

L'efficacité des dérivés de graines de neem contre les nématodes à galles en cultures maraîchères diffère en fonction du type de dérivé.

A. Affokpon²⁰, C. B. S. Dan²¹, M. E. Houédjissi²², B. A. Hèkpazo³, C. Tossou²⁰

Résumé

Les nématodes à galles, *Meloidogyne* spp., constituent une contrainte majeure à la production des cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest. Deux types de dérivés de graines de neem, poudre et tourteau, ont été évalués pour leur efficacité contre ces nématodes en milieu naturel. L'étude a été conduite sur la tomate et la grande morelle, deux légumes fruit et feuille largement cultivés au Sud Bénin. L'application de la poudre et du tourteau de graines de neem aux doses respectives de 0,3 et 0,5 kg/m² avant le repiquage des plantules, a réduit significativement la densité des larves de *Meloidogyne* spp. La poudre de graines de neem a plus réduit la densité des nématodes à galles avec une diminution des taux de reproduction respectifs de 51 et 81% dans les parcelles de tomate et de grande morelle, en comparaison aux parcelles non traitées. La réduction de la formation des galles racinaires a été aussi constamment plus élevée dans les parcelles traitées à la poudre de graines que dans celles traitées au tourteau ou non traitées. Le tourteau et la poudre de graines ont tous deux amélioré les rendements de la tomate et de la grande morelle de 26 et 33% respectivement. Le rendement de la grande morelle n'a toutefois significativement augmenté que dans les parcelles traitées à la poudre de graines de neem, avec un accroissement de 12% par rapport au témoin. La présente étude démontre la supériorité de la poudre de graines de neem sur le tourteau, en terme d'efficacité contre les nématodes à galles. Les résultats sont encourageants, et les effets à long terme de la poudre de graines de neem pourraient être étudiés pour son utilisation dans les systèmes de production intensifs des cultures maraîchères dans les zones urbaines et péri-urbaines.

Mots clés: *Azadirachta indica*, Bénin, *Meloidogyne* spp., production durable, *Solanum macrocarpon*, tomate.

The effectiveness of neem seed derivatives against root-knot nematodes on vegetable crops differing in type of derivative

Abstract

Root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., are a key constraint for vegetable production in West Africa. Two types of neem seed derivatives, seed powder and cake, were evaluated for their efficacy against these nematodes, under field conditions. The study was carried out on two most cultivated fruit and leafy vegetables in Benin, tomato and African eggplant. Pre-planting applications of neem seed powder and cake at respective doses of 0.3 and 0.5 kg/m² reduced significantly *Meloidogyne* juvenile densities. Seed powder showed a higher suppressive effect on *Meloidogyne* spp., resulting in reduction of nematode reproductive rates by 51 and 81% on tomato and eggplant, respectively, compared to the untreated control. Suppression of root galling was also consistently higher in plots amended with seed powder than cake amended and control plots. Both cake and seed powder increased significantly tomato yield by 26 and 33%, respectively. Eggplant yield was, however, improved significantly only in plots amended with seed powder, with an increase of 12% over the control. This study demonstrates the superiority of nematode control potential of neem seed powder over neem cake. The results are highly encouraging,

²⁰ Dr MSc. Antoine AFFOKPON, Centre de Recherches Agricoles Sud-Bénin, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 03 Attogon, Tél. : (+229) 95 42 50 35 / 97 12 44 08, E-mail: affokpon_antoine@yahoo.fr, République du Bénin

Colette TOSSOU, Centre de Recherches Agricoles Sud-Bénin, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 03 Attogon, Tél. : (+229) 67 14 22 13 / 98 13 49 29, E-mail: coltossou@yahoo.fr, République du Bénin

²¹ Dr Céline B. S. DAN, Département de Génie de l'Environnement (G.En), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou 01. E-mail: celinedanbfr@yahoo.fr, République du Bénin

²² Magloire E. HOUEDJISSI, Centre Communal de Promotion de Agricole de Zogbodomey, Centre Régional de Promotion Agricole Zou-Collines, BP 29 Bohicon, Tél.: (+229) 95 66 39 09 / 66 14 24 02, République du Bénin

Brice A. HEKPZO, Centre Communal de Promotion de Agricole de Ouessè, Centre Régional de Promotion Agricole Zou-Collines, BP 22 Ouessè, Tél.: (+229) 95 50 80 47 / 97 79 35 96, E-mail: bhekpazo@gmail.com, République du Bénin

and the long-duration effects of the seed powder could be further investigated for its use in urban and peri-urban intensive vegetable production systems.

Key words: *Azadirachta indica*, Benin, *Meloidogyne* spp., sustainable production, *Solanum macrocarpon*, tomato.

INTRODUCTION

Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) constituent le groupe le plus économiquement important des nématodes parasites des cultures maraîchères. Ils occasionnent d'importantes pertes de rendement et affectent la qualité des légumes (Affokpon, 2011). En cas d'invasion d'un site, ces nématodes sont particulièrement difficiles à éliminer du fait de la grande diversité de leurs hôtes, de leur cycle de reproduction trop court, de leur capacité de reproduction très élevée et de leur nature endoparasitique (Trudgill et Blok, 2001; Manzanilla-Lopez *et al.*, 2004). De ce fait, la production des cultures maraîchères est presque impossible surtout dans les régions tropicales et subtropicales sans un bon contrôle des nématodes à galles (Sikora et Fernández, 2005).

Une enquête diagnostique sur les problèmes phytosanitaires dans les zones maraîchères au Sud-Bénin a révélé la forte présence des nématodes à galles dans tous les sites maraîchers enquêtés (Sikirou *et al.*, 2002). Par ailleurs, ces nématodes se révèlent comme étant les plus abondants phytoparasites des sols maraîchers, infestant les racines de diverses cultures (James *et al.*, 2006; Baimey *et al.*, 2009).

