

IMPACT DE DIFFÉRENTS TYPES DE VERMICOMPOST SUR LA RÉDUCTION DU NOMBRE DE GALLES DE *MELOIDOGYNE* ET L'EXPRESSION VÉGÉTATIVE DES PLANTS DE TOMATE.

SAFIDDINE Fadhéla^{1,2*}, NEBIH Dhaouya³, MERAH Othmane⁴ et DJAZOULI Zahr-Eddine¹

1. Université Saad Dahleb de Blida 1, Département des Biotechnologies, Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie. 2. Université Yahia Farés, Pôle urbain, Médéa, Algérie. 3. Université Saad Dahleb de Blida 1, Département des Biotechnologies, Laboratoire de Protection et Valorisation des Ressources Agrobiologique, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie. 4. Laboratoire de Chimie Agro-industrielle, Université de Toulouse, INRA, INPT, France.

Reçu le 17/05/2019, Révisé le 22/06/2019, Accepté le 25/06/2019

Résumé

Description du sujet : Face aux profils toxicologiques et éco-toxicologiques nettement importants constatés au cours de ces dernières décennies et qui sont liés à l'accumulation des résidus de pesticides. Il est urgent de développer des méthodes de contrôle et de protection plus écologiques tout comme les approches alternatives complémentaires et innovantes tel que la lombriculture qui est une technologie appropriée valorisant les résidus des cultures et gérant durablement la santé végétale.

Objectifs : Evaluer l'impact de différents traitements à base du vermicompost sur la sévérité des nématodes à galles et tester leur efficacité sur les paramètres de croissance des plants de tomate.

Méthodes : L'essai a concerné trois types de biofertilisant : le vermicompost de déchets ménagers, le thé et le jus de vermicompost. Les traitements liquides sont appliqués par voie foliaire et par absorption racinaire et le traitement solide a été apporté par amendement. L'expérimentation s'est déroulée sur 45 jours, les paramètres de croissance ont été mesurés chaque quinzaine, par contre les paramètres populationnelles des nématodes ont été estimés à la fin de l'expérimentation.

Résultats : Les biofertilisants utilisés ont contribué dans la réduction du nombre moyen de galles d'une manière très significative en comparaison avec le témoin. Cependant le vermicompost apporté par absorption racinaire semble plus efficace. Par ailleurs, les résultats des paramètres de croissance exposent une expression végétative plus importante chez les traités par absorption racinaire et application foliaire que par amendement.

Conclusion : Les différentes formes du vermicompost apportées participent activement dans la régulation des infestations des plants de tomate par les *Meloidogyne* cet effet est lié à la masculinisation des larves de *Meloidogyne* sous l'effet du vermicompost.

Mots clés: Vermicompost, nombre de galles, absorption racinaire, application foliaire, paramètres de croissance.

THE IMPACT OF DIFFERENT VERMICOMPOST TYPES ON REDUCING THE NUMBER OF *MELOIDOGYNE* ROOT-KNOT NEMATODES AND THE VEGETATIVE EXPRESSION OF TOMATO PLANTS

Abstract

Description of the subject: In view of the major toxicological and ecotoxicological profiles related to the accumulation of pesticide residues during the last decades, it was urgent to develop more ecological control and protection methods, just as the complementary and innovative alternative approaches such as vermiculture, an appropriate technology to assess crop residues and to manage plant health permanently.

Objective: Evaluating the impact of different vermicompost treatments on the severity of root-knot nematodes and test their effectiveness on the growth parameters of tomato plants.

Methods: The trial involved three types of biofertilizer: the vermicompost of household waste, tea and vermicompost juice. Liquid treatments are applied foliarly and by root absorption and solid treatment has been supplied by amendment. The experiment was conducted over 45 days, the growth parameters were measured every two weeks at the end of the experiment, whereas the nematode population parameters were estimated at the end of the experiment.

Results: The applied biofertilizers significantly contributed in reducing the average number of root-knots compared to the control, yet the vermicompost brought by root absorption seems more effective. Additionally, the results of the growth parameters reveal a higher vegetative expression in the root absorption and foliar application treatments than in the amendment handlings.

Conclusion: The different forms of the applied vermicompost actively contributed to the regulation of tomato plant infestations by *Meloidogyne*. This effect is related to the masculinization of *Meloidogyne* larvae as a result of vermicompost.

Keywords: Vermicompost, root-knots number, root absorption, foliar application, growth parameters.

*Auteur correspondant: SAFIDDINE Fadhéla, E-mail: fa.agro@yahoo.fr

INTRODUCTION

En Algérie les cultures maraîchères présentent une place importante dans l'économie du pays. Elle est la deuxième culture après celle des céréales. La tomate occupe une superficie de plus de 23.977 ha avec une production estimée à 1.286.286 de tonnes en 2017 [1]. Néanmoins ces cultures sont sujettes à de nombreux bioagresseurs qui leur infligent de fortes pertes de rendements en quantité et en qualité [2]. Parmi lesquels nous avons les nématodes dont 4500 espèces sont des phytoparasites [3] et les nématodes à galles du genre *Meloidogyne* causent les plus importants dégâts dans le monde [4]. En raison de leur extrême résistance, de leur grande variabilité physiologique et de leur vie souterraine, il est très difficile de les combattre. Les pratiques culturales et les moyens physiques ne peuvent être employés que dans des cas exceptionnels [5]. La lutte chimique est le moyen le plus usité, mais n'est pas en mesure de résoudre durablement le problème de ces nématodes parasites en raison de ces effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Par conséquent, la recherche d'autres méthodes de lutte, moins polluantes et moins coûteuses, s'avère obligatoire [6]. Les recherches se sont orientées vers la diversification des alternatives de contrôle des nématodes phytoparasites. Parmi ces dernières nous avons l'utilisation des extraits de plantes à effets nématicides ([7 ; 8 ; 6 ; 9 ; 10 ; 11] et l'utilisation de la matière organique compostée [12] tel que le lombricompostage qui permet la transformation des matières organiques en humus dans un objectif de protéger les cultures. Par ailleurs, les investigations ont montré l'efficacité des vermicomposts dans la réduction des populations d'arthropodes comme les pucerons [13], et ont également diminué les dommages engendrés par les agents pathogènes [14]. En revanche, l'effet des vermicomposts sur les nématodes n'est pas encore bien illustré, mais par contre plusieurs travaux ont signalé l'effet des vermicompost dans la biostimulation et la croissance des cultures [15] et [16]. Cette étude vise à développer des méthodes alternatives aux pesticides conventionnels par l'utilisation de biofertilisants. Les essais ont porté sur trois traitements à base du vermicompost afin d'évaluer *in vivo* leur effet régulateur sur des populations de *Meloidogyne* et estimer leur capacité à performer l'expression végétative des plants de tomate.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Obtention du vermicompost

Le vermicompost utilisé a été obtenu en convertissant des déchets ménagers solides et liquides avec les vers *Eisenia foetida* et *Eisenia andrei* dans un vermicomposteur. Le vermicompostage produit deux types d'engrais, le vermicompost et le jus de vermicompost. Le vermicompost a la consistance d'un terreau sans odeur, riche en éléments nutritifs pour les végétaux (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) et en oligo-éléments (cuivre, fer, manganèse, zinc...). Il améliore l'aération, le drainage et la structure du sol. Il a un pH de 6 et n'acidifie pas le sol [9]. Dans notre travail une partie de ce dernier a été séché à température ambiante pendant une semaine et ensuite broyé en poudre. L'autre partie est utilisée sous sa forme fraîche. Le thé de vermicompost, est la solution obtenue après macération de 100 gramme de vermicompost solide dans 1 litre d'eau. Le produit final sera prêt à l'utilisation qu'après 24 heures. Pour le jus de vermicompost, récupéré dans le fond du vermicomposteur, provient essentiellement de l'eau contenue dans le vermicompost. Il est chargé de nutriments minéraux et d'oligo-éléments [17] et [18].

