



Impact de la fumure organique appliquée seule et en combinaison avec une souche indigène de champignon mycorhizien arbusculaire *Glomus mosseae* sur *Meloidogyne* spp, principal nématode parasite de la tomate au Togo.

Bissadou Kossi Dodzi^a, Tchabi Atti^a, Tounou Agbeko Kodjo^{a*}, Ayessom Affoh^a, Gumedzoe Mawuena^a

^aLaboratoire de Virologie et de Biotechnologie Végétale, Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, BP 1515, Lomé Togo.

*Correspondant auteur Email: ktounou@ghmail.com Tel : +228 22254197/Fax : +228 22218595

Original submitted in on 6th June 2012. Published online at www.m.elewa.org on July 27th 2012.

RÉSUMÉ

Objectif : L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la fumure organique et des champignons mycorhiziens sur la densité de population des nématodes ainsi que sur le rendement en fruit de la tomate.

Méthodologie et résultats : Deux expériences ont été conduites au champ pour évaluer l'impact de l'application de la fumure organique (le fumier simple, fumier simple enrichi de cendre) seule et la fumure organique en combinaison avec la pré inoculation des plantules par le champignon mycorhizien arbusculaire (*Glomus mosseae*) sur la densité de population de *Meloidogyne* spp., les dégâts sur les racines et la production de la tomate, variété Mongal. L'application de la fumure organique seule a entraîné une réduction significative de la densité de population de *Meloidogyne* spp. et la sévérité des galles sur les racines ainsi qu'une augmentation de la production de la tomate comparativement au témoin. Par ailleurs, le pré inoculation avec *G. mosseae* a permis de réduire significativement la densité de la population de *Meloidogyne* spp. et la sévérité des galles sur les racines. La combinaison de la fumure organique et de *G. mosseae* a permis d'obtenir une production plus élevée de la tomate en comparaison avec la fumure organique seule.

Conclusion et applications des résultats : Cette étude a montré que la maîtrise de l'inoculation des champignons mycorhiziens arbusculaires ainsi que l'application de la fumure organique par les producteurs maraichers seraient probablement une solution écologiquement durable de la production des légumes en zones urbaines et périurbaines au Togo.

Mots clés : Lutte biologique, nématode, fumure organique, *Glomus mosseae*, tomate.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to evaluate the effect of organic fertilizer and mycorrhizal fungi on nematode population density and performance in tomato fruit.

Methods and Results: Two experiments were conducted in the field to assess the impact of the application of organic fertilizer (manure simple, simple enriched manure ash) and only organic manure in combination with the pre inoculation of seedlings by the fungus arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae*) on the population density of *Meloidogyne* spp., the root damage and production of the tomato variety Mongal. The application of organic manures alone resulted in a significant reduction in population density of *Meloidogyne* spp. and increased production of tomato compared to control. Furthermore, pre-inoculation with *G. mosseae* significantly reduced the population density of *Meloidogyne* spp. and severity of galls on roots. The combination of organic manure and *G. mosseae* resulted in a higher production of tomato in comparison with organic manures alone.

Conclusion and applications of results: This study showed that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and the application of organic fertilizer would probably be an ecologically sustainable production of vegetables in urban and suburban areas Togo

Keywords: Biological control, nematode, organic manure, *Glomus mosseae*, tomato.

INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest et plus particulièrement au Togo, les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp. semblent être le principal problème des cultures légumières (Sikora, 1990 ; Sikora et Fernandez, 2005 ; Fanou et al., 2005). Ils sont les plus importants parasites de plusieurs cultures incluant la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae)), aubergine (*Solanum macrocarpum* L. (Solanaceae)), laitue (*Lactuca sativa* L. (Asteraceae)) dans la zone urbaine et périurbaine du Togo (Mokwunye, 1979 ; Anonyme, 1991, 1992). Les plantes sévèrement infestées par *Meloidogyne* spp. présentent une grande susceptibilité à d'autres parasites et contribuent ainsi à réduire considérablement la qualité et la quantité des produits alimentaires (Bridge et al., 2005). Il a été établi que les nématodes à galles peuvent causer des pertes de rendement de 64% sur les plantes susceptibles (Viane et Abawi, 1996).

Les traitements chimiques des sols, en utilisant le Bromure de méthyle, nématodes sont très efficaces pour lutter contre les nématodes (Johnson, 1985; Feldmesser et al., 1985; Giannakou et al., 2002 ; Brzeski et Coosemans, 2005). En revanche, leur utilisation est très néfaste à la santé humaine ainsi qu'à l'environnement et ne présentent pas une solution intéressante pour la promotion d'une agriculture durable (Brzeski et Coosemans, 2005).

