



Abondance et diversité des phytonématodes dans les associations culturales à base des bananiers au Nord-Kivu (RDC)

Toto MAKISO LWANGA^{1-2-3-4*}, Joseph DJEUGAP FOVO⁴, Antoine AFFOKPON⁵ et Victor JOLY DZOKOU⁴⁻⁶

¹Institut Supérieur de Développement Rural, ISDR-Beni, Section Développement Rural, B.P 177 Beni (Nord-Kivu, RDC)

²Université Officielle de Semuliki de Beni, U.O.S-Beni, Faculté des sciences Agronomiques, B.P 48 Beni (Nord-Kivu, RDC)

³ Université du Lac Albert de Mahagi, UNILAC Faculté des sciences Agronomiques, B.P 33 Mahagi (Ituri, RDC)

⁴Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Département d'Agriculture, Unité de Recherche de Phytopathologie et de Zoologie Agricole, BP 222 Dschang, Cameroun.

⁵Université d'Abomey-Calavi (UAC), Faculté des Sciences Agronomiques Département des Sciences et Techniques de Production Végétale, Unité de Nématologie (UNema), 01BP 526 Cotonou, Benin

⁶Université de Bertoua, ISABEE-Bélabo, Centre d'Expérimentation et de Production, BP 60 Bélabo, Cameroun

* Correspondance, courriel : makisolwanga@gmail.com

Submission 10th January 2025. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 28th February 2025 <https://doi.org/10.35759/JABs.205.6>

RESUME

Objectif: La présente étude visait à déterminer les effets de différentes cultures associées et les conditions édaphiques qu'elles génèrent sur l'abondance et la diversité des phytonématodes dans les systèmes de production bananiers au Nord-Kivu en vue d'une meilleure gestion de ces nuisibles pour une production durable et rentable.

Méthodologie et résultats: L'abondance des phytonématodes dans les racines des bananiers en associations avec le haricot, le manioc, le sorgho et le taro ont été évaluées à travers un essai conduit en milieu réel suivant un dispositif de bloc aléatoire complet de trois répétitions et 10 traitements. Huit espèces ont été identifiées avec *Helicotylenchus pseudorobustus*, *Scutellonema cavenessi*, *Pratylenchus goodeyi* et *Meloidogyne incognita* les plus dominantes. L'abondance des phytonématodes dans les racines des bananiers est influencée par les associations culturales avec des moyennes de 3,9 à 19,2% (avec 20 ± 5 à $98,3 \pm 27,5$ individus/100g des racines) contre 11,7 % (avec 60 ± 10 individus/100g des racines) en monoculture.

Conclusion et application des résultats: Les cultures associées sont diversement infestées par les phytonématodes et ont un effet significatif sur l'infestation des bananiers. Le haricot et le sorgho sont moins infestés par les phytonématodes et leur association avec les bananiers réduit la pression parasitaire sur ce dernier. Le manioc, bien que moins infesté, n'inhibe pas la prolifération des phytonématodes sur les bananiers. Le taro est fortement attaqué par les phytonématodes et sa

proximité exacerbe l'infestation des bananiers. Dans un système de production à base de bananes, le haricot et le sorgho peuvent être utilisés comme des cultures compagnes. Des éléments physico-chimiques des sols comme la texture, l'acidité aluminique, le phosphore assimilable et la conductivité électrique influencent l'abondance de certaines espèces de phytonématodes. La poursuite des études sur d'autres cultures utilisées en association avec les bananiers permettraient de formuler aux producteurs des recommandations de bonnes pratiques culturales en vue d'une production durable de bananes.

Mots-clés : Associations culturales, Phytonématodes, Bananiers, Abondance, Moyens de contrôle, Nord-Kivu

Abundance and diversity of phytonematodes within banana-based cultural associations in North Kivu (DRC)

ABSTRACT

Objective: The current study aimed at determining the effects of various associated crops and the edaphic conditions they generate on the abundance and diversity of phytonematodes in banana production systems in North Kivu for better management of these pests for sustainable and profitable production.

Methodology and results: The abundance of phytonematodes on banana in associations with bean, cassava, sorghum and taro were assessed in a field trial using a complete randomised block design with three replicates and 10 treatments. Eight species of phytonematodes were identified, with *Helicotylenchus pseudorobustus*, *Scutellonema cavenessi*, *Pratylenchus goodeyi* and *Meloidogyne incognita* being the most dominant. The abundance of phytonematodes on bananas is affected by the associated crops, with averages ranging from 3.9 to 19.2% (with 20 ± 5 to 98.3 ± 27.5 individuals/100g of roots) compared with 11.7% (avec 60 ± 10 individuals/100g of roots) in monocropping.

Conclusions and application of findings: The associated crops are variously infested by the phytonematodes and have a significant effect on banana infestation. Bean and sorghum are less infested with nematodes and their association with banana reduces nematode pressure on the latter. Cassava, although less infested, does not inhibit the proliferation of phytonematodes on banana plants. Taro is heavily attacked by nematodes and its association exacerbates the infestation of banana plants. In a banana-based production system, bean and sorghum can be used as companion crops. Soil physico-chemical elements such as texture, aluminic acidity, assimilable phosphorus and electrical conductivity influence the abundance of some phytonematode species. Further studies on other crops used in association with banana would generate deeper recommendations to growers in terms of good agricultural practices for sustainable banana production.