2. Préparation des doses

La dose utilisée pour le vermicompost frais et sec est de l'ordre de 3% du poids de pot [19]. Les doses calculée pour le poids du pot de 166 g sont de 4,98 g (la dose complète : D1) est de 2,49 g (la demi-dose : D2). En ce qui concerne le thé et le jus du vermicompost nous avons dilué le produit pur en deux doses selon une suite géométrique à raison de deux à savoir les dilutions 5 et 10. La dilution 5 (D1) est obtenue à partir de 100ml de la solution pure du vermicompost (thé ou jus) diluée dans 400ml d'eau distillée. Pour la dilution 10 (D2), elle est obtenue par addition de 900ml d'eau distillée à 100ml de la solution pure. Les solutions ainsi préparées sont laissées reposer pendant 24h avant leur utilisation [9].

3. Préparation du sol

Nos tests ont été réalisés dans un mélange de sol composé par 1/3 de terre, 1/3 de sable et 1/3 de tourbe. Le sol et le sable proviennent de la station expérimentale du département des Biotechnologies (Université Blida 1-Algérie). Ces derniers ont été tamisés (tamis 2mm) puis stérilisés pendant 24h à 200°C.

La tourbe a subi également une stérilisation à 100°C pendant 24h. Les trois éléments (sol, sable et tourbe) sont mélangés ensemble puis répartis dans des pots en plastique à raison de 166g par pot. D'après Chaichi *et al.* [16], les propriétés physiques et chimiques de sol et vermicompost utilisés sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : paramètres physico-chimiques de sol utilisé [16].

Paramètres	Sol	Vermicompost
La conductivité électrique	0,6 ± 0,1	4,2 ± 0,2
pH	7,1 ± 0,1	8,6 ± 0,1
Acide humique mg/L ⁻¹	98 ± 10,8	1278 ± 12,1
Nitrogène mg/L ⁻¹	17,6 ± 0,7	90,5 ± 1,3
Calcium mg/L ⁻¹	5,7 ± 2,1	286 ± 4,1
Magnésium mg/L ⁻¹	0,9 ± 0,1	6,5 ± 0,7
Phosphore mg/L ⁻¹	0,8 ± 0,1	5,7 ± 0,7
Potassium mg/L ⁻¹	1,0 ± 0,2	8,1 ± 0,6

4. Obtention du matériel biologique

Des grains de tomate *Lycopersicon esculentum* variété fixée «Marmande», ont été semés dans des alvéoles en plastique remplies de tourbe à raison de 2 à 3 graines par alvéole. Au stade 3 feuilles, les plants de tomate ont été repiqués dans des gobelets.

5. Préparation des larves (L2) de *Meloidogyne*

Les masses d'œuf des *Meloidogyne* sont extraites des galles des racines de tomate infestées puis sont déposées dans de petits tamis en plastiques de 2 à 4 cm de diamètre (15 à 30 masses). Ces derniers sont placés dans des boîtes de Pétri contenant de l'eau distillée puis sont mises à l'étuve à 25°C pour une éclosion massive. Les larves (L2) libérées progressivement dans l'eau sont récupérées et comptées quotidiennement à l'aide d'une loupe binoculaire stéréoscopique (×60). Pour les tests *in vivo*, nous avons compté et réparti les larves de *Meloidogyne* en des lots de 100 larves (L2) dans des salières contenant de d'eau distillée. Un total de 5100 larves a été compté.

6. Test *in vivo* de l'efficacité des traitements

Les pots préparés ont reçu chacun les deux doses (D1) et (D2) de chaque traitement. Un total de 51 pots a été préalablement préparé avec leur sol et leurs traitements respectifs à raison de 4 répétitions pour chaque dose, chaque traitement et pour le témoin négatif.

Les pots traités au vermicompost solide sont arrosés immédiatement afin que les molécules actives soient libérées et réparties dans le sol. Le dispositif expérimental a été mené dans la serre à une température moyenne de 28°C. Les plants ont suivi un régime d'irrigation tous les 2 jours. Pour les traitements liquides (thé et jus de vermicompost) ont été apportés 24 heures avant l'infestation et chaque quinze jour durant la période de l'expérimentation. La durée de l'essai est de 45 jours.

7. Paramètres biologiques analysés

A la fin de l'expérimentation (45 jours) les plantes sont dépotées les racines sont lavées délicatement et séché au papier absorbant. Les racines de chaque plant sont examinées sous loupe binoculaire (G×10) pour le dénombrement des galles.

La croissance en longueur de la partie aérienne et est évaluée tous les 15 jours à l'aide d'une règle graduée du collet jusqu'au bourgeon terminal de la bifurcation principale.

La biomasse fraîche de la partie souterraine exprimée en gramme a été effectuée par pesée du système racinaire à l'aide de la balance de précision (PCE-BS 6000).

8. Analyses statistiques des données

Toutes les mesures ont été exprimées par des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V.<15%). La signification des comparaisons des moyennes dans les conditions paramétriques a été confirmée par l'analyse de la variance ANOVA et suivie par le test Tukey. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée, afin d'apercevoir l'assemblage variétale dans les relations entre les traitements apportés et l'expression végétative et la sévérité des *Meloidogyne*. Les analyses suscitées sont réalisées par le logiciel Past ver. 1,37. L'analyse de la variance type GLM a été adoptée pour déterminer les différences significatives ($p \leq 0,05$). L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide du logiciel SYSTAT vers. 12. et les différents groupes homogènes ont été effectués à l'aide de XLSTAT ver.14.