De nos jours, des méthodes alternatives de lutte contre les nématodes sont testées pour une lutte écologiquement durable. Ces méthodes incluent l'utilisation des extraits des plantes (Akhtar, 1999 ; Khan et Siddiqui, 2001 ; Fanou et al., 2005), la fumure organique (Pa et al., 2005 ; Afouda et al., 2008), enfouissement des résidus de cultures comme *Brassica* spp., et *Inula viscosa* (Ait.) L. (Compositae) (Oka et al, 2001; Ploeg et Stapleton, 2001), l'utilisation des biopesticides (Hashem et Abo-Elyousr, 2011 ; Radwan et al., 2012) et l'utilisation des champignons mycorrhiziens indigènes (Striling, 1991 ; Tchabi, 2008 ; Affokpon et al., 2011). Cependant, des études sur l'efficacité de l'application de la fumure organique en association avec l'inoculation des souches indigènes de Champignons Mycorrhiziens Arbusculaires (CMA) obtenue à partir d'une seule spore sur le contrôle des nématodes sont rares (Gapasin et Ronayre, 2003 ; Diongzon et Gapasin, 2000) voire inexistantes. Ce travail s'inscrit alors dans l'hypothèse que l'apport de la fumure organique en combinaison avec *Glomus mosseae* (Nicolson & Gerdemann) Gerd. & Trappe pourraient permettre de réduire la densité de population des nématodes, leurs dégâts et ainsi qu'accroître le rendement de la tomate. Cette publication présente les résultats de deux essais, utilisant d'abord la fumure organique seule et

ensuite la fumure organique en combinaison avec

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site d'expérimentation : La présente étude a été réalisée à la Station d'Expérimentations Agronomiques de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé (06°17'N, 001°21'E). Le climat est de type guinéen. Il est caractérisé par deux saisons sèches (une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars et une petite saison sèche de mi-juillet à fin août). La pluviométrie annuelle varie de 800 à 1000mm. Le sol de type ferrallitique, est qualifié de «terre de barre». La composition chimique de sol au niveau de la station est de 1, 87% de Matière Organique (MO), 0,15% d'Azote (N) total, 0,05% 0,05% de Phosphore (P₂O₅), 0,46 de Potassium (K₂O) et de 0,01 de Magnésium (MgO).

Dispositif expérimental et suivi des essais : Cette étude a été conduite en deux étapes, entre novembre 2010 et janvier 2011 et de mars à juin 2011 respectivement. La première étape consistait à tester l'efficacité de la fumure organique sur la population de *Meloidogyne* sp. Alors que la seconde étape consistait à tester l'efficacité de la fumure organique et des mycorhizes sur la population de *Meloidogyne* spp. en utilisant les plantules de tomates pré-inoculées avec *G. mosseae*. L'unité expérimentale pour chaque essai est constituée d'une planche de 5 mètres de long et de 1,2 mètre de large chacune (surface = 6 m²). Les planches ont été aménagées à l'aide d'une houe. Lors de la première expérience, un dispositif complètement aléatoire de planches (unité expérimentale) a été installé incluant trois traitements dont la fumure simple la fumure enrichie de cendre et le témoin. Chaque traitement a été répété cinq fois. Ce qui fait un total de 15 planches. Lors de la seconde expérience, un dispositif complètement aléatoire de planches (unité expérimentale) a été installé incluant deux facteurs dont le facteur mycorhize à deux niveaux (*G. mosseae* et sans *G. mosseae*) et le facteur fumure organique à trois niveaux (fumure organique simple, fumure organique enrichie, sans

G. mosseae.

fumure organique). L'expérience comporte ainsi six traitements à savoir le témoin (ni fumure, ni plantules inoculées avec *G. mosseae*), *G. mosseae* (recevant les plantules inoculées avec *G. mosseae* uniquement, pas de fumure), fumure simple (recevant les plantules sans inoculation de *G. mosseae*), fumure enrichie (recevant les plantules sans inoculation de *G. mosseae*), fumure simple et *G. mosseae* (recevant la fumure simple et les plantules inoculées avec *G. mosseae*), et enfin fumure enrichie et *G. mosseae* (recevant la fumure simple enrichie et les plantules inoculées avec *G. mosseae*). Chaque traitement a été répété cinq fois, ce qui fait un total de 30 planches.

La fumure simple est composée des déjections des petits ruminants et des bouses de vache) et la fumure enrichie de cendre est constituée de 4/5 fumier simple + 1/5 cendre des feuilles mortes. La fumure a été appliquée aussitôt après la mise en place des planches, soit deux semaines avant le repiquage. Les planches concernées ont reçues une ½ brouette de fumier soit 34.5kg (57.5t/ha) de fumier simple ou 34.5 kg (57.5t/ha) de fumier simple enrichi de cendre. Afin d'éviter l'infestation des plantules par des nématodes lors de la prégermination, la pépinière a été installée sur une planche relevé de 50 cm du sol par une plateforme faite de bois. Le sol utilisé a été stérilisé dans une étuve à 80°C pendant 72 h. Au niveau de second essai, deux sous planches ont été constituées dont les plantules d'une planche ont été inoculées de *G. mosseae*. L'application de *G. mosseae* a été faite lors du semis des graines de la tomate. Ainsi, chaque ligne de semis a reçu 50g de l'inoculum de *G. mosseae*. ma consisté CMAun

Les plantules de 4 semaines d'âge ont été repiquées sur les planches. Chaque planche a reçu au repiquage deux lignes de plantules dont 12 plantules par ligne. Ce qui fait au total 24 plantules par planche. Les plantules sont soit avec ou sans inoculation de *G. mosseae* selon le type de traitement. Le reste des activités au champ

jusqu'à la récolte se résume à l'arrosage, au tuteurage, au binage et au sarclage. Le nombre de nématodes dans le sol au niveau de chaque traitement a été déterminé à quatre reprises à savoir, au repiquage des plantules, à un mois après repiquage (correspondant au début floraison), à la fructification et enfin à la récolte. Ensuite, le nombre de nématodes dans les racines de tomate des différents traitements a été déterminé à la floraison, à la fructification et à la récolte, mais le score des galles a été fait uniquement qu'après la récolte. En plus, le plus rendement de la tomate au niveau de chaque traitement a été évalué pendant la récolte. Enfin, le taux de mycorhization et la densité des spores ont été déterminés à la seconde expérience à 2 mois après repiquage des plantules.