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et la grande morelle africaine (*Solanum macrocarpon* L.), deux importants légumes au Bénin, sont d'excellentes plantes hôtes des nématodes à galles. Afin de réduire les dégâts de ces nématodes, les maraîchers, particulièrement ceux pratiquant un système production intensif, font recours à la lutte chimique (James *et al.*, 2010). Les principaux nématicides les plus utilisés en Afrique de l'Ouest sont le FURADAN® (a.i. carbofuran: Carbamate), le NEMACUR® (a.i. fenamiphos: Organophosphoré) et le RUGBY 10® (a.i. cadusafos: Organophosphoré) (Atcha-Ahowé *et al.*, 2009; James *et al.*, 2010). FURADAN 5G®, le nématicide le plus utilisé au Bénin, appartient à la catégorie des pesticides de la Class 1b (hautement dangereux) de la classification de l'Organisation Mondiale de la Santé (Rosendhal *et al.*, 2008).

Face aux risques néfastes de l'utilisation intensive des nématicides de synthèse sur la qualité des cultures maraîchères dont certaines sont consommées crues (cas de la carotte et de la laitue), le contrôle des nématodes à galles devrait constituer une priorité, non seulement en terme d'amélioration de la productivité de ces cultures, mais aussi et surtout en terme d'amélioration de la qualité des produits de récolte et l'environnement de production (Affokpon, 2011). La recherche d'alternatives plus saines pour la protection des cultures maraîchères contre les nématodes à galles constitue dès lors une préoccupation majeure. Les extraits botaniques à effet nématicide constituent l'une des potentielles alternatives de lutte durable contre les nématodes à galles (Gahukar, 2012). Ces dernières décades, de nombreux travaux de recherche sont orientés vers l'utilisation des dérivés de neem (*Azadirachta indica*) dans les stratégies de gestion intégrée des nuisibles des cultures. En effet, les extraits de neem sont considérés comme des biopesticides à large spectre d'action contre les ravageurs et pathogènes des cultures (Akhtar, 2000; Ermel *et al.*, 2002); rapidement biodégradable et à faible risque de toxicité pour les mammifères et organismes bénéfiques (Ruch *et al.*, 1997; Schmutterer 1997; Aliakbarpour *et al.*, 2011). La présente étude a pour objectif d'évaluer d'une part, l'efficacité des dérivés de graines de neem dans la protection des cultures maraîchères contre les nématodes à galles au champ et d'autre part, l'effet de l'utilisation de ces dérivés sur le rendement des cultures.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

L'étude a été conduite en 2006 puis répétée en 2008 sur un site du Centre de Recherches Agricoles Sud-Niaouli (CRA-Sud) localisé dans ledit centre. Le site est situé dans la zone soudano-guinéenne à la longitude 002°08'13E, à la latitude 06°44'36N et à une altitude de 105 m. L'essai a été conduit sur un sol ferrallitique (matière organique: 1,34%, C/N: 10,7, pH: 6). La zone bénéficie d'un climat sub-équatorial guinéen caractérisé par deux saisons pluvieuses de mi-mars à mi-juillet et mi-septembre à mi-novembre, alternées par deux saisons sèches.

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cet essai est composé de deux types de cultures maraîchères: un légume fruit et un légume feuille. Le légume fruit est la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., variété locale Tounvi) et le légume feuille est la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L., variété locale). Des jeunes plantules vigoureuses de quatre semaines d'âge ont été utilisées comme matériel de plantation. Pour les obtenir, une pépinière des deux cultures a été installée séparément dans des bacs confectionnés à cet effet et sur un substrat composé de sol stérilisé et de fientes de volailles dans les proportions 2/3 : 1/3.

Dérivés de graines de neem

Les produits testés dans cette étude pour le contrôle des nématodes à galles sont la poudre et le tourteau de graines de neem. Ses dérivés de neem ont été produits à l'usine d'extraction d'huile de Soyo dans la Commune d'Allada. Les graines de neem sèches sont collectées sous des arbres âgés d'une trentaine d'années dans l'Arrondissement de Saclo (Commune de Bohicon), Bénin. Ces graines ont un taux d'humidité de 10% et une teneur en huile d'environ 18%.

Dispositif expérimental et conduite de l'expérimentation

L'essai comporte six traitements dont deux témoins: (1) poudre de graines de neem appliquée à la dose de 300 g/m² + tomate, (2) poudre de graines de neem appliquée à la dose de 300 g/m² + grande morelle, (3) tourteau de graines de neem appliqué à la dose de 500 g/m² + tomate, (4) tourteau de graines de neem appliqué à la dose de 500 g/m² + grande morelle, (5) tomate sans application de dérivé de graines de neem, et (6) grande morelle sans application de dérivé de graines de neem. Les cultures sans apport de dérivés de graines de neem constituent les traitements témoins. La gestion des parcelles des traitements témoins a été similaire à celle des autres traitements. Les doses utilisées ont été choisies à partir des résultats des travaux antérieurs (Musabyimana et Saxena, 1999; Fanou *et al.*, 2005).

L'essai a été installé suivant un dispositif de blocs aléatoires complets à quatre répétitions, comportant chacun six parcelles élémentaires ou unités expérimentales. Chaque parcelle élémentaire est composée de quatre lignes de 5 m. La distance entre deux parcelles consécutives était de 1 m. Le tourteau et la poudre de graines de neem ont été appliqués manuellement à la volée aux doses indiquées et respectivement à trois et huit jours avant le repiquage des plants puis enfouis à la houe à la profondeur de 20 cm. Les parcelles ont été quotidiennement arrosées pour permettre aux dérivés de graines de neem d'amorcer leur décomposition avant le repiquage des plantules. Les plantules ont été repiquées à des écartements de 0,80 m x 0,50 m pour la tomate et 0,40 m x 0,40 m pour la grande morelle. L'essai a été répété une fois.

Deux types d'engrais ont été utilisés durant l'essai à savoir la fiente de volailles et les engrais minéraux, conformément à la pratique paysanne (Assogba Komlan, 2007). Une semaine après repiquage, la fiente de volailles a été appliquée sur toutes les parcelles à la dose de 20 t/ha. Ensuite, deux semaines après repiquage, l'engrais NPK (14-23-14) a été apporté à toutes les parcelles à la dose de 200 kg/ha. Au début de la floraison, les parcelles de tomate ont été fumées avec 200 kg/ha de NPK, 100 kg/ha d'urée et 100 kg/ha de K₂SO₄ alors que celles de la grande morelle ont été traitées avec 200 kg/ha de NPK et 100 kg/ha d'urée. Au début de la fructification, 100 kg/ha d'urée et 100 kg/ha de K₂SO₄ ont été appliqués aux parcelles de tomate et 100 kg/ha d'urée à celles de la grande morelle.