RÉSULTATS

1. Tendance de l'expression végétative et de la sévérité de *Meloidogyne*

La projection de l'expression végétative et de la sévérité de *Meloidogyne* sous l'effet de différents modes d'application des traitements

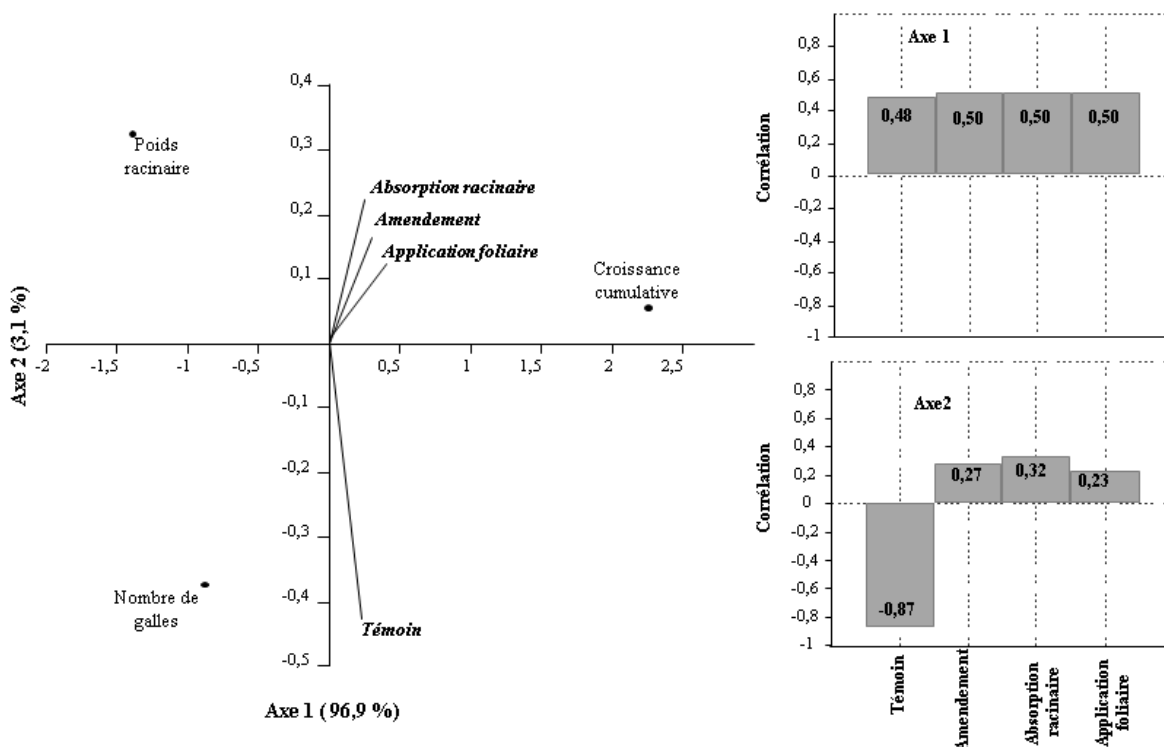


Figure 1 : Projection de l'effet des différents modes d'application de traitement sur les deux axes de l'ACP.

La projection des vecteurs relatifs aux différents modes d'application des traitements sur le premier axe (96,9%) montre l'effet des différents modes sur l'expression végétative des plants de tomate. Les projections et les coefficients de corrélation révèlent la présence d'une corrélation positive entre les paramètres de croissance des plants de tomate et les différents modes d'apport du vermicompost ; avec un effet favorisé de ces derniers (modes de traitement) sur la croissance par rapport au poids racinaire.

En revanche la projection des valeurs relatives au nombre moyen de galles et les coefficients

à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 98% de la variance est exprimée sur les deux axes (Fig. 1).

de corrélation dévoilent une corrélation négative entre le nombre moyen de galles et les modes d'apport du vermicompost, avec un nombre de galles important chez le témoin par comparaison aux plants traités.

2. Effet du mode d'apport du vermicompost sur la sévérité des attaques de *Meloidogyne*

Pour évaluer l'efficacité des différents modes d'application des traitements testés dans le contrôle des *Meloidogyne* nous avons tenu compte du nombre de galles produites par les larves infestantes (L2) sur les racines de tomate var. «*Marmande*».

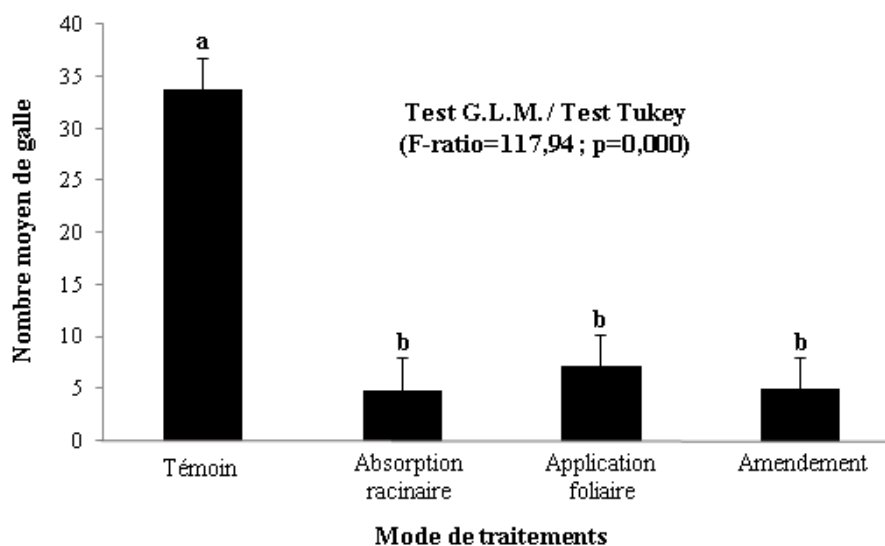


Figure 2 : Effet des modes des traitements sur le nombre moyen de galles.

La figure 2, expose l'effet comparé des différents modes d'apport du vermicompost sur le nombre moyen de galles. Les différents traitements appliqués montrent un effet marqué sur le taux d'infestation des plants de tomate par les larves de *Meloidogyne* en comparaison au témoin. Les trois modes de traitement du vermicompost apportés (absorption racinaire, application foliaire et par amendement) ont contribué considérablement dans la réduction des infestations des racines de tomate par les larves (L2) de *Meloidogyne*. Ces derniers ont provoqué une forte diminution du nombre moyen de galles (groupe homogène b) en comparaison au témoin (groupe homogène a). La comparaison des moyennes des effectifs des galles des différents traitements au vermicompost avec le témoin fait ressortir l'effet individualisé et significatif de ces modes d'apport de biofertilisants sur l'infestation des racines de tomate par les larves de *Meloidogyne*.

Les probabilités obtenues par l'analyse de variance de type GLM ainsi que les moyennes des nombres de galles sur plants de tomate sont

reportés dans le tableau 2. Holistiquement, il en sort que le nombre de galles observé chez les plants traités est beaucoup plus faible que celui des plants témoins ($p < 1\%$). Il varie significativement en fonction des différents types du vermicompost appliqué. En comparant les traitements à base du vermicompost apportés, l'amendement frais est plus actif dans la régulation des infestations de la tomate par les nématodes à galles. Les nombres de galles moyens sont de (4 et 3,5 galles) respectivement aux doses (D1 et D2). Ce traitement est classé dans le groupe homogène (c). Alors que les trois applications (amendement sec, application foliaire et absorption racinaire) ont montré un effet similaire (groupe homogène b).

Quant à l'effet des dilutions, les résultats révèlent que les différentes formes du vermicompost appliquées ont un effet similaire quelques soit la dose testée. A l'exception de la forme solide à l'état sec ou la faible dose était plus active sur les infestations des racines par les *Meloidogyne* ($F\text{-ratio} = 0,83 ; p = 0,015$).