Origine et composition de l'inoculum de *G. mosseae*. : La souche de *G. mosseae* est originaire du Togo. Elle a été isolée dans le site expérimental de l'Université de Lomé dans un champ de tomate. L'inoculum a été obtenu en utilisant la méthode de Tchabi et al. (2010) et maintenu en culture à l'Institut International d'Agriculture Tropical (IITA). L'inoculum de *G. mosseae* est constitué de substrat de culture (qui est un mélange de sable fin lavé de mer et du sol (v/v)), des racines de la plante hôte (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et des spores de *G. mosseae* d'une concentration de 150 spores par gramme de substrat.

Echantillonnage, extraction et évaluation de la densité des nématodes : A l'aide d'une sonde, le sol des différents traitements a été prélevé à une profondeur de 15-20cm. Sur chaque planche, 3 prélèvements ont été effectués (200 g chacun) à des endroits différents de façon aléatoire. Ces trois prélèvements ont été malaxés selon la méthode décrite par Barker et Niblack (1990) en utilisant un sachet plastique pour constituer l'échantillon représentatif d'une unité expérimentale. L'échantillon (prélevé à 2 mois après repiquage) a été ensuite subdivisé en deux

sous échantillons dont l'un servant à l'extraction des nématodes et l'autre pour l'extraction des spores. Les racines contenues dans l'échantillon du sol ont été sélectionnées à l'aide d'une pincette dont une partie a été utilisée pour l'extraction des nématodes au niveau des racines et la seconde partie pour la coloration des structures mycorhiziennes. Pour l'extraction des nématodes (les juvéniles et mâles des nématodes à galles), la méthode de Bearmann Pan (Coyne et al., 2007) a été utilisée. A cet effet, 100 g de sol et 5 g de racines ont été pesés au laboratoire. Les racines ont été préalablement nettoyées et découpées à l'aide d'un couteau en petits morceaux d'un centimètre. Chaque échantillon pesé est mis dans un tamis tapissé à l'intérieur par du papier hygiénique (jouant le rôle de filtre) et le tout est placé dans une bassine en plastique. Chaque échantillon est bien éparpillé dans le tamis en utilisant une pincette. Ensuite l'eau a été ajoutée jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sols ou de racines, favorisant ainsi la migration des nématodes des échantillons de sols et de racines vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction. Après 48 heures, le tamis contenant le papier filtre sur lequel est déposé l'échantillon est retiré délicatement de la bassine. L'eau du bol contenant les nématodes est recueillie dans les tubes gradués. Après 30 minutes de décantation, le volume de l'extrait a été ramené à 100 ml constituant ainsi l'extrait qui servira à l'observation des nématodes.

Coloration des racines pour la détermination de la mycorhization : Le taux de colonisation des racines de tomates a été déterminé sur des échantillons de plants de tous les traitements deux mois après transplantation au champ soit 3 mois après inoculation en pépinière. A cet effet, les racines ont été prélevées pendant l'échantillonnage du sol et des racines pour l'extraction des nématodes. Les structures de mycorhizes ont été colorées selon la méthode de Brundrett et al. (1996) avec le trypan Blue. La technique de grilles d'intersection (Giovannetti et

Mosse, 1980) a été utilisée pour évaluer la colonisation.

La détermination du taux de mycorhiztaion et de la densité des spores : La technique de grilles d'intersection (Giovannetti et Mosse, 1980) a été utilisée pour évaluer la colonisation. Concernant la détermination de la densité des spores, un échantillon 25 g du sol a été prélevé et séché à l'air libre. Ensuite, la méthode du sucrose, de la densité par gradient suivie de la centrifugation décrite par Oehl et al. (2003) a été utilisée. Le comptage des nématodes, des spores ainsi que la colonisation a été faite l'aide d'une loupe binoculaire de marque Olympus SZ12 à la magnification x 90.

Estimation du taux de galles sur les racines : L'estimation du taux des galles sur les racines des tomates après la récolte a été faite en suivant l'échelle de Claudius-Cole et al. (2005) dans laquelle 1= racines saines ; 2 = racines couvertes de galles de 1-25% ; 3 = racines couvertes de galles de 26 – 50% ; 4= racines couvertes de galles de 51 – 75%, et enfin 5 = racines couvertes

de galles de 76-100%. Toutes les plantes ont été arrachées et les racines scorées.