La protection des cultures contre les insectes nuisibles et les maladies a été assurée par l'extrait aqueux de feuilles d'hypit (*Hyptis suaveolens*) à la concentration de 40%. Le traitement à l'extrait aqueux des plants a été fait sur toutes les parcelles à partir de la troisième semaine après repiquage des plantules jusqu'à deux semaines avant la première récolte, avec une fréquence d'application de cinq jours.

Estimation de la densité des nématodes et la sévérité des galles

Avant l'application des dérivés de neem, des échantillons de sol ont été prélevés pour déterminer la densité initiale (Pi) des nématodes à galles dans le sol. A l'aide d'une sonde, 15 échantillons de sols ont été prélevés par parcelle à une profondeur située entre 5 et 20 cm suivant la méthode de grille (Hooper *et al.*, 2005). Les échantillons d'une même parcelle ont été soigneusement mélangés et deux sous-échantillons de 33,3 cm³ ont été prélevés pour l'extraction des nématodes. Les nématodes ont été extraits en utilisant la technique modifiée de Baermann pendant une durée de 48 h (Coyne *et al.*, 2007). Les

larves des nématodes à galles ont été ensuite identifiées et comptées à l'aide d'une binoculaire (grossissement 40x).

Cinq et neuf semaines après repiquage (SAR), des échantillons de sol et de racines ont été prélevés dans parcelles de la répétition 1 afin d'évaluer l'effet des dérivés de graines sur la dynamique de populations des nématodes. A chaque échantillonnage, sept plants de tomate et 10 plants de grande morelle ont été prélevés au hasard sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les racines provenant des plants d'une même parcelle ont été soigneusement lavées à l'eau de robinet et mélangées. Ces racines ont été ensuite débarrassées de leurs racines pivotantes, coupées en de petits morceaux d'environ 0,50 cm. Les nématodes ont été extraits dans 5 g de chaque échantillon de racines coupées en utilisant la même technique modifiée de Baermann (Coyne *et al.*, 2007) pendant une durée de 72 h. Pour déterminer la densité des nématodes dans le sol, des échantillons ont été prélevés à environ 10 cm de la base des plants sélectionnés. La technique d'extraction et de comptage est la même que celle utilisée pour la détermination de Pi.

A la fin de la récolte (12 SAR), des échantillons de sol et de racines ont été prélevés dans les parcelles des trois répétitions restantes pour la détermination de la densité des nématodes à la récolte (Pf). L'échantillonnage a porté sur 10 plants par parcelle. Les techniques d'échantillonnage des plants et du sol, d'extraction et de comptage des nématodes sont similaires à celles utilisées pour l'étude de la dynamique des populations de nématodes.

La densité des nématodes dans le sol à la récolte a permis de calculer le taux de multiplication des nématodes à galles en utilisant la formule de Kalele *et al.* (2010) basée sur le ratio Pf/Pi du sol avec Pf = densité finale des nématodes à galles dans 100 cm³ de sol et Pi = densité initiale des nématodes dans 100 cm³ de sol.

Avant l'extraction des racines des plants prélevées à la récolte, elles ont été utilisées pour apprécier la sévérité de l'attaque des nématodes à travers la notation de l'indice de formation des galles. Cette évaluation a été faite suivant une échelle de notation de 0 à 10 modifiée de celle de Bridge et Page (1980) avec 0 = racines saines; 1 = proportion de couverture des racines de 1-10%; 2 = proportion de couverture des racines de 11-20%; 3 = proportion de couverture des racines de 21-30%; 4 = proportion de couverture des racines de 31-40%; 5 = proportion de couverture des racines de 41-50%; 6 = proportion de couverture des racines de 51-60%; 7 = proportion de couverture des racines de 61-70%; 8 = proportion de couverture des racines de 71-80%; 9 = proportion de couverture des racines de 81-90%; 10 = proportion de couverture des racines de 91-100%.

Estimation du rendement des cultures

La récolte des fruits de tomate a été faite de façon échelonnée au fur et à mesure que les fruits arrivent à maturité physiologique. La cueillette des feuilles de la grande morelle a faite par des coupes au fur et à mesure qu'elles atteignent la forme convenable pour la vente sur le marché. Le rendement de chaque culture exprimé en g/m² a été estimé à partir des poids cumulés de trois tours de récolte.

Analyse statistique des données

Le logiciel SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) a été utilisé pour l'analyse des données. Afin de normaliser les données relatives au comptage, les densités de nématodes ont été transformées en $\log_{10}(X+1)$ avec X le nombre de nématodes compté dans l'échantillon analysé (Gomez et Gomez, 1984). L'interaction Traitement x Année n'étant pas significative, les données des deux années d'essai ont été compilées et soumises à l'analyse de variance à un critère de classification (Affokpon *et al.*, 2011). Les moyennes sont comparées avec le test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS) au seuil de 5%.

RESULTATS

Effet des dérivés de graines de neem sur la dynamique des populations des nématodes à galles

La densité initiale (Pi) des larves des nématodes à galles est de 135 ± 7 nématodes/ 100 cm³ de sol pour la première année d'essai (2006) et 134 ± 7 nématodes/ 100 cm³ de sol pour la répétition (2008).

L'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les P_i des différentes parcelles pour une même année d'une part, et entre années d'autre part.

Dans les parcelles de la grande morelle, les densités de nématodes dans le sol et dans les racines ont varié en fonction de la période d'échantillonnage et des traitements, mais elles sont significativement plus faibles dans les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem (Figure 1). La densité des nématodes dans le sol traité à la poudre de graine de neem a légèrement augmenté 5 SAR, avant de diminuer significativement à 9 SAR avec un pourcentage de réduction de 81% par rapport à celle des parcelles non traitées. Dans les parcelles traitées au tourteau, la densité des nématodes a significativement diminué à 5 SAR (pourcentage de réduction de 73% par rapport à P_i) avec de connaître une augmentation à 9 SAR, tout en restant inférieure (environ 83%) à celle des parcelles non traitées. Par contre, dans les parcelles non traitées aux dérivés de neem (traitement témoin), la densité des nématodes dans le sol a significativement augmenté à chaque échantillonnage pour atteindre une moyenne de 367 nématodes / 100 cm^3 de sol, soit environ 174% du P_i à 9 SAR. Au niveau des racines (Figure 1), la densité des nématodes est restée plus dans les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem pendant toute la période de l'échantillonnage. Le taux de réduction à 9 SAR est de 38% pour la poudre et 44% pour la grande morelle, comparé à celui des parcelles non traitées.