Tableau 2 : Moyennes arithmétique (+ coefficient de variation en %) de nombre moyen de galles

	Témoin	Abs.raci.	App.fol.	Amend. sec	Amend.frais	F-ratio	p
D1	33,75 (0,025)a	5,75 (0,09)b	8,45 (0,01)b	7,25 (0,01)b	4 (0,02) c	135,45	0,000
D2		3,95 (0,01)b	5,87 (0,09)b	5 (0,02) b	3,5 (0,03)c		
F-ratio	-	0,007	0,039	0,83	0,768	-	-
p	-	0,935	0,846	0,015	0,092	-	-

Abs.raci : Absorption racinaire ; App.fol. : Application foliaire ; D1 : Dose et D2 : demi dose

Les résultats d'analyses de la variance type GLM touchant à la variabilité du nombre moyen de galles sous l'effet de différentes doses, modes d'application et types du

vermicompost sont consignés dans la figure 3. Ces résultats, affirment que la dose, les différents modes d'application et le type de vermicompost apporté affectent

significativement le degré d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne*. (F-

ratio=13,75 ; $p=0,001$; F-ratio=117,94 ; $p=0,000$; F-ratio=7,25 ; $p=0,025$, $p<0,05$).

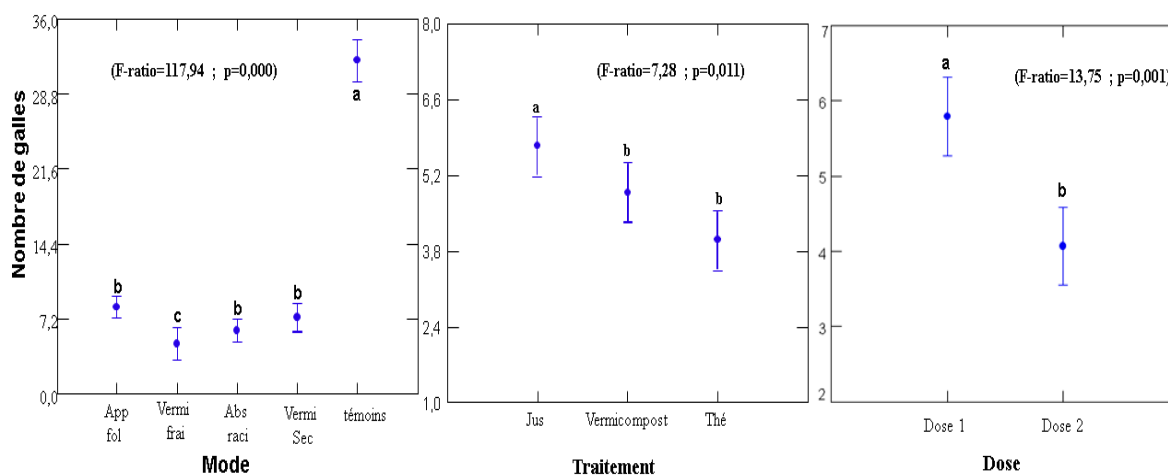


Figure 3 : Effet de la dose, mode d'application et type du vermicompost sur l'infestation des racines

App fol : Application foliaire ; vermi : vermicompost ; Abs. raci : Absorption racinaire

La figure 3 dévoile que la dose ($p=0,01$) et le type de traitement ($p=0,025$) présentent une différence significative alors que le mode d'application ($p=0,000$) affecte d'une manière très hautement significative le nombre de galles présents sur les racines de tomate. En effet, les traitements apportés à base de vermicompost (irrigation, application foliaire, amendement sec ou frais) ont diminué le nombre de galles de *Meloidogyne* par rapport au témoin. Toutefois, l'utilisation vermicompost frais comme apport au sol s'avère plus efficace.

En comparant l'effet du type de traitement l'analyse statistique révèle que le thé de vermicompost a entraîné une réduction importante des infestations des *Meloidogyne* sur les racines, suivi par l'apport de vermicompost.

En ce qui concerne l'effet dose, l'analyse dévoile que les biofertilisants testés sont plus actifs à faible dose (D2). En effet, une diminution du nombre moyen de galles a été enregistrée aux apports à faible dose (D2) en comparaison à la forte dose (la dose D1).

3. Effet des différents types de vermicompost sur l'expression végétative

Les fluctuations des traits de croissance de tomate ont été étudiées sous l'effet des différents types de vermicompost. Nous avons considéré la croissance des parties aérienne et la biomasse des parties souterraine comme paramètres ayant la capacité de dévoiler l'aptitude de vermicompost à stimuler la croissance des plants de tomate.

La figure 4, présente l'effet du mode d'apport des différentes formes de vermicompost sur la croissance cumulative des plants de tomate. Les résultats révèlent que le mode d'apport de vermicompost ne signale pas une différence significative sur la croissance des plants de tomate traités en comparaison au témoin ($p=0,12$; $p>0,05$). Cependant les résultats (Fig. 4), révèlent que la croissance des plants traités par la forme liquide de vermicompost (absorption racinaire et application foliaire) est plus importante que celles des plants témoin. Les apports de vermicompost liquide (absorption racinaire et application foliaire) stimulent mieux la croissance des plants. Alors que le vermicompost solide a agi négativement sur la croissance cumulative de la tomate comparativement au témoin.

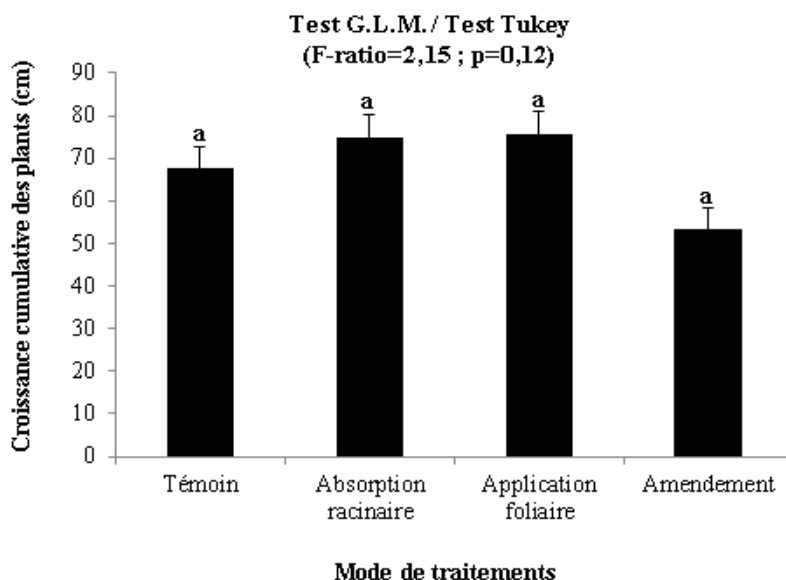


Figure 4 : Effet des modes des traitements sur la croissance des plants de tomate.

Nous avons aussi évalué les variations de la biomasse racinaire des plants de tomate en fonction des différents modes d'apport de vermicompost. Les résultats reportés dans la figure 5, révèlent que le mode d'apport de vermicompost signale un effet significatif sur la biomasse racinaire des plants de tomate traités en comparaison au témoin ($p= 0,009$; $p < 0,05$).

Les mêmes résultats montrent que les fluctuations de la biomasse racinaire sont plus importantes chez les plantes traitées en comparaison au témoin. Cependant le vermicompost apporté par application foliaire et absorption racinaire (groupe homogène a) manifeste un effet plus favorable sur la biomasse racinaire que le vermicompost appliqué en amendement (groupe homogène ab).