Estimation du rendement : La récolte a été faite 3 mois après la transplantation des plantules au champ. L'estimation des rendements a été faite en additionnant les poids totaux des fruits collectés quotidiennement au niveau de chaque planche sur toute la période de la récolte qui a duré deux semaines. Au niveau de chaque traitement, la productivité ainsi que le rendement ont été calculé

Analyse statistique des données : Toutes les données collectées ont été analysées avec le logiciel Statistical Package for Social Science (SPSS, version 16.0, Procédure GLM) par une analyse de la variance (ANOVA) et les moyennes sont discriminées à l'aide du Test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS)(PPDS) au seuil de 5%. La densité des nématodes a été transformée en $X' = \log_{10}(X+1)$ avant l'analyse pour normaliser les données, X étant le nombre de nématodes comptés (Gomez et Gomez, 1984). Les données relatives à la colonisation ont été transformées en $Y' = \arcsinus(\text{racine}(Y))$, $\arcsinus(Y)$, Y étant le taux de colonisation. Les données relatives au rendement en fruits de tomate n'ont subi aucune transformation.

RÉSULTATS

Effet de l'application de la fumure organique sur la densité de nématodes et la sévérité de la formation des galles : Les données relatives à la densité des nématodes et aux taux de galles formés au niveau des racines sont consignées dans le Tableau 1. Ces données indiquent que pendant le repiquage des plantules, la densité de nématodes est relativement faible dans le sol mais l'application de la fumure a réduit significativement ($p = 0.04$) le nombre de nématode dans le sol par rapport aux parcelles témoins. A la récolte, la densité de nématode a été statistiquement plus élevée ($p = 0.028$) au niveau du sol ainsi que des racines des plantes de tomate sur les planches

témoins que sur les planches ayant reçues la fumure. L'action de la fumure simple et de la fumure enrichie n'ont pas été significativement différente(0,05) sur la réduction de la densité des nématodes aussi bien au niveau du sol qu'au niveau des racines. La formation des galles qui est le signe extérieur visible des dégâts causés par l'attaque des nématodes à galles est statistiquement plus élevée ($p = 0.02$) au niveau des plants témoins qu'au niveau des plants cultivées sur planches ayant reçues l'application de la fumure organique. Les deux fumures ont un effet identique sur la sévérité des galles sur les racines.

Tableau 1 : Effet de la fumure organique sur la densité moyenne de nématodes parasites de la tomate au niveau du sol et des racines, la formation des galles au niveau des racines et le poids frais des fruits en conditions d'expérimentations au champ à l'Université de Lomé.

Traitements	¹ Densité moyenne de nématodes au repiquage	Densité moyenne de nématodes après la récolte (per 100 gramme)		Scoring des racines après la récolte	Poids frais total des fruits de la tomate à la récolte
		Racines ²	Sol ¹		
Témoin	54 ± 09a	1216 ± 98a	312±34a	4,3 ± 1,6a	326 ± 67a
Fumure simple	22 ± 07b	348 ± 76b	116 ± 26b	2,5 ± 0,9b	678 ± 78b
Fumure simple enrichie	29 ± 12b	399 ± 88b	156 ± 19b	2,8 ± 1,1b	701 ± 58b
<i>F</i>	18.15	100.21	12.62	3.20	12.31
<i>P</i>	0.04	<0.001	0.028	0.02	0.002

¹Densité de nématodes 5g⁻¹ de racines; ²Densité de nématode 50 g⁻¹ sol. Les valeurs sont les moyennes (±DS) de cinq répétitions des données non transformées. Les moyennes dans la même colonne suivies par les mêmes lettre alphabétiques ne sont pas statistiquement différents (($p > 0.05$) selon le Test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS).(PPDS).

Effet de l'application de la fumure organique sur le poids frais de la tomate à la récolte : Les données relatives au poids frais des fruits de tomates récoltés sont consignées dans le Tableau 1. Ces données montrent que le poids frais de la tomate est significativement plus faible ($p = 0.002$) au niveau du témoin qu'au niveau des plantes ayant reçue l'applique de la fumure organique. Aucune. Lesn'a été deux fumures ont un effet identique sur le poids frais de la tomate.

Effet de l'application de la fumure organique et de l'inoculation de *G. mosseae* sur la densité des nématodes : Les données relatives à la densité des nématodes au repiquage, 2 mois après repiquage et 4 mois après repiquage sont consignées dans le Tableau 2. Les résultats ont montré qu'il y'a une augmentation de la population

des nématodes sur toutes les parcelles de l'essai. Mais la plus faible augmentation ($p = 0.03$) a été enregistrée au niveau des traitements avec *G. mosseae* ainsi qu'au niveau des traitements de fumure organique en combinaison avec l'inoculation de *G. mosseae*. Les résultats de ce second essai ont montré aussi une réduction significative ($p = 0.04$) de la densité des nématodes par rapport au témoin. L'application de la fumure organique, de *G. mosseae* ainsi que de la fumure organique en association avec *G. mosseae* ont réduit significativement ($p < 0,05$) la densité des nématodes au niveau des racines des plants en comparaisons avec le témoin aussi bien deux mois après le repiquage ($P < 0.0001$) que quatre mois après repiquage ($P = 0.02$).

