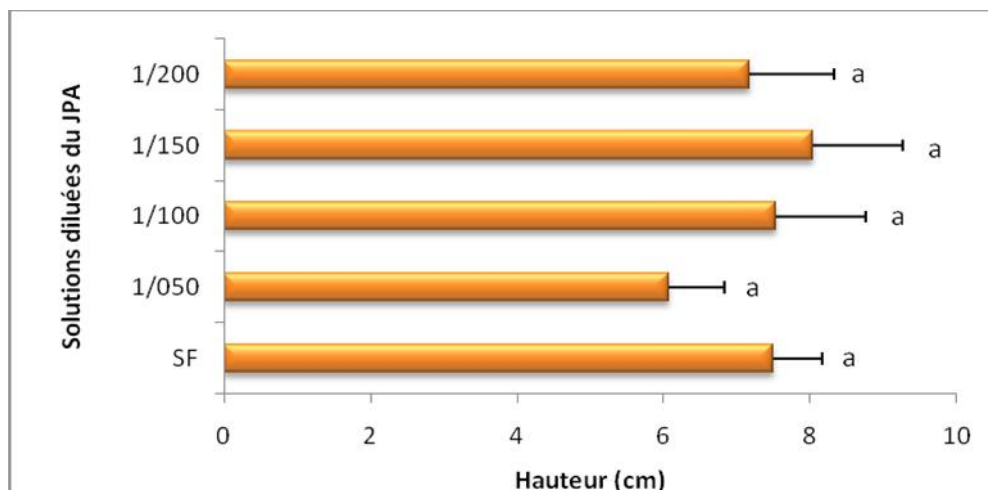


Figure 2 : Variation de la hauteur moyenne des plants de tomate

Flétrissement des plants 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 3) 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 Bieri, 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 Mahaffe, 2002 cités par Kerkeni,

2008). Les résultats sont encore comparables à ceux donnés par Merrill et Makean (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 microéléments dépend de plusieurs facteurs, entre autres, l'âge et la nature du matériau d'origine utilisé.

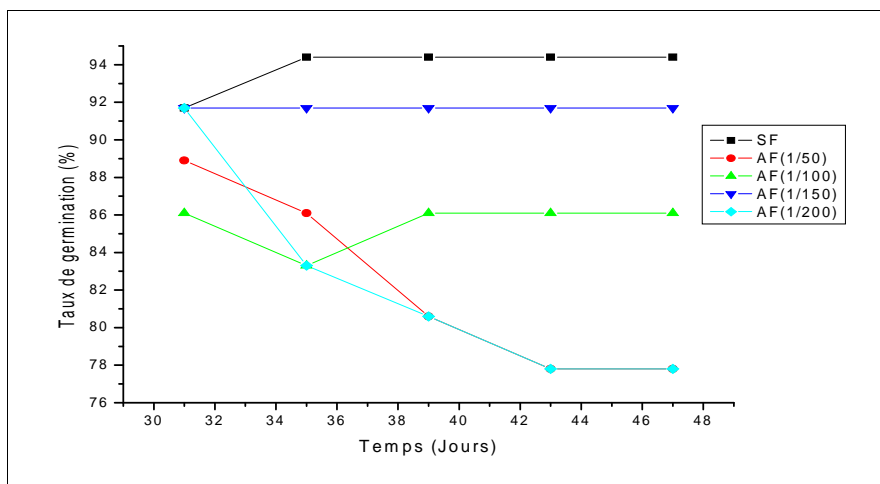


Figure 3 : Impact de la fertigation avec le jus de process dilué sur la survie des plants

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.

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 5 ci-après.

Tableau 5 : Variation de 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

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 4 ci-après.

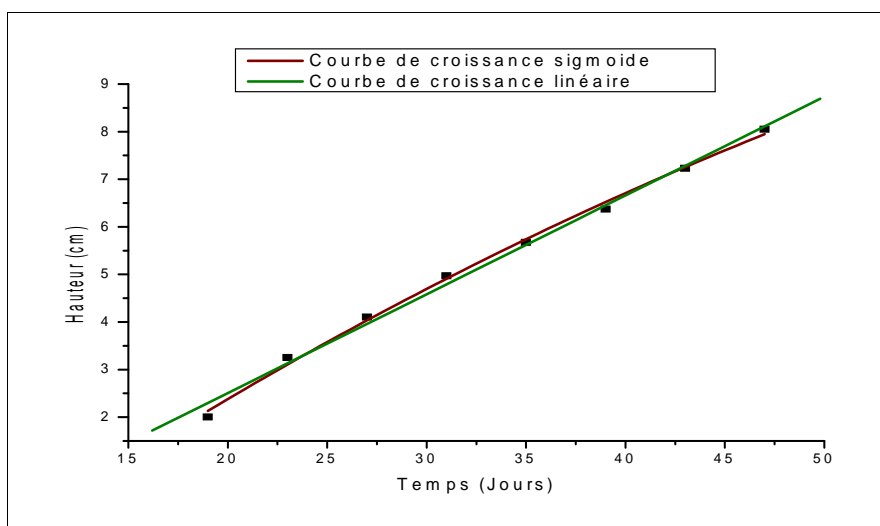


Figure 4 : Ajustement de la croissance moyenne en hauteur des plants de tomate

CONCLUSION

La qualité des digestats dépend des matières entrantes, du processus de fabrication et du post-traitement. Le digestat, en tant que matière fertilisante, possède un intérêt agricole certain. A l'état liquide, il sera un fertilisant azoté utilisable en substitution d'un engrais minéral.