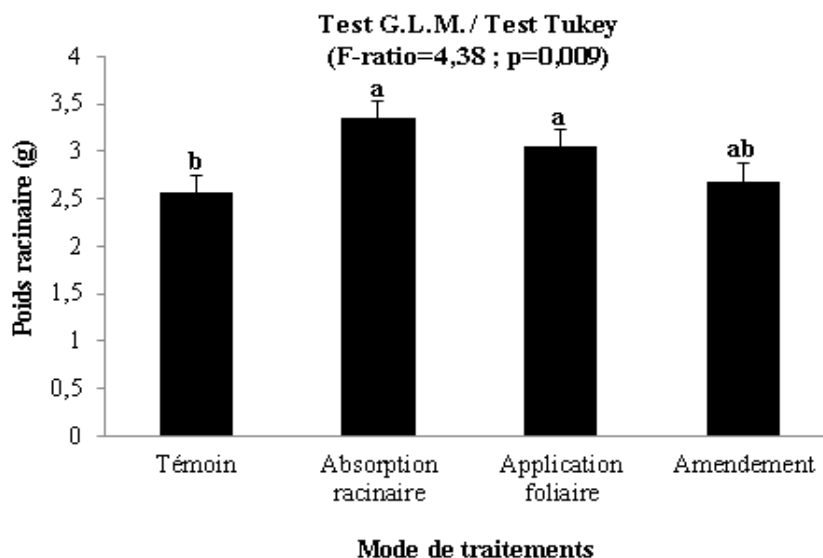


Figure 5 : Effet des modes des traitements sur le poids racinaire des plants de tomate.

Les probabilités obtenues par l'analyse de variance de type GLM ainsi que la croissance cumulatives et la biomasse racinaire des plants de tomate sont reportés dans le tableau 3. Il apparait d'après ces résultats que le type de traitement (thé, jus, vermicompost sec et frais) affecte d'une manière significative l'expression végétative ($p=0,000$; $p<0,001$). Par ailleurs, le thé de vermicompost augmente efficacement la croissance cumulative (groupe homogène a) que le jus de vermicompost (groupe homogène b) et le vermicompost solide sec et frais (groupe homogène c).

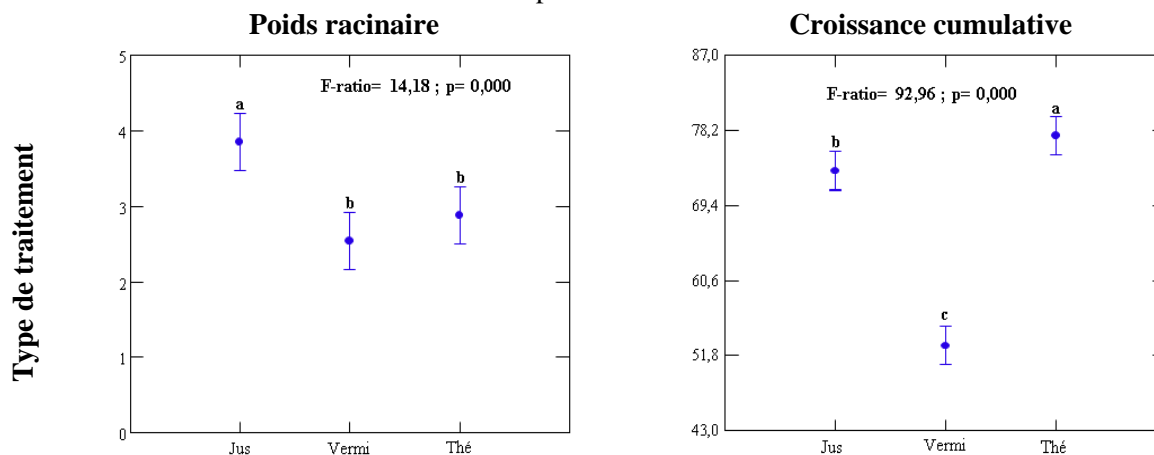
Cependant, le jus de vermicompost en application foliaire ou racinaire (groupe homogène a) a agit positivement sur croissance racinaire et ont augmenté leur biomasse. Pour le reste des biofertilisants (jus et amendements solide vermicompost) leur effet est comparable au témoin non traité (groupe homogène b) En ce qui concerne l'effet dose, ceux des biofertilisants jus et thé de vermicompost n'affectent pas l'expression végétative des plants de tomate d'une manière significative ($p>5\%$). Par contre, les amendements au vermicompost sec et frais ont agi à faible dose ($p<5\%$), mais leur action reste faible par rapport au témoin.

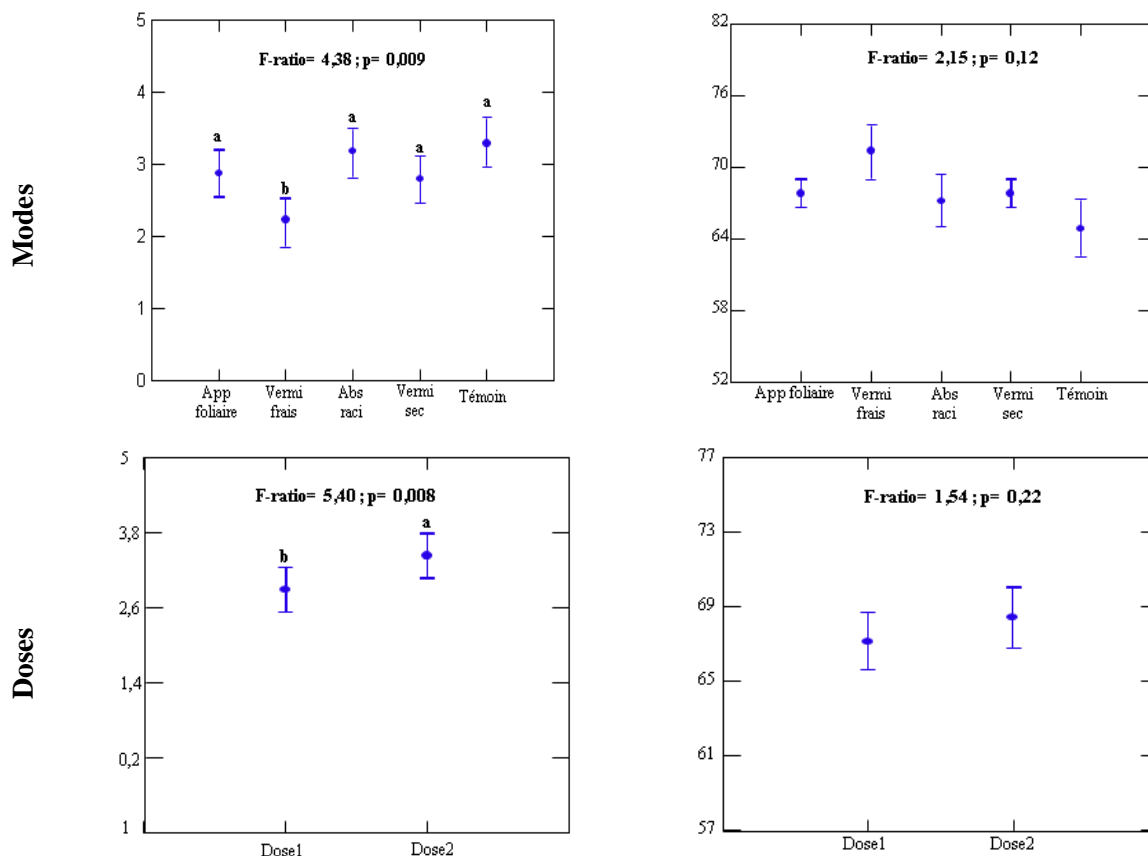
Tableau 3 : Moyennes arithmétique (+ coefficient de variation en %) des paramètres de croissance des plants de tomate