Tableau 2: Effet de l'application de la fumure organique et de l'inoculation de *G. mosseae* sur la densité moyenne de nématodes parasites de la tomate au niveau du sol et des racines en conditions d'expérimentations au champ à l'Université de Lomé. (ajouter le F et P dans une ligne au bas du tableau)

Traitements	¹ Densité de nématodes dans le sol au repiquage	Densité de nématodes deux mois après repiquage		Densité de nématodes à la récolte, 4 mois après repiquage	
		Racines ²	sol ¹	Racines ²	sol ¹
Témoin	64 ±12,3a	723,33 ± 75,056a	148,33 ± 23,714a	818,33 ± 77,835a	231,67 ± 28,43a
<i>Glomus mosseae</i>	59 ± 8,32a	287,67 ± 39,804b	59,00 ± 1,000c	301,33 ± 39,716b	68,00 ± 2,000*c
Fumier simple	34 ± 7,32b	321,67 ± 40,104b	92,00 ± 14,422b	336,67 ± 38,188b	100,67 ± 12,897*b
Fumier enrichi	41 ± 3,76b	318,33 ± 23,629b	90,33 ± 2,517b	322,00 ± 24,269b	108,33 ± 7,638*b
Fumier simple + <i>Glomus mosseae</i>	37 ± 8,54b	176,00 ± 31,512c	75,00 ± 18,028b	188,67 ± 30,022c	81,00 ± 17,059*c
Fumier enrichi + <i>Glomus mosseae</i>	42 ± 11,37b	136,67 ± 37,528c	68,00 ± 20,298c	144,33 ± 35,445c	82,33 ± 20,257*c
F	27.6	112.7	18.3	48.5	11.9
P	0.03	<0.0001	0.04	0.02	0.018

¹Densité de nématodes 5g⁻¹ de racines; ²Densité de nématode 50 g⁻¹ sol. Les valeurs sont les moyennes (±DS) de cinq répétitions des données non transformées. Les moyennes dans la même colonne suivies par les mêmes lettres alphabétiques ne sont pas statistiquement différents (p > 0.05) selon le Test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS)(PPDS)

Effet de l'application de la fumure organique et de l'inoculation de *G. mosseae* sur la sévérité des galles et le poids frais de la tomate à la récolte. : Les résultats ont montré que la sévérité de la formation des galles est statistiquement faible ($p = 0.013$) au niveau des traitements qui ont reçu l'application de la fumure organique en combinaison avec l'inoculation de *G. mosseae*, suivie des traitements qui ont reçu uniquement l'application de la fumure organique ainsi que l'inoculation de *G. mosseae* comme traitement (Tableau 3). Les plantes témoins ont été sévèrement attaquées avec plus de 90% des racines infestées. Le poids frais des fruits de la tomate était statistiquement plus élevé ($p= 0.001$) au niveau des traitements fumure organique en combinaison avec l'inoculation de *G. mosseae*, suivie des traitements ayant reçus la fumure organique seule et ceux ayant reçus seule l'inoculation de *G. mosseae*. Le poids frais de la

tomate au niveau des plants témoins est statistiquement moins élevé ($p = 0.001$).

Taux de colonisation des racines et la densité des spores des champignons mycorhizes : La colonisation des racines est observée au niveau de tous les traitements (Tableau 3), mais3), le taux de colonisation a été statistiquement plus élevé ($p < 0,05$) au niveau des plants qui ont été inoculés de *G. mosseae* comparativement aux plants non préinoculés en pépinière. La production des spores était significativement plus élevée ($p < 0,05$) au niveau des traitements ayant reçus uniquement l'inoculation de *G. mosseae* en comparaison avec les plants témoins. La production des spores était moins importante au niveau des traitements fumure organique en combinaison avec *G. mosseae* mais elle était statistiquement plus élevée ($p < 0,05$) qu'au niveau des témoins ainsi que des traitements de fumure organique uniquement.

Tableau 3 : Taux de colonisation, la densité de spores ainsi que l'effet de l'application de la fumure organique et de l'inoculation de *G. mosseae* sur la sévérité des galles et le poids frais des fruits de la tomate.

Traitements	Taux de colonisation des racines	Densité des spores	Taux de galles causé par l'attaque de <i>Meloidogyne</i> spp.	Le poids frais des fruits de la tomate à la récolte
Témoïn	1 ± 0,5b	6 ± 3,1c	4 ± 1,2a	206 ± 67c
<i>Glomus mosseae</i>	74 ± 15a	460 ± 101a	2 ± 1,3b	534 ± 59b
Fumier simple	3 ± 1,5b	5 ± 2,4c	2 ± 0,9b	497 ± 78b
Fumier enrichi	1 ± 0,4b	9 ± 2,9c	2 ± 1,1b	509 ± 65b
Fumier simple + <i>Glomus mosseae</i>	67 ± 21a	211 ± 98b	1 ± 0,7c	701 ± 98a
Fumier enrichi + <i>Glomus mosseae</i>	71 ± 19a	206 ± 76b	1 ± 0,8c	809 ± 77a
F	17.09	49.1	13.8	87.5
P	0.04	0.02	0.013	0.001

Les moyennes dans la même colonne suivies par les mêmes lettres alphabétiques ne sont pas statistiquement différents ($p > 0.05$) selon le Test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS)