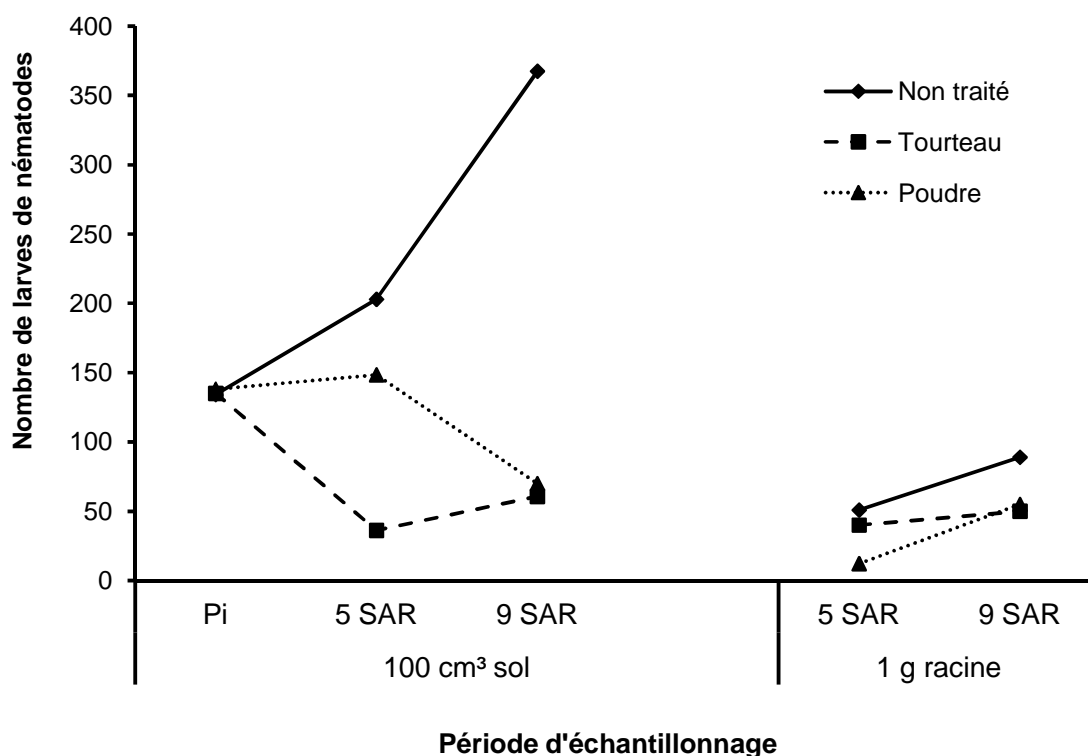


Figure 1. Effet des dérivés de neem sur la densité des nématodes à galls sous la culture de la grande morelle

P_i : densité initiale des nématodes (avant l'application des dérivés) ; SAR : Semaines après le repiquage des plantules

Dans les parcelles de tomate, la densité des nématodes est plus faible dans le sol des parcelles traitées aux dérivés de graines de neem à 5 SAR (Figure 2). A 9 SAR, elle est restée plus faible dans les parcelles traitées à la poudre (44% de réduction par rapport aux parcelles non traitées), alors qu'elle est pratiquement la même dans les parcelles traitées au tourteau et celles non traitées. Dans les racines, quelle que soit la période d'échantillonnage, la densité des nématodes est plus faible dans les parcelles traitées que celles non traitées, avec des taux moyens de réduction atteignant respectivement 38 et 56% à 5 et 9 SAR (Figure 2).

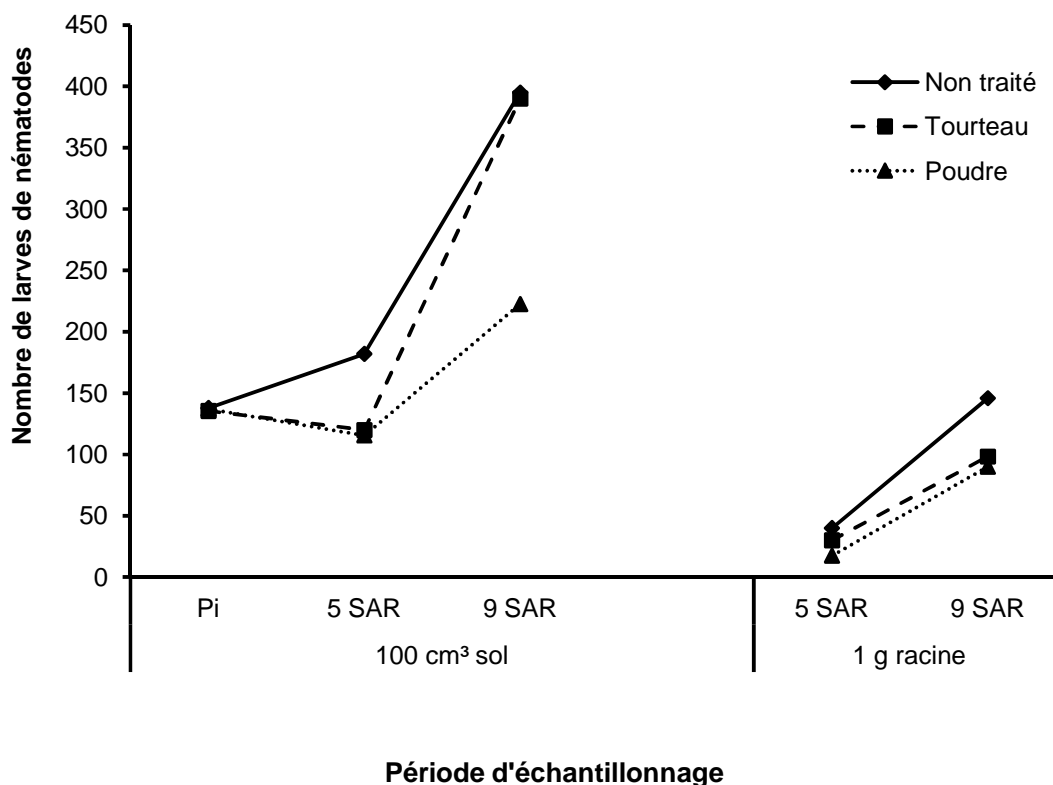


Figure 2. Effet des dérivés de neem sur la densité des nématodes à galles sous la culture de tomate