	TEM	Absorption racinaire		Application foliaire		Amendement		F	P			
		Thé	Jus	Thé	Jus	Sec	Frais					
Croissance cumulative	D1	67(0,05)b	77(0,03)a	71,33(0,02)b	76,66(0,01)a	74(0,01)b	53,16(0,009)c	51,99(0,03) c	85,48	0,000		
	D2		80,66(0,02)a	70,66(0,03)b	75,33(0,007)a	76,66(0,03)b	49,83(0,02)c	58,16(0,03)c				
	F	-	1,86	0,06	0,3	0,8	11,24	44,89			-	-
	P	-	0,22	0,80	0,60	0,40	0,01	0,001			-	-
Poids racinaire	D1	2,66(0,13)b	2,76(0,12)b	3,6(0,13) a	2,56(0,04)b	3,46(0,13) a	2,56(0,05)b	1,66(0,08)b	20,56	0,000		
	D2		2,96(0,06)b	4,13(0,03)a	2,6(0,01)b	3,6(0,11) a	3,4(0,10)b	3,16(0,06)b				
	F	-	0,62	1,03	0,79	0,043	4,58	35,83			-	-
	P	-	0,26	0,34	0,77	0,84	0,07	0,001			-	-

Tem : témoin; D1 : Dose et D2 : demi dose

Tableau 4. Effet de la dose, mode d'application et type du vermicompost sur l'expression végétative des plants de tomate





App fol : application foliaire ; abs raci : absorption racinaire ; vermi : vermicompost.

DISCUSSION

1. Effet des traitements de vermicompost sur le nombre de galles

Les résultats obtenus ont montré un effet satisfaisant de tous les traitements dans la régulation des infestations des nématodes à galles en comparaison avec le témoin (Fig. 1). Cet effet restrictif varie en fonction du type et le mode d'application du vermicompost et de la dose (Fig. 2). Les deux doses de la forme fraîche de vermicompost et le thé de vermicompost appliqué par absorption racinaire s'avèrent les plus efficaces. La réduction des taux d'infestation des racines de tomate par les larves L2 de *Meloidogyne* en relation avec l'utilisation des différents apports de vermicompost font ressortir l'effet nématocide des biofertilisants testés. De nombreux auteurs ont confirmé la capacité du vermicompost dans la régulation et la réduction de plusieurs ravageurs. Selon Ducasse [20], les teneurs élevées en microorganismes de vermicompost protègent les plantes en concurrençant les organismes pathogènes sur le plan des ressources tout en bloquant également leur accès aux racines par une occupation des sites disponibles.

Cette hypothèse a été expérimentée par Edwards et Arancon [20], qui ont testé l'apport du vermicompost commercial sur des végétaux malades. Les résultats ont montré que les infections de pythium (concombre), de rhizoctone (radis de serre), de verticilliose (fraise), d'excariose et d'oïdium (vigne), ont été fortement réduites. Les applications du vermicompost ont diminué de manière importante l'incidence de ces diverses maladies. Par ailleurs, l'utilisation des biofertilisants à base de vermicompost, selon Chaichi et Djazouli [21], conduit à une perturbation de la fécondité et la disponibilité des populations d'*Aphis fabae*; et que ce dernier est considéré comme étant un stimulateur des défenses naturelles des plants [18]. Les travaux sur l'effet du vermicompost sur les *Meloidogyne* sont nombreux [22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29 et 30], bien que les mécanismes responsables de ces changements ne sont encore que spéculatifs. En référant à ces résultats, il s'avère probablement que le contrôle des infestations des nématodes à galles par utilisation du vermicompost sous ses différentes formes, doses et modes d'apport a stimulé les défenses naturelles des plants de tomate qui à leur tour ont pu synthétiser des molécules ayant agi sur le pouvoir biotique de

ces phytoparasites. Cependant, Shova *et al.* [29], ont affirmé que les mécanismes d'action par lequel le thé de vermicompost pourrait supprimer la pénétration des larves de *M. incognita* dans les racines et l'éclosion des œufs de cette espèce. Il pourrait être dû à l'induction de la résistance de la plante hôte par des *rhizobactéries* bénéfiques, ou la sécrétion d'enzymes hydrolytiques telles que la chitinase qui provoque l'hydrolyse des œufs de nématodes ; ou une protéase qui hydrolyse les protéines protégeant la couche de chitine de la coquille d'œuf de nématode, exposant ainsi la couche de chitine à la chitinase. Le vermicompost améliore les propriétés du sol et augmente le contenu phénolique des racines des plantes [30].

D'autre part dans notre étude nous avons utilisé le vermicompost en amendement, de cet effet on peut lier le contrôle des infestations par des larves de *Meloidogyne* à la présence des molécules toxiques à effet nématicide libérées par les amendements biologiques dans le sol. Cette hypothèse rejoint les travaux de Serfoji *et al.* [26], qui signalent que les nématodes peuvent être contrôlés par la libération de substances toxiques telles que l'hydrogène, le sulfure, d'ammoniac et les nitrites pendant la décomposition des amendements. Par ailleurs, plusieurs rapports ont documenté des activités bactériennes plus diverses et plus élevées dans les sols traités au thé de vermicompost que ceux non traités. La puissance du vermicompost dans le contrôle des nématodes phytoparasites pourrait être attribuée à sa grande capacité à activer les communautés microbiennes du sol qui ont un effet antagoniste envers les nématodes phytoparasites [31 et 32].

En plus de la réduction de nombre de galles enregistré sur les racines traitées, nous avons observé la présence de nombreuses galles vides. Ces dernières étaient occupées par des mâles, ces observations seraient probablement liées au pouvoir du vermicompost à masculiniser les larves infestantes L2 de *Meloidogyne*. Les travaux sur l'expression des sexes chez les nématodes à galles sont peu documentés, cependant de nombreux auteurs attribuent l'apparition des mâles et la dynamique des populations chez les *Meloidogyne* aux conditions défavorables du milieu [33 ; 34 et 35]. Prax [36], affirme que les mâles de *Meloidogyne* étaient peu abondants dans des racines de variété sensible tandis que dans celles de variétés plus

résistantes, leurs nombre augmentent par rapport à celui des femelles.

En se référant à ces résultats on suppose que le vermicompost a contribué à une induction de résistance des plantes hôte par les activités bactériennes, ce qui a conduit à une masculinisation des larves de *Meloidogyne*.