DISCUSSION

Dans le cadre de la recherche des méthodes alternatives à l'utilisation des produits chimiques pour contrôler les nématodes à galles au niveau des cultures maraichères, les résultats de la présente étude établissent que le fumier simple, le fumier enrichie, *G. mosseae* et les combinaisons *G. mosseae*-fumiers réduisent significativement la densité des nématodes parasites de la tomate dans le sol et dans les racines de la plante ainsi que le taux de galles sur les racines. Mais, le taux de galles au niveau des plantes qui n'ont reçu uniquement que l'inoculation de *G. mosseae* est statistiquement identique à celui au niveau des plantes ayant reçues uniquement la fumure organique. En outre, le taux de galles, et la densité des nématodes au niveau des racines des plantes ayant reçues uniquement l'inoculation de *G. mosseae* sont statistiquement plus élevés que celui des plantes ayant reçues la combinaison de la fumure organique et de l'inoculation de *G. mosseae*. Ce qui pourrait suggérer le potentiel de la combinaison fumure organique et mycorhize comme solution efficace pour la lutte contre les nématodes à galles au champ. Les résultats de cette présente étude sont les premiers au Togo à établir l'efficacité de la combinaison des souches indigènes de champignons mycorhiziens avec le fumier sur la dynamique de la population des nématodes parasites de la tomate. Nos résultats sont similaires à ceux de certaines études antérieures qui ont montrées que l'application de la fumure organique en combinaison avec les CMA permet de réduire la population des nématodes et d'augmenter le rendement des cultures en serre (Gapasin et Ronayre, 2003 ; Diongzon et Gapasin, 2000 ; Serfoji et al., 2010) et au champ (Germani et Plenchette, , 2005). Mais l'efficacité de l'application de la fumure organique en combinaison avec les CMA sur la réduction de la densité des nématodes ainsi que sur l'augmentation du rendement de la culture pourrait dépendre de la nature de la fumure (Gapasin et Ronayre, 2003), du taux d'infestation initial du sol

(Afouda et al., 2008), de la dose de la fumure (Diongzon et Gapasin, 2000), de l'espèce de CMA utilisée (Serfoji et al., 2010) ainsi que de la susceptibilité de la culture mise en place (Ploeg et Stapleton, 2001 ; Kha et Siddiqui, 2005 ; Pa et al., 2005 ; Sanbonga, 2008). Cependant, les mécanismes qui expliquent cette efficacité de la fumure organique en combinaison avec *G. mosseae* sur les nématodes seraient multiples et accroissement de la disponibilité des sels minéraux dans le sol (Chindo and Khan, 1990 ; Smith and Read, 2008), l'amélioration des conditions du sol ou le changement de la composition microbienne du sol (Jagdale et al., 1985 ; Burke et al., 2002), la libération d'un certain nombre de substances toxiques pendant la décomposition de la matière organique (Van der Laan, 1956) et l'activation de la défense des plantes au niveau des racines mycorrhizées (Slezack et al., 2000).

Il est aussi bien reconnu que l'application de la fumure organique seule sur un sol fortement infesté de nématodes à galles permet de réduire la densité de leur population aussi bien au niveau des racines qu'au niveau du sol en cultivant *L. esculenta* (Farouk et al., 2002), *S. macrocarpum* (Afouda et al., 2008), *Pyrethrum* spp. (Waceke et al. 2001) voire les bananiers plantains (Stoll, 2000). De même, Affopkon et al. (2011) ont rapporté que des champignons mycorrhizes d'origine Béninoise, appliqués seuls, sont très efficaces aussi bien en serre qu'au champ dans la réduction du taux de *Meloidogyne* spp dans le sol et dans les racines de la tomate.

Au repiquage, les nématodes ont été extraits sur les échantillons du sol malgré l'absence de culture au champ. Cette présence serait probablement due à l'humectation de la couche supérieure du sol par les différents arrosages entraînant la migration des nématodes vers la couche supérieure. Du repiquage à la récolte le nombre de nématodes a progressivement augmenté dans le sol et dans les racines de la tomate dans tous les traitements,

indiquant probablement ainsi que l'effet de la fumure ou bien de *G. mosseae* ne bloque pas la multiplication des nématodes mais réduit leur taux de multiplication (Hauggaard-Nielson, 2005) et l'action ne serait pas directe mais plutôt indirecte (Widmer and Abawi, 2000).

Le meilleur gain de rendement en fruit de tomate (22%) est obtenu avec *G. mossae* pour une réduction de la densité des nématodes de 63%. Cependant avec une réduction de densité de 77% et 82% respectivement, la fumure organique et *G. mosseae* ainsi que de la fumure organique enrichit et *G. mosseae* n'ont contribué qu'à un gain de rendement de 19% et 18% respectivement. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les plants inoculés uniquement de *G. mosseae*

CONCLUSION

Cette étude a montré que l'application de la fumure organique seule, de *G. mosseae* seule ainsi que leur combinaison sont une approche de solution dans la lutte contre les nématodes à galles au champ. Mais la meilleure approche serait la combinaison de la fumure organique et de *G. mosseae* indigène au Togo. Cette étude montre

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient l'Agence Interuniversitaire de la Francophonie (AUF) pour le support financier ainsi que Louis Lawin pour la multiplication des

RÉFÉRENCES

Affokpon A, Coyne DL, Htay CC, Agbèdè RD, Lawouin L, Coosemans J: 2011. Biocontrol potential of native *Trichoderma* isolates against root-knot nematodes in West African vegetable production systems. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 600-608.