Pi : densité initiale des nématodes (avant l'application des dérivés) ; SAR : Semaines après le repiquage des plantules

Effet des dérivés de graines de neem sur le contrôle des nématodes à galles à la récolte

Les densités des nématodes à galles varient significativement en fonction du traitement (Tableau 1). Dans les parcelles de la grande morelle, la densité finale des nématodes dans le sol a été significativement réduite ($F = 319,42$; $P < 0,0001$) sur les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem comparativement aux parcelles non traitées, avec un taux de réduction atteignant 81%. Il a été également observé une réduction significative ($F = 75,51$; $P < 0,0001$) des nématodes à galles dans les racines (de l'ordre de 49%) suite à l'application de la poudre de graine de neem. Dans les parcelles de la tomate, l'effet de suppression des nématodes dans le sol a été significatif ($F = 8,27$; $P = 0,0038$) seulement dans les parcelles traitées à la poudre avec un taux de réduction d'environ 50%.

L'application des dérivés de graines de neem a significativement réduit ($F = 504,60$; $P < 0,0001$ pour la grande morelle et $F = 4,72$; $P = 0,0257$ pour la parcelle de tomate) le taux de multiplication (Pf/Pi sol) des nématodes à galles, indépendamment de la culture (Tableau 1). Le pouvoir reproductif des nématodes a été réduit de 81% dans les parcelles de la grande morelle traitées aux dérivés de graines de neem. Dans les parcelles de tomate, la réduction a été significative seulement dans les parcelles traitées à la poudre, avec un taux d'environ 51% par rapport à celui des parcelles non traitées. Par ailleurs, les dérivés de graines de neem ont un effet significatif sur l'induction des galles racinaires (Tableau 1). Dans les parcelles de la grande morelle, l'indice des galles a été significativement plus faible ($F = 28,29$; $P < 0,0001$) dans les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem. La poudre de graines de neem s'est montrée plus efficace avec un taux de réduction 58% contre 47% pour le tourteau de neem. Dans les parcelles de tomate, seules les parcelles traitées à la poudre de graines de neem ont un indice de galles significativement plus faible ($F = 37,05$; $P < 0,0001$) que celui des parcelles non traitées.

Table 1. Effet des dérivés de grains de neem sur la densité des nematodes à galles, le taux de multiplication des nématodes (Pf/Pi sol) et l'indice des galles à la récolte

Cultures	Type de dérivés de graines de neem	Densité des nématodes à la récolte*		Pf/Pi sol	Indice des galles (0-10)
		Sol (100 cm ³)	Racines (g)		
Grande morelle	Poudre	76 ± 9 b	18 ± 4 c	0,57 ± 0,06 b	3,00 ± 0,89 c
	Tourteau	75 ± 9 b	60 ± 9 a	0,57 ± 0,09 b	5,67 ± 0,82 b
	Témoin (sans dérivé)	390 ± 55 a	35 ± 3 b	2,99 ± 0,24 a	7,17 ± 1,17 a
Tomate	Poudre	138 ± 10 b	93 ± 11 a	1,01 ± 0,04 b	3,50 ± 0,55 b
	Tourteau	236 ± 51 a	111 ± 18 a	1,73 ± 0,88 ab	5,83 ± 0,41 a
	Témoin (sans dérivé)	276 ± 66 a	72 ± 11 b	2,05 ± 0,54 a	5,33 ± 0,52 a

Les valeurs sont les moyennes ± écart-type de six répétitions. Pour une même culture, les moyennes dans la même colonne suivies de différentes lettres alphabétiques sont significativement différentes ($P \leq 0,05$) selon le test de la Plus Petite Différence Significative de Fisher. *L'analyse statistique est basée sur la valeur transformée $\log(x+1)$.

Effet des dérivés de graines de neem sur le rendement des cultures

Les parcelles de la grande morelle traitées à la poudre de graines de neem ont enregistré un rendement en feuilles significativement plus élevé ($F = 4,84$; $P = 0,0239$) que celui des autres parcelles, après trois coupes (Figure 3). L'application de la poudre a permis d'avoir un accroissement du rendement en feuilles d'environ 12% par rapport à celui des parcelles non traitées.

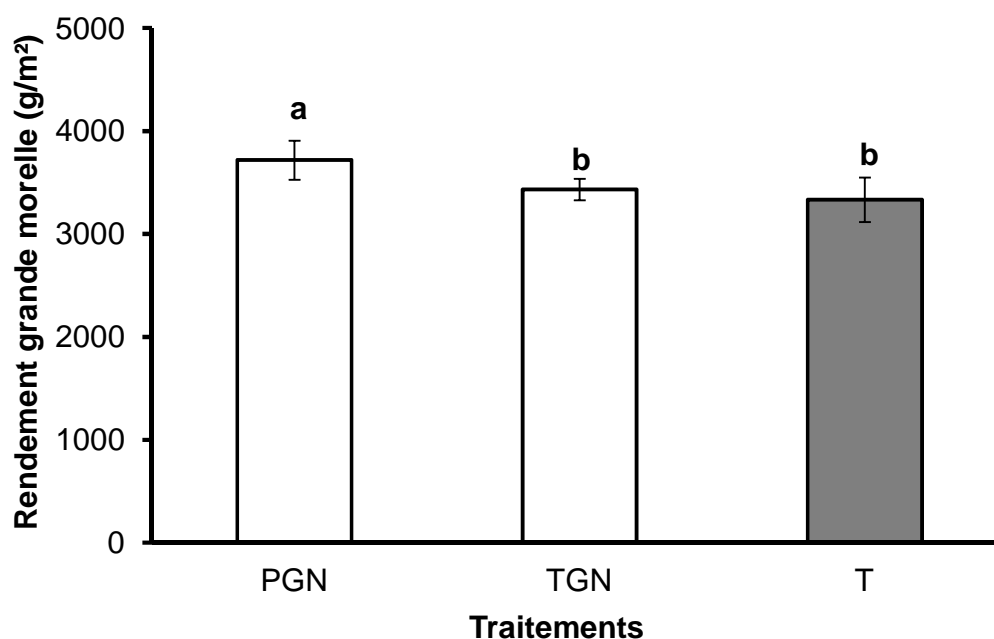


Figure 3. Rendement en feuilles de la grande morelle, 12 semaines après repiquage des plants