2. Effet des traitements de vermicompost sur l'expression végétative

Nos résultats relatifs à l'effet des différents traitements à base de vermicompost sur l'expression végétative des plants de tomate traités, ont révélé des variations différentes et qui se rapproche dans certains cas du témoin (tableau 3). Le Jus du vermicompost apporté par absorption racinaire et application foliaire a augmenté la biomasse racinaire. Alors que le thé de vermicompost a stimulé efficacement la croissance des plants de tomate. Ce résultat rejoint plusieurs travaux qui ont signalé l'effet du vermicompost dans la stimulation de croissance des plants [27 ; 17 ; 30 ; 26 ; 45 ; 25 et 37]. Ces auteurs ont attribué cet effet à la richesse du vermicompost en divers éléments minéraux tel que d'azote, le potassium et le phosphore. Les biofertilisants à base de vermicompost sont riches en azote et en hormones, ce qui leurs permis de stimuler la multiplication du parenchyme et qui conduit à une augmentation de la phytomasse des plantes [15]. Par ailleurs, la stimulation de la croissance des plantes, peut résulter de molécules bioactives hydrosolubles comme les phytohormones, les acides humiques et fulviques, minéraux, acides aminés, ou métabolites microbiens présents dans le vermicompost [16]. En outre, l'augmentation de la croissance des plants de tomate sous l'effet du vermicompost serait en relation avec son riche statut nutritionnel et la disponibilité immédiate des nutriments [36], la présence d'acides humiques [38 ; 39 ; 40 ; 41 ; 42 ; 43 et 44], et de substances régulatrices de la croissance tels que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines d'origine microbienne [40 ; 39 ; 44 et 42]. Ces divers composés font du vermicompost un biofertilisant qui augmente aussi bien la germination, la croissance, la floraison et la fructification de nombreuses cultures.

Les plants traités au vermicompost brute (frais et sec) ont enregistré une faible croissance, nous estimons que ces effets se distinguent par rapport aux composants de ce biofertilisant.

Le vermicompost est très riche en chitine et en enzymes digestives telles que l'amylase, la cellulase, la protéase, la lipase, la chitinase et l'uréase [45] et en composés nématocides tels que le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, les nitrates et les acides organiques libérés lors du vermicompostage, ces constituants ont des effets néfastes directs sur les nématodes [46 et 47]. En revanche, le faible taux de croissance est probablement associé à une mauvaise absorption des éléments minéraux disponibles (NPK). Il est probable que notre sol présente une carence de certains éléments indispensables à l'absorption racinaire comme le fer, qui joue un rôle important dans l'amélioration de l'absorption racinaire et la composition de nombreuses enzymes, intervenant à la respiration, la synthèse de la chlorophylle et à la fixation d'azote de l'air. Selon Ferry et Ferry [48], dans l'emploi des engrais, il existe la notion de règle du minimum. Il ne suffit pas de fournir au sol de grosses quantités d'un élément quelconque s'il n'y'a pas les autres éléments en quantité suffisantes. Le rendement est proportionnel à la quantité de l'élément qui se trouve en moindre proportion dans le sol.

CONCLUSION

Cette étude a démontré l'efficacité *in vivo* des différents biofertilisants à base du vermicompost dans le contrôle des *Meloidogyne* dans le cadre d'une agriculture intelligente, à travers la valorisation des déchets et la rationalisation de la biomasse. Ces biofertilisants peuvent contribuer à réduire la fréquence d'utilisation des nématocides de synthèse potentiellement plus toxiques et les intégrer dans des moyens de luttés respectueuses de l'environnement. Des recherches restent à développer principalement sur des formulations et des méthodes d'application pour permettre de s'ajuster aux normes d'utilisation des produits phytosanitaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **FAO. (2017)**. Données de la base statistique de l'organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture sur le site <http://www.fao.org/faostat/fr/>
- [2]. **Hammache M. (2010)**. Influence de quelques types de sols algériens sur le développement des nématodes a galles; *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* et *M. arenaria* (Tylenchida, Meloidogynidae). *Lebanese Science Journal*.11 (2) : 47-61.
- [3]. **Decraemer W. and Hunt D.J. (2006)**. Structure and classification. In : Plant Nematology. Perry, R.N. & Moens. M. (eds) : 3-32. Wallingford. Oxfordshire. CAB International
- [4]. **Jones J.T., Haegeman A., Danchin E.G.J., Gaur H.S., Helder J., Jones M.G.K., Kikuchi T., Manzanilla-López R., Palomares-Rius J.E., Wesemael W.M.L. and Perry R.N. (2013)**. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathol* 14 : 946-961.
- [5]. **Cayrol J.C., Djian-Caporalino C. et Panchaud-Mattei E. (2017)**. La lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites. *Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA*. N° 17. 33 p.
- [6]. **Oka Y. (2001)**. Nematicidal activity of essential oil components against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Nematology*, 3: 159-164.
- [7]. **Takasugi M., Yachida Y., Anetal M., Masamune T. and Kegasawa K. (1975)**. Identification of asparagusic acid as a nematocide occurring naturally in the root of *Asparagus*. *Chemistry Letters*, 4(1):43-44.
- [8]. **Jasy T.K. and Koshy P.K. (1992)**. Effect of certain leaf extracts (*Crotalaria juncea*, *Ricinus communis*) and leaves of *Glycyrida maculate* (H.B. et K.) Steud, *Ricinus communis*, as green manure on *Radopholus similis*. *Indian Journal of Nematology*, 22:117-121.
- [9]. **Al-Banna L., Darwish R.M. and Aburjai T. (2003)**. Effect of plant extracts and essential oils on root-knot nematode. *Phytopathologia Mediterranea*, 42: 123-128.
- [9]. **Pajot E. (2010)**. Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité. XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar.
- [10]. **Amaral D.R., Da Rocha Oliveira F.E., Oliveira D.F. and Campos V.P. (2003)**. Purification of two substances from bulbs of onion (*Allium cepa*L.) with nematicidal activity against *Meloidogyne exigua* Goeldi. *Nematolog*, 5: 859-864.
- [11]. **Jourand P., Rapior S., Fargette M. and Mateille T. (2004)**. Nematostatic effects of a leaf extract from *Crotalaria virgulata* subsp. *grantiana* on *Meloidogyne incognita* and its use to protect tomato roots. *Nematology*, 6: 79-84.
- [12]. **Kerkeni A., Horrigue-Raouani N. et Ben Khedher M. (2007)**. Effet suppressif de cinq extraits de compost vis-à-vis du nématode a galles *Meloidogyne incognita*, *Nematol. medit.*, 35: 15-21.