La caractérisation directe des digestats liquides basée sur l'appréciation de quelques critères chimiques a permis de dégager que les quatre dilutions appliquées au Jus de Process Avicole (JPA) concentré peuvent être employées en fertigation, quelque soit le rapport retenu, puisque leurs pH ne montrent aucun problème d'inhibition d'absorption des éléments minéraux essentiels pour la croissance des plants. En outre, le JPA concentré est fortement salin. Son emploi à l'état pur est à éviter. La solution diluée JPA (1/50) est plus saline que les autres durant la période de suivi entrepris. Par ailleurs, le JPA concentré révèle une teneur en MES amplement plus élevée que les quatre solutions diluées. Les solutions diluées, contrairement au jus concentré, ont montré une diminution continue et importante du taux des MES au cours du temps. Toutefois, l'emploi en fertigation implique obligatoirement le l'accumulation des dépôts fins (phénomène de colmatage) au niveau des systèmes d'arrosage, en particulier, les asperseurs et les goutteurs (même en ayant recours à des dilutions importantes).

La caractérisation indirecte des digestats liquides basée sur l'appréciation de quelques critères agronomiques a permis de ressortir que, d'une part, le rapport de dilution agit sur la croissance en hauteur des plants de tomate 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 engendré, la présence des tiges grêles et quelques unes ont été brûlées et finissent par flétrir. Finalement, 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).

Cette recherche préliminaire a également permis de démontrer que les JPA dilués possédaient des activités fertilisante et insecticide (pouvoirs fertilisants et phytosanitaires). Actuellement, l'utilisation de matières organiques apparait comme une solution intéressante pour résoudre les problèmes de fertilisation et de phytoprotection. Des travaux ultérieurs visant à identifier les composés responsables de ces activités sont indispensables pour mieux expliquer ces effets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME (sd). Résumé non technique BIOGAZ. BIOGAZ d'ARCIS à Ormes, France, p.6-15. www.aube.gouv.fr/.../BIOGAZ-d-ARCIS.../Resume-non-technique-BIO...
- COMTOIS M., LÉGARÉ M. (2004). La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. Programme Horti-2002, Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, 57 p.

- DGGR (1995). Utilisation des eaux usées traitées en agriculture : Recueil des lois, décrets et arrêtés. Document élaboré par la Direction Générale du Génie Rural (DGGR), Tunisie, 20 p.
- DRIRE (2005). Les risques chroniques et nuisances. Document technique, Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE), France, p. 101-137.
- FUCHS J.G., BIERI M. (2000). Nouveaux biotests pour caractériser la qualité des composts. AGRAR-Forschung, Vol. 7, N°7, 314-319.
- JUSTE C., SOLDA, P., DUREAU P. (1985). Test agronomique simple destiné à juger rapidement de la phytotoxicité éventuelle et du degré de maturité d'un compost d'ordures ménagères. Chapitre d'ouvrage édité-BMA : Utilisation agricole des déchets. Résultats de dix années de recherches. Comité "Sols et Déchets" 1973-1983. Document élaboré par l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED), Nantes, France, 4 p.
- 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.
- LAMHAMDI 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*, *Pinus 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.
- 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, 3p.
- MIGNON Ch. (2009). Utilisation du digestat comme fertilisant en agriculture. Valbiom, Belgique, 15 p.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., ZOGHLAMI R.I., BARAKET S. (2010a). Valorisation environnementale et énergétique de la Biométhanisation appliquée aux effluents d'élevage. Affiche, 21ème Forum International des Sciences Biologiques, ATSB, 15-18 mars 2010, Mahdia, Tunisie.
- M'SADAK Y., BEN M'BAREK A., BARAKET S. (2010b). 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. , 23-25 March 2010, Sousse, Tunisia.
- 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, 343-356.

MUSTIN M. (1987). *Le compost : Gestion de la matière organique*. Édition François Dubusc, Paris, France, 954 p.

PFUNDTNER E. (2002). Limits and Merits of Sludge Utilisation-Land Application. European workshop: Impact of Waste Management Legislation on Biogas Technology, Tulln, Austria, September, 12-14.

REDON N. (2013). La gestion des digestats de méthanisation. VALTERRA Matières Organiques. Communication Journée Méthanisation : pour une meilleure connaissance par le Réseau Qualité Compost.

TIQUIA S.M. (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere* 79, p. 506-512.

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.