PGN : Parcelles traitées à la poudre de graines de neem ; TGN : Parcelles traitées au tourteau de graines de neem ; T : Parcelles non traitées (témoin).

Les colonnes suivies de barre représentent des moyennes de six répétitions et leur écart-type. Les colonnes suivies de différentes lettres alphabétiques sont significativement différentes ($P \leq 0,05$) selon le test de la Plus Petite Différence Significative de Fisher.

Dans les parcelles de tomate, le rendement en fruits a été significativement amélioré ($F = 21,99$; $P < 0,0001$) dans toutes les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem (Figure 4). Les taux d'accroissement sont respectivement de 26 et 33% dans les parcelles traitées avec le tourteau et la poudre.

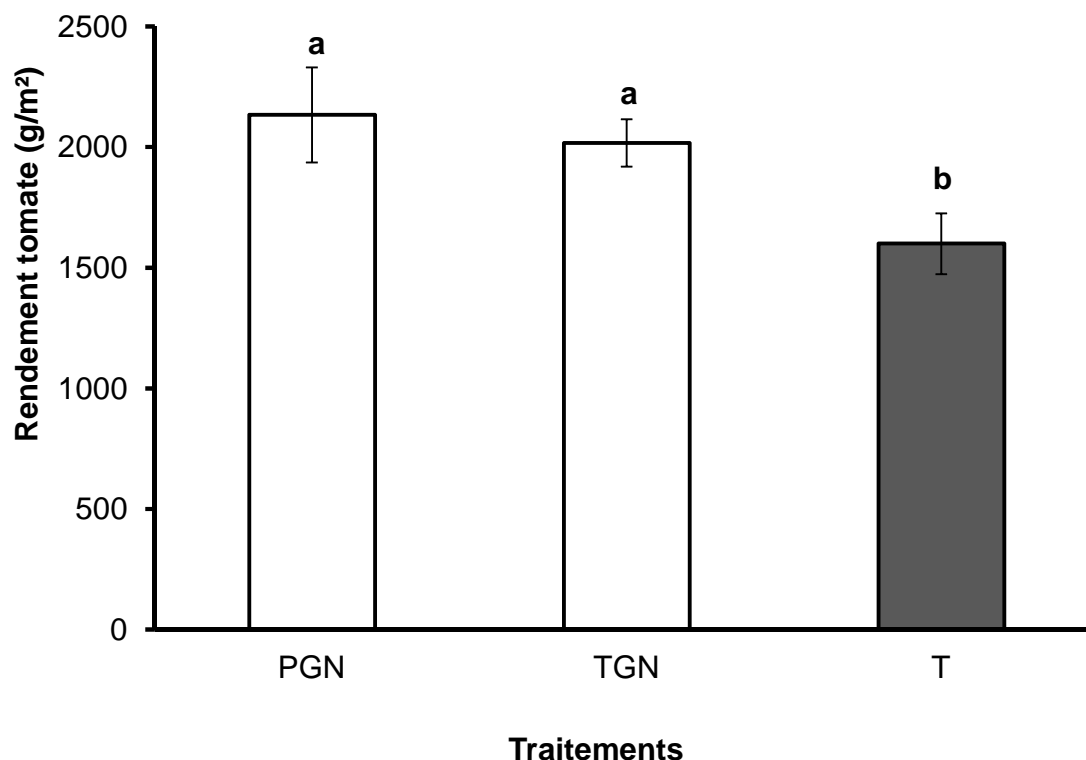


Figure 4. Rendements en fruits de la tomate, 12 semaines après repiquage des plants

PGN: Parcelles traitées à la poudre de graines de neem ; TGN: Parcelles traitées au tourteau de graines de neem ; T: Parcelles non traitées (témoin).

Les colonnes suivies de bar représentent des moyennes de six répétitions et leur écart-type. Les colonnes suivies de différentes lettres alphabétiques sont significativement différentes ($P \leq 0,05$) selon le test de la Plus Petite Différence Significative de Fisher.

DISCUSSION

Les nématodes à galles sont les parasites les plus abondants des sols maraîchers des pays tropicaux et constituent une contrainte majeure à la production maraîchère (Sikora *et al.*, 2005; Affokpon, 2011). Cette observation a été confirmée par la densité initiale élevée de nématodes à galles enregistrée sur le site d'essai.

L'étude de la dynamique des populations des nématodes sous les différents traitements et les deux cultures a montré en général, une réduction dans le temps des densités des nématodes à galles dans les parcelles traitées avec les dérivés de graines de neem, comparativement à celles des parcelles non traitées. Plusieurs travaux antérieurs ont rapporté l'effet nématocide des dérivés de neem contre les nématodes à galles dû à certains composés nématotoxiques du neem, notamment azadirachtin et autres triterpénoides (Akhtar et Malik, 2000; Ferraz et de Freitas, 2004). Toutefois, la présente étude a révélé que l'efficacité des dérivés de graines de neem contre les nématodes à galles dépend du type de dérivé utilisé. Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres travaux antérieurs sur d'autres cultures dont le bananier (Musabyimana et Saxena, 1999) et la courge musquée (*Cucurbita moschata Duchesne*) (Yasmin *et al.*, 2003). Selon Riga et Lazarovits (2001), le tourteau, après son application, libère