- [13]. Arancon N.Q., Edwards C.A. and Lee S. (2004). Management of plant parasitic nematode populations by vermicompost. Proceeding Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases. 8 E 716.
- [14]. Chaoui H., Edwards C.A., Brickner M., Lee S. and Arancon N. (2002). Suppression of the plant diseases, *Pythium* (damping off), *Rhizoctonia* (root rot) and *Verticillium* (wilt) by vermicomposts. Proceedings of Brighton Crop Protection Conference. Pests and Diseases. vol. II, 8B-3.pp: 711–716.
- [15]. Guermache L., Kobbi S., Aroun M.E.F., Merah O. et Djazouli Z. (2018). Évaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les traits morpho-physiologique et biochimique du haricot vert. *Revue Agrobiologia*, 8(2):1072-1084.
- [16]. Chaichi W., Djazouli Z., Zebib B., and Merah O. (2018). Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield. *Compost Science & Utilization*. UCSU#1528908. VOL 0.ISS 0
- [17]. Ndegwa PM. and Thompson SA. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Biores. Technol.*, 76: 107–112.
- [18]. Chaichi W. Djazouli Z. Djemai I. Abdelkader S. Ribera I. et Nancé J. (2017). Stimulation des défenses naturelles par l'application d'un Lombricompost. Effet sur les paramètres populationnels d'*Aphis fabae* Scop. (Homoptera: Aphididae) et la qualité Phytochimique de la fève. *Lebanese Science Journal*, 18(1): 81-97.
- [19]. Timchenko L.S. and Maiko T.K. (1989). Nematicidal properties of plants antagonists of nematodes of decorative plants. *Byulleten Vsesoyuznogo Instituta Gel mintologiiim. K. I. Skryabina*, 50: 81–84.
- [20]. Ducasse V. (2015). La valorisation des déchets organiques de la métropole de Lyon par la technique du lombricompostage. Mém. License. Univ. Lion. France. 58 p.
- [21]. Chaichi W. et Djazouli Z. (2017). Impact du thé de vermicompost sur la qualité phytochimique de la fève et sur la réduction des populations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*. *Revue Agrobiologia*, 7(1): 247-262.
- [22]. Swathi P., Rao KT. et Rao PA. (1998). Études sur le contrôle de *Meloidogyne incognita*, nématode à nœuds racinaires, dans la mini-série sur le tabac. *Tobacco Res.*, 1:26-30
- [23]. Arancon N.Q., Edwards, C.A. and Lee S. (2002). Management of plant parasitic nematode population by use of vermicomposts. Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases 2.705–710.
- [24]. Morra L., Palumbo AD., Bilotto M., Oviengo P. et Ptcascia S. (1998). Solarisation des sols: les greffes de fertilisation organique contribuent à la construction d'un système de production intégré dans une séquence tomate-courgette. *Culture-Protte*. 27 : 63–70.
- [25]. Norman Q. A., Galvis P., Edwards C. and Yardim E. (2003). The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiologia*, 47:736–740.
- [26]. Serfoji P., Rajeshkumar S. and 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(1): 37-45.
- [27]. Ramesh Kumar K., Nattuthurai N. and Gurusamy R. (2011). Influence of vermicompost in root-knot nematode management as a function of soil fortification. *Elixir Agriculture*, 38 : 4210-4213.
- [28]. Devi TH.S. and Debanand D. (2016). Effect of organic amendments on root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 22(2): 176-181.
- [29]. Shova M., Koon-H. W., Brent S., and Miaoying T. (2017). Suppression of Root-Knot Nematode by Vermicompost Tea Prepared From Different Curing Ages of Vermicompost. *Plant Disease*, 101:734-737.
- [30]. Awad-Allah S. F. A. and Khalil M. S. (2019). Effects of vermicompost, vermicompost tea and a bacterial bioagent against *Meloidogyne incognita* on banana in Egypt. *Pakistan Journal of Nematology*, 37 (1):25-33
- [31]. Krause S.M., Madden L.V. and Hoitink H.A.J. (2001). Effect of potting mix microbial carrying capacity on biological control of *Rhizoctonia* damping-off of radish and *Rhizoctonia* crown and root rot of poinsettia. *Phytopathology*, 91.1116-1123. DOI: 10.1094/PHYTO.2001.91.11.1116.
- [32]. Scheuerell S.J., Sullivan D.M. and Mahaffee W.F. (2005). Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium multimum*, *P. irregulare*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology*, 95: 306-315.
- [33]. Triantaphyllou A.C. (1969). Gametogenesis and the chromosomes of two rootknot nematodes, *Meloidogyne graminicola* and *Meloidogyne naasi*. *J. Nematol.*, 1 : 62-71.
- [34]. De Guiran G. et Netscher C. (1970). Les nématodes du genre *Meloidogyne*, parasites de cultures tropicales. *COB.ORSTOM. sér. Biol.* N°11.

- [35]. **Triantaphyllou A.C. (1973)**. Environmental sex differentiation of nematodes in relation to pest management. *Annus Rev. Phytopathol*, 11 : 441-462.
- [36]. **Pratx L. (2017)**. Identification de marques épigénétiques chez le nématode à galles parasite de plantes *Meloidogyne incognita*. Sciences agricoles. Université Côte d'Azur.Français :NNT : 2017AZUR4026.
- [37]. **Jayakumar P. and Natarajan S. (2012)**. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Pathma and Sakthivel SpringerPlus*.1:26.
- [38]. **Atiyeh RM., Dominguez J., Subler S. et Edwards CA. (2000)**. Changements dans les propriétés biochimiques du fumier de vache lors du traitement par les vers de terre (*Eisenia andrei*, Bouché) et effets sur la croissance des plantules. *Pedobiologia*, 44 : 709-724.
- [39]. **Grappelli A., Galli E. et Tomati U. (1987)**. Effet de ver de terre sur la fructification d'*Agaricus bisporus*. *Agrochimica*, 2: 457-462.
- [40]. **Krishamoorthy RV. Et Vajranabhiiah SN. (1986)**. Activité biologique des moulages de vers de terre: évaluation des niveaux de promoteur de croissance des plantes dans les moulages. *Proc Indian Acad. Sci.*, 95 : 341-35.
- [41]. **Masciandaro G., Ceccanti B. et Gracia C. (1997)**. Gestion agro-écologique des sols: traitements de fertigation et de vermicompost. *Bioresour Technol.*, 59 : 199-206.
- [42]. **Muscolo A., Bovalo F., Gionfriddo F. et Nardi S. (1999)**. La matière humique de ver de terre produit un effet semblable à celui de l'auxine sur la croissance cellulaire et le métabolisme du nitrate de *Daucus carota*. *Sol Biol. Biochem.*, 31 : 1303-1311.
- [43]. **Senesi N., Saiz-Jiménez C. et Miano TM. (1992)**. Caractérisation spectroscopique de complexes analogues à des acides métalliques-humiques de déchets organiques compostés par des vers de terre. *Sci. Total Environ.*, 117-118 : 111-120.
- [44]. **Tomati U., Grappelli A., et Galli E. (1987)**. La présence de régulateurs de croissance dans les déchets de vers de terre. Dans: Bonvicini Paglioi AM, Omodeo P, éditeurs. Sur les vers de terre. Actes du colloque international sur les vers de terre. Colloques et monographies sélectionnés. Union Zoologica Italian. 2. Mucchi: Modena. pp. 423-435.
- [45]. **Munnoli PM., Da Silva JAT. and Saroj B. (2010)**. Dynamics of the soil-earthworm-plant relationship: Review. *Dynamic soil. Dynamic plant*, 4(Spécial Issue 1) : 1-21.
- [46]. **Rodriguez-Kabana R. (1986)**. Amendements organiques et inorganiques au sol en tant que supprimeurs de nématodes. *J. Nematol.*, 18 : 129-135.
- [47]. **Thoden TC., Korthals GW. et Termorshuizen (2011)**. Amendements organiques et leurs influences sur les nématodes phytopharmaceutiques et les nématodes vivants: Une méthode prometteuse pour la gestion des nématodes. *Nématologie*, 13 : 133-153.
- [48]. **Ferry J. et Ferry J. (1965)**. *L'agriculture moderne*. 3^{ème} Ed. Hatier. Paris. France. 288p.