Keywords: Crop associations, Parasitic Plant Nematodes, Banana trees, Abundance, Control methods, North Kivu.

INTRODUCTION

La banane joue un rôle clé dans la sécurité alimentaire de plus de 20 millions de personnes en Afrique de l'Est (République Démocratique du Congo, Rwanda, Ouganda, Burundi, Tanzanie et Kenya). En effet, sa consommation dans cette région est la plus élevée au monde avec une moyenne d'environ

200 kg/an, soit 750 g/personne/jour (Dhed'a et al., 2019). De ce fait, elle bénéficie de fortes transactions commerciales au niveau local et régional, et constitue une importante source de revenus et d'emplois pour les producteurs. En République Démocratique du Congo (RDC), la culture des bananiers occupe la deuxième

position après le manioc avec une production de 20 millions de tonnes en 2021 (INS, 2022). Bien que couvrant près de 25% des terres cultivées en Afrique tropicale, l'occupation spatiale des bananiers avoisine 43% dans la région des Grands Lacs Africains (Beed, 2010). Ainsi, les bananiers constituent le centre de gravité des systèmes agraires allant de la monoculture à la polyculture, incluant des associations, de plus simples au plus complexes, avec des cultures vivrières (haricot, maïs, sorgho, taro, courge, manioc), industrielles (caféier, cacaoyer...) et fruitières (ananas, papayer...) (Charters, 2012). Dans le contexte de la faible disponibilité de terres agricoles, l'associabilité des bananiers à une large gamme des cultures leur confère des particularités stratégiques pour la sécurité alimentaire de ménages ruraux. Cependant, dans la plupart des zones de production, la culture de la banane est confrontée à de nombreuses contraintes dont les carences minérales dues à l'épuisement et à la dégradation des sols et la forte pression parasitaire (FAO, 2022). Les phytonématodes figurent parmi les principales contraintes biotiques tant à la productivité qu'à la longévité des bananeraies (Dhed'a *et al.*, 2019). Leur prolifération dans les sols et leurs impacts sur les cultures sont les points clés de la prise en compte de la durabilité des agrosystèmes (Djigal *et al.*, 2012). Les phytonématodes sont considérés comme des ravageurs économiques majeurs qui doivent être gérés efficacement pour assurer une production fruitière durable (Daneel and Mbatyoti, 2024). Les attaques des

phytonématodes entraînent des pertes de rendement de 30 à 60 % à l'échelle mondiale (Sikora *et al.*, 2018). Aux les bananiers plantains et à cuire en Afrique, ils causent des pertes allant jusqu'à 70 % (Tripathi *et al.*, 2015). Comme la plupart des cultures tropicales, les systèmes de production des bananiers sont caractérisés par des infestations simultanées de plusieurs espèces de phytonématodes (*Pratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Helicolenchus* spp., *Radophilus* spp), rendant leur gestion plus difficile (Sikora *et al.*, 2018). Plusieurs travaux ont soutenu que l'assainissement des sols devra reposer sur des méthodes culturales s'inscrivant dans l'approche de l'agriculture biologique qui prône la régénération de la fertilité et le biocontrôle des phytoparasites (Duyck *et al.*, 2015 ; Gurr *et al.*, 2017). Les associations culturales sont souvent recommandées pour réguler les populations de phytonématodes à travers divers processus écologiques dont la compétition pour la ressource (régulation *bottom-up*), la résistance par association (régulation par piégeage) et la mobilisation accrue des populations d'ennemis naturels (*régulation top down*). En outre, ces associations stimulent dans la rhizosphère, nombreuses relations symbiotiques qui améliorent la résistance des plantes aux stress abiotiques (Chauvin, 2015). L'objectif global de la présente étude est d'évaluer les effets des cultures associées et les conditions édaphiques qu'elles génèrent sur l'abondance et la diversité des phytonématodes dans les systèmes de production de banane.

MATERIEL ET METHODES

Description du milieu d'étude : L'étude a été conduite dans la Province du Nord-Kivu, située à l'Est de la RDC et à cheval de l'équateur, entre 0° 58' de latitude Nord et 2° 03' de latitude Sud et entre 27°14' de longitude Ouest et 29° 58' de longitude Est. Avec une superficie de 59.631 km², cette province

compte plus de 9 millions d'habitants, avec une densité de plus de 100 habitants par Km² (MinPro de plan, 2017). Le relief du Nord-Kivu est très hétérogène permettant de définir trois zones agroécologiques: les zones de basse altitude (< 1000 m) avec une température de 23-27 °C, de moyenne altitude (1000-1850 m)

où on enregistre environ 17-19 °C et de haute altitude (> 1850 m), 11-15 °C. La pluviométrie moyenne varie entre 1.000 mm et 2.000 mm. Les précipitations mensuelles les plus faibles sont enregistrées entre janvier et février et entre juillet et août. Bien qu'actuellement sujette à des changements climatiques, le Nord-Kivu reçoit des pluies fréquentes et étalées sur toute l'année (MinPro de plan,

2017). Le Nord-Kivu s'étend sur une diversité de sols : volcaniques récents vers le sud ; des intrusions granitiques à l'Est et au Nord et de sols humifères dans la forêt vers l'Ouest. La surexploitation des sols et la taille réduite des exploitations agricoles dues au surpeuplement dans les zones habitées sont les deux faiblesses majeures de l'agriculture au Nord-Kivu (MinPro de plan, 2017).