immédiatement dans le sol des composés toxiques aux nématodes à galles, alors que la poudre de graines subit une décomposition progressive au cours de laquelle elle libère d'abord des composés qui immobilisent les larves avant de les tuer. Comparant l'effet préventif et curatif de trois dérivés de neem (poudre de feuilles sèches, tourteau et poudre de graines sèches) contre *Meloidogyne javanica* sur la tomate, Javed *et al.* (2007a) ont constaté à 32 jours après inoculation des nématodes que la poudre de graines de neem est relativement plus efficace dans la prévention de l'invasion des racines de l'hôte et dans l'inhibition du développement des nématodes. Ces observations ont été confirmées dans la présente étude à travers l'évolution de la densité des nématodes à galles dans le sol et les racines pendant le cycle végétatif des cultures. L'augmentation de la densité des nématodes dans les parcelles traitées au tourteau à partir de la 5^{ème} semaine après son application dans le sol traduit la courte durée d'action du tourteau de graines de neem. Ces résultats concordent bien avec ceux de Fanou *et al.* (2005) qui ont montré que l'effet nématicide du tourteau de graines de neem sur les larves de nématodes à galles ne dure qu'environ un mois. Dans une autre étude portant sur la détermination de la période de décomposition des tourteaux et son effet sur le contrôle des nématodes à galles, Thakur (1995) a conclu qu'un contrôle optimal des nématodes à galles intervient dans un intervalle de trois semaines après incorporation du tourteau de neem dans le sol du fait que la plus grande quantité des composés polyphénoliques est libérée pendant cette période..

Notre étude a démontré que les dérivés de neem sont efficaces dans le contrôle des nématodes à galles. Le taux de reproduction des nématodes a été plus faible dans les parcelles traitées avec les dérivés de graines de neem, comme l'indique le ratio Pf/Pi sol. Les nématodes à galles étant un endoparasite, ces résultats seraient à l'effet systémique des dérivés de graines de neem utilisés dans notre étude. Etudiant le mode d'action des formulations de neem contre les nématodes à galles par la technique de "split-root", Javed *et al.* (2007b) ont constaté la translocation des composés actifs à propriété pesticide du neem dans les racines de tomate et une inhibition du développement de *Meloidogyne javanica*, suggérant l'action systémique du neem. Le faible indice de formation des galles enregistré particulièrement dans les parcelles traitées à la poudre traduit l'effet inhibiteur des dérivés de neem sur le développement des nématodes à galles à l'intérieur de la racine hôte, et par conséquent la réduction des galles (Kumar et Khanna, 2006; Javed *et al.* 2007a).

Les résultats de cette étude indiquent par ailleurs, une augmentation du rendement des cultures dans les parcelles traitées aux dérivés de graines de neem. Selon certains auteurs, l'amélioration des rendements des cultures sur sol infesté aux nématodes à galles suite à l'application des dérivés est liée aussi bien au contrôle des nématodes qu'à l'amélioration du niveau de fertilité des sols (Musabyimana et Saxena, 1999; Khan *et al.*, 2012). Akhtar et Alam (1993) ont expliqué qu'en dehors de leurs effets nématicides, les composés triterpènes des graines de neem inhibent le processus de nitrification et accroît la quantité d'azote disponible.