Afouda L, Baimey H et Fanou H: 2008. Evaluation of *Amaranthus* sp. And *Veronia amygdalina*, and Soil Amendements with Poultry Manure for the Management of

avaient un taux de mycorhization très élevé (Tchabi, 2008 ; Affokpon et al., 2011). Ceci montre que *G. mosseae* joue plus le rôle de fertilisant que de défense alors que ce rôle serait probablement dévié en faveur de la défense lorsqu'il est en association avec le fumier. La formation des galles sur les racines des plants de tomate a été observée au niveau de tous les traitements mais ce taux de galles est significativement faible au niveau des traitement de combinaison de la fumure organique et de *G. mossae* indiquant une certaine corrélation probable entre la densité des nématodes dans les racines et le taux de mycorhization (Afouda et al., 2008 ; Affokpon et al., 2011).

que l'acquisition de l'inoculation des champignons mycorhiziens arbusculaires ainsi que l'application de la fumure organique en une dose minimale de 37 t/ha par les producteurs maraichers seraient probablement une solution écologiquement durable de la production des légumes en zones urbaines et périurbaine au Togo.

souches de *G. mosseae* à l'Institut International d'Agriculture Tropical (IITA).

Root-knot Nematodes on Eggplant. *Phytoparasitica* 36: 368-376.

Akhtar M: 1999. Plant growth and nematode dynamics in response to soil amendements with neem products, urea and compost. *Bioresources Technology* 69: 181-183.

Anonyme : 1991. Enquêtes- Budgets- Ministère du Développement Rural. Direction du développement Rural. *Direction des Statistiques Agricoles, de l'information et de le Documentation(D.S.I.D)-*

- Consommations (EBC) N°7 – Lomé*, pp. 65-72. (74pp.)
- Anonyme : 1992. Résultats définitifs du recensement national des exploitants maraichers en milieu urbain et péri-urbain – Lomé. pp. 65-72. Direction des Enquêtes et Statistiques Agricoles (D.E.S.A) – Ministère du développement rural. Direction du Développement Rural.
- Barker, KR et Niblack, TL: 1990. Soil sampling methods and procedures for field diagnosis. *in*: Zuckerman, B.M., Mai, W.F. and Krusberg, L.R. [Eds.] Plant Nematology Laboratory Manual. Revised Edition. The University of Massachusetts Agricultural Experiment Station, Amherst, MA, USA. pp. 10-19.
- Brundrett M, Melville L et Peterson L: 1994. Practical Methods in Mycorrhizal Research. *Mycologist Publications*, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada p.161
- Brzeski MW et Coosemans J: 2005. Integrated pest management, *in*: *Introduction to the biology and management of Nematodes Interacting with Agro Ecosystems*. Fascicule pour Postgraduate International Nematology Course. Université de Gand, Belgique. Pp 12-30.
- Burke DJ, Hamerlynck EP and Hahn D: 2002. Interactions among plant species and microorganisms in salt marsh sediments. *Applied Environment and Microbiology* 68: 1157-1164.
- Chindo PS et Khan FA: 1990. Control of root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., on tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill., with poultry manure. *Tropical Pest Management* 36: 332-335.
- Claudius-Cole AO: 2005. Cover crops in the management of *Meloidogyne* spp. and *Scutellonema bradys* on edible yam, studies in Nigeria. Ph.D Thesis Faculty of Agriculture University of Ibadan, Ibadan. Nigeria.
- D'Addabbo T, Sisanelli N, Lamberti F, Greco P et Carella A: 2003. Olive pomace and chicken manure amendments for control of *Meloidogyne incognita* over two crop cycles. *Nematropica* 33:1-7.
- Diongzon MLD, Gapasin RM: 2000. Animal manure and mycorrhiza applied singly and in combination for the control of the rice root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola* Golden and Birchfield) in green onion (*Allium fistulosum* L.). *Philippine Journal of Crop Science* 25: 26-30.
- Fanou A, Glitho M, Baimey H et Sagbohan J: 2005. Étude comparée des pesticides botaniques sur les organismes nuisibles des cultures maraichères (carotte, oignon et gboma) dans les centres maraichers d'Agron de Sokotomey, de Grand popo et d'Adjohoun. *In* : Recherche Agricole pour le développement. Actes de l'Atelier.
- Farouk MI, Barim MA, Nahar MS, Rahman MA et Hossain MM : 2001. Management of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp) of tomato with two organic amendments and nématicides. *Bangladesh Journal of Plant Pathology* 17: 27-30.
- Feldmesser J, Konchansky J, Jaffe H et Chitwood D: 1985. Future chemicals for control of nematodes. *In* BARC symp Hilton (Ed). Agric6chem of the future, Rowman and Allanheld, Totowa, 329-331.
- Gapasin RM, Ronayre DKM: 2003. Effect of VAM [Vesicular arbuscular mycorrhizae] applied singly or in combination with selected organic materials on the rice root-knot nematode *Meloidogyne*. *Journal of Tropical Plant Pathology* 38: 81-82.
- Germani G. et Christian Plenchette Ch: 2005. Potential of *Crotalaria* species as green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial

- mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 266: 333-342.
- Giannakou IO, Sidiropoulos A et Prophetou-Athanasidou D: 2002. Chemical alternatives to methyl bromide for the control of root-knot nematodes in greenhouses. *Pest management Science* 58: 290-296.
- Giovannetti M et Mosse B: 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- Gomez AK et Gomez AA: 1984. Statistical procedures for agricultural research 2nded. Wiley et Sons, New York, USA. 680 pp
- Hashem M et Abo-Elyousr KA: 2011. Management of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato with combinations of different biocontrol organisms. *Crop Protection* 30, 285-292
- Jagdale GB, Pawar AB et Darekar KS: 1985. Effect of organic amendments on root-knot nematodes infecting Betelvine. *International Nematology Network Newsletter* 2: 5-10.
- Johnson AW: 1985. The role of nematicides in nematode management. In: Sasser J.N. and Carter C.C. (Eds.). An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume 1. Biology and Control. North Carolina University Graphics, Raleigh, NC, USA. Pp. 249-267.
- Khan AA et Siddiqui MA: 2001. Evaluation of nematicidal properties of *Azadirachta indica*, *Tagetes patula*, *Ficus racemosa* and *Nerium indicum* against *Meloidogyne incognita* tracking tomato. *Bionotes*: 3: 82.
- Kimpinski J, Gallant CE, Henry R, Macleod JA, Sanderson JB et Sturz VA: 2003. Effect of compost and manure soil amendments on yields of potato and barley: a 7-year study. *Journal of Nematology* 35:289-293.
- Mokwunye U: 1979. Phosphorus needs of soils and crops of the savanna zones of Nigeria. *Phosphorus Agriculture*. (Special Issue), 76: 87-95.
- Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mäder P, Boller T, Wiemken A: 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied Environmental and Microbiology* 69: 2816-2824.
- Oka Y, Ben-Daniel B et Cohen Y: 2001. Nematicidal activity of powder and extracts of *Inula viscosa*. *Nematology* 3: 735-742.
- Pa A, Riga E, Conn KL et Lazarovits G: 2005. Effect of neem cake soil amendment on reduction of damping-off severity and population densities of plant-parasitic nematodes and soil borne plant pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 38-45.
- Phillips JM et Hayman DS: 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transcriptions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Ploeg AT et Stapleton JJ: 2001. Glasshouse studies on the effects of time, temperature and amendment of soil with broccoli plant residues on the infestation of melon plants by *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Nematology* 3: 855-861.
- Radwan MA, Farrag SAA, Abu-Elamayem MM et Ahmed NS: 2012. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. *Applied Soil Ecology* 56: 58-62.
- Sanbonga K: 2007. Les Nématodes de la tomate : identification et contrôle avec *Glomus mossae* et avec des poudres de feuilles de *Nem* et gousses de *Néré*. Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur Agronome.N° 561/07/PV. ESA. UL, 72p.

- Serfoji P, Rajeshkumar S et Selvaraj T: 2010. Management of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato cv Pusa Ruby. by using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. *Journal of Agricultural Technology* 6: 37-45.
- Sikora RA et Fernandez E: 2005. Nematodes parasites of vegetables. In Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. (Eds. LUC M., SIKORA R. A. et BRIDGE J.). CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 319-392.
- Sikora RA: 1990. Management of soil antagonistic potential in agro-ecosystems for nematode control. Proceeding II. International Nematology congress, Veldhoven, The Netherlands, pp. 249-256.
- Slezack S, Negrel J, Bestel-Corre G, Dumas-Gaudot E and Gianinazzi S: 2001. Purification and partial amino acid sequencing of a mycorrhiza-related chitinase isoform from *Glomus mosseae*-inoculated roots of *Pisum sativum* L. *Planta* 213: 781-787.
- Smith SE et Read DJ (eds): 2008. Mycorrhizal symbiosis. Third Edition, London, UK, Academic press; 787 pp.
- Stoll G : 2000. Protection naturelle des végétaux en zones tropicales. Agrecol, ICTA, 348p.
- Striling GR: 1991. Biological control of plant parasitic nematodes: progress, problem and prospect. Wallingford, UK: CAB International, 282p.
- Tchabi A, Hountondji F, Lawouin L, Coyne D, Wiemken A et Oehl F: 2010. Efficacy of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi for promoting white yam (*Dioscorea rotundata*) growth in West Africa. *Applied Soil Ecology* 45: 92-100.
- Tchabi A: 2008. Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Sub-Saharan Savannas of Benin and their Association with Yam (*Dioscorea* spp.): Potential of Yam Growth Promotion and Reduction of Nematode Infestation. PhD Thesis, Faculty of Science, University of Basel, Switzerland, 233 p.
- Van der Laan PA: 1956. The influence of organic manure on the development of the potato root-worm, *Heterodera rostochiensis*. *Nematologica* 1:112-125.
- Viane NM et Abawi GS: 1996. Damage threshold of *Meloidogyne hapla* on lettuce in organic soil. *Journal of Nematology* 28: 537-545.
- Waceke JW, Waudu et Sikora R: 2001. Suppression of *Meloidogyne hapla* by Arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on pyrethrum in Kenya. *International Journal of Pest management* 40, 307-313. .
- Widmer TL et Abawi GS: 2000. Mechanism of suppression of *Meloidogyne hapla* and its damage by a green manure of Sudan grass. *Plant Disease* 84:562-568.