CONCLUSION

La présente étude montre clairement que l'efficacité des dérivés de graines de neem dans la lutte contre les nématodes à galles dépend du type de dérivé utilisé. Elle confirme que les dérivés de graines de neem assurent la protection des cultures maraîchères contre les nématodes à galles et contribuent aussi à l'amélioration des rendements des cultures. Le double effet de ces dérivés de graines de neem doit encourager leur utilisation dans le maraîchage urbain et peri-urbain où le système de production intensif nécessite l'usage intensif de nématicides de synthèse et des déchets animaux difficilement accessibles aux producteurs. L'utilisation des dérivés de graines de neem en maraîchage serait particulièrement bénéfique pour les petits producteurs du fait qu'elle ne nécessite pas d'équipements spéciaux ou d'investissement supplémentaire significatif. Toutefois, des études devraient se poursuivre pour déterminer la dose optimale adaptée à chaque type de sol afin de maximiser l'effet de ces dérivés dans la protection et la production durables des cultures. L'impact de l'utilisation de la poudre de graines de neem sur les sols devrait être aussi évalué afin de rendre plus durable l'environnement de production.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Conseil Interuniversitaire Flamand (Vlaamse Interuniversitaire Raad VLIR/Belgique) pour son appui à la rédaction de cet article à travers son Programme PhD+ Short Research Stay 2012 accordé à l'auteur principal.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Affokpon, A., 2011: Potential of indigenous biocontrol agents for improved root-knot nematode management in vegetable production systems in Benin, West Africa. PhD. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgique, 186 p.
- Affokpon, A., D.L. Coyne, L. Lawouin, C. Tossou, R. Dossou Agbèdè, J. Coosemans, 2011: Effectiveness of native West African arbuscular mycorrhizal fungi in protecting vegetable crops against root-knot nematodes. *Biol. Fertil. Soils*, 47, 207-217.
- Akhtar, M., 2000: Nematicidal potential of the tree *Azadirachta indica* (A. Juss). *Integr. Pest Manage. Rev.*, 5, 57-66.
- Akhtar, M., Alam, M.M., 1993: Control of plant-parasitic nematodes by 'Nimin' - an urea-coating agent and some plant oils. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 100, 337-342.
- Akhtar, M., Malik, A., 2000: Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Biores. Technol.*, 74, 35-47.
- Aliakbarpour H, M.R. Che Salmah, O. Dzolkhifli, 2011: Efficacy of neem oil against thrips (Thysanoptera) on mango panicles and its compatibility with mango pollinators. *J. Pest. Sci.*, 84, 503-512.
- Assogba Komlan, F., 2007. Valorisation des déchets agro-industriels en agriculture urbaine dans le sud du Bénin: diagnostic, évaluation et perspectives. PhD Dissertation, University of Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 132 p.
- Atcha-Ahowé, C., B. James, I. Godonou, B. Boulga, S.K. Agbotse, D. Kone, A. Kogo, R. Salawu, I.A. Glietho, 2009: Status of chemical control applications for vegetable production in Benin, Ghana, Mali, Niger, Nigeria and Togo - West Africa. *Pesticides Management in West Africa*, 7, 4-14.
- Baimey, H., D. Coyne, G. Dagnenonbakin, B. James, 2009: Plant-parasitic nematodes associated with vegetable crops in Benin: relationship with soil physico-chemical properties. *Nematol. Medit.*, 37, 225-234.
- Bridge, J., S.L.J. Page, 1980: Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest. Manage.*, 26, 296-298
- Coyne, D.L, J.M. Nicol, B. Claudius-Cole, 2007: Practical plant nematology: A field and laboratory guide. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Cotonou, Benin.
- Ermel, K., H. Schmutterer, H. Kleeberg, 2002: Neem products for integrated pest management-commercial products: 470-480. In: Schmutterer, H. (ed), The neem tree. Neem foundation, Vithalnagar.
- Fanou, A., M. Glietho, H. Baimey, J. Sagbohan, 2005: Etude comparée des pesticides botaniques sur les organismes nuisibles des cultures maraîchères (carotte, oignon et Gboma) dans les centres maraîchers d'Agron, de sokotomey, de Grand-Popo et d'Adjohoun. Actes de l'Atelier Scientifique National 1ère édition. Abomey-Calavi, Bénin, 289-305.
- Ferraz, S., de Freitas, L.G., 2004: Use of antagonistic plants and natural products. 931-977. In: Chen, Z.X., Chen, S.Y. Dickson, D.W. (eds), Nematology - Advances and Perspectives. Nematode Management and Utilization. Wallingford, UK.
- Gahukar, R.T., 2012: Evaluation of plant-derived products against pests and diseases of medicinal plants: A review. *Crop. Prot.*, 42, 202-209.
- Gomez, K.A., Gomez, A.A., 1984: Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- Hooper, D.J., Hallmann, J., Subbotin, S., 2005: Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes: 53-86. In: Luc, M., Sikora, R. A., Bridge, J., (eds), Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. Wallingford, UK.
- James, B., I. Godonou, C. Atcha, H. Baimey, 2006: Healthy vegetables through participatory IPM in peri-urban areas of Benin. Summary of activities and achievements, 2003-2006. International Institute of Tropical Agriculture, Abomey-Calavi, Benin.
- James, B., C. Atcha-Ahowé, I. Godonou, H. Baimey, H. Goergen, R. Sikirou, M. Toko, 2010: Integrated pest management in vegetable production: A guide for extension workers in West Africa. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
- Javed, N., S.R. Gowen, M. Inam-ul-Haq, S.A. Anwar, 2007a: Protective and curative effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations on the development of root-knot nematodes *Meloidogyne javanica* in roots of tomato plants. *Crop. Prot.*, 26, 530-534.
- Javed, N., S.R. Gowen, M. Inam-ul-Haq, K. Abdullah, F. Shahina, 2007b: Systemic and persistent effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations against root-knot nematodes, *Meloidogyne javanica* and their storage life. *Crop Prot.*, 26, 911-916.
- Kalele, D.N., A. Affokpon, J. Coosemans, J.W. Kimenju, 2010: Suppression of rootknot nematodes in tomato and cucumber using biological control agents. *Afr. J. Hort. Sci.*, 3, 72-80.
- Khan, M.R., F.A. Mohiddin, M.N. Ejaz, M.M. Khan, 2012: Management of root-knot disease in eggplant through the application of biocontrol fungi and dry neem leaves. *Turk. J. Biol.*, 36, 161-169.

- Kumar, S., Khanna, A.S., 2006: Effect of neem-based products on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, and growth of tomato. *Nematol. medit.*, 34, 141-146.
- Manzanilla-Lopez, R.H., E. Kenneth, J. Bridge, 2004: Plant diseases caused by nematodes: 637-716. In: Chen, Z.X., Chen, S.Y. Dickson, D.W. (eds), *Nematology - Advances and Perspectives. Nematode Management and Utilization*. Wallingford, UK.
- Musabyimana, T., Saxena, R.C., 1999: Efficacy of neem seed derivatives against nematodes affecting banana. *Phytoparasitica*, 27, 43-49.
- Riga, E., Lazarovits, G., 2001: Development of an organic pesticide based on neem tree products. *Phytopatology abstracts*, 2001, S141.
- Rosendahl, I., V. Laabs, B.D. James, C. Atcha-Ahowé, S.K. Agbotse, D. Kone, A. Kogo, R. Salawu, I.A. Gliho, 2008: Living with pesticides: a vegetable case study. Technical report, Systemwide Program on Integrated Pest Management (SP/IPM), Cotonou, Benin.
- Ruch, B., C. Kliche-Spory, A. Schlicht, I. Schaißer, J. Kleeberg, R. Troß, H. Kleeberg, 1997: Summary of some environmental aspects of Neem ingredient NeemAzal and NeemAzal-T/S. Proceedings of the 5th workshop on practice oriented results on use and production of neem ingredients and pheromones, Giessen, Germany, 15-20.
- Schmutterer, H., 1997: Side-effects of neem (*Azadirachta indica*) products on insect's pathogens and natural enemies of spider mites and insects. *J. Appl. Entomol.*, 121, 121-128.
- Sikirou, R., L. Afouda, A. Zannou, F. Komlan-Assobga, G. Gbèhounou, 2002: Diagnostic des problèmes phytosanitaires des cultures maraîchères au Sud-Bénin: cas de la tomate, du piment, de l'oignon et du gombo. Actes de l'Atelier Scientifique 2. Niaouli, Bénin, 102-125.
- Sikora, R.A. Fernández, E., 2005: Nematodes parasites of vegetables: 319-392. In: Luc, M., Sikora, R. A., Bridge, J., (eds), *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford, UK.
- Thakur, S.G., 1995: Determination of the waiting period (period of decomposition) of some non-edible oilseed cakes for the control of root-knot nematode. *Curr. Nematol.*, 6, 1-4.
- Trudgill, D.L., Blok, V.C., 2001: Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *An. Rev. Phytopathol.*, 39, 53-77.
- Yasmin L., M.H. Rashid, M. Nazim Uddin, M.S. Hossain, M.E. Hossain, M.U. Ahmed, 2003: Use of neem extract in controlling root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) of sweet-gourd. *Plant Pathol. J.*, 2: 161-168.