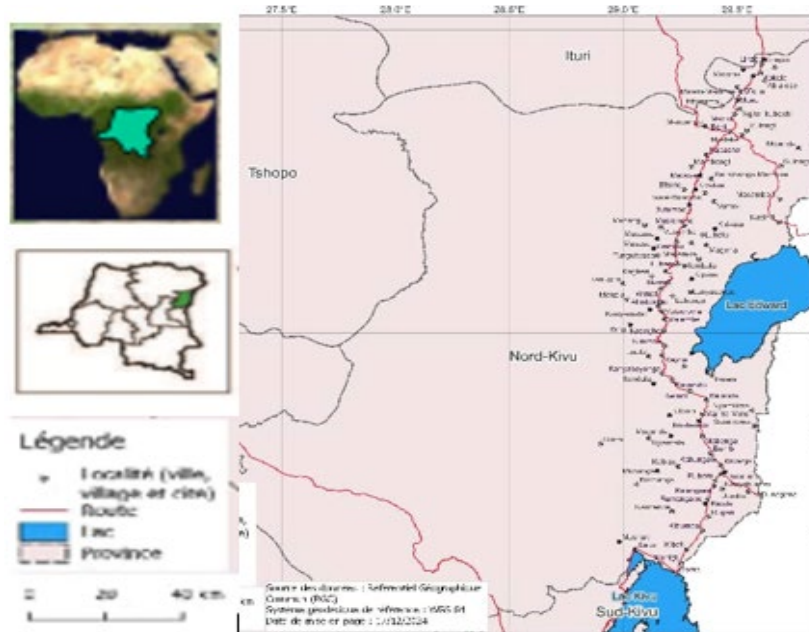


Figure 1: Carte du Nord-Kivu avec les villages, cités et villes

Matériel : Au cours de la présente étude, deux catégories de matériel ont été utilisées. Le matériel biologique constitué de souches des bananiers et des cultures associées d'une part, et les phytonématodes d'autre part. Le matériel non-biologique est constitué des outils aratoires ainsi que des équipements et des réactifs de laboratoire tant pour les analyses des sols que pour l'extraction et l'identification de phytonématodes.

Méthodes

Conduite de l'essai : Un essai a été conduit dans la zone de moyenne altitude en territoire de Beni suivant un dispositif expérimental de trois blocs complets randomisés de 10 traitements. Les traitements sont constitués des

modalités les plus fréquentes d'associations culturales des bananiers (Tableau 1). Chaque bloc expérimental comportait des parcelles portant une monoculture, trois associations binaires, quatre associations ternaires et deux associations quaternaires. Les parcelles étaient séparées entre elles par des sentiers de 4 m de largeur et les blocs par des allées de 6 m. Chaque association culturale a été affectée dans une parcelle de 250 m² de manière à contenir 16 plants des bananiers aux écartements de 4 m x 4 m. Quant aux cultures associées, elles étaient installées avec des écartements de 30 cm en tous sens pour le haricot, 75 cm pour le manioc et 1m pour le sorgho et le taro.

Tableau 1: Schéma d'associations culturales étudiées

Traitements	Modalités d'associations culturales	Niveau d'association
Monoban	Monoculture des bananiers	Monoculture
Harban	Bananiers + Haricot	Association binaire
Manban	Bananiers + Manioc	Association binaire
Tarban	Bananiers + Taro	Association binaire
Maharban	Bananiers + Manioc + Haricot	Association ternaire
Taharban	Bananiers + Taro + Haricot	Association ternaire
Tasoban	Bananiers + Taro + Sorgho	Association ternaire
Masoban	Bananiers + Manioc + Sorgho	Association ternaire
Tasoharban	Bananiers + Taro + Sorgho + Haricot	Association quaternaire
Masoharban	Bananiers + Taro + Sorgho + Haricot	Association quaternaire

Dans chaque parcelle expérimentale, 75% des souches étaient de plantains, 18,7% étaient des bananiers à cuire et 6,3 % étaient des bananiers de dessert. Le matériel de plantation utilisé a été constitué des Plants Issus des Fragments de tige des bananiers, permettant ainsi d'utiliser des plants homogènes et exempts de parasites pour l'étude. Les explants ont été mis en place dans les parcelles issues de longues jachères qui ont subi des travaux préparatoires. Ces parcelles ont subi régulièrement les sarclages et autres travaux d'entretien dont l'effeuillage et l'ébourgeonnement de souches des bananiers.

Collecte et analyses physico-chimiques et nématologiques des échantillons : Les observations ont porté sur les propriétés physico-chimiques des sols et les infestations des phytonématodes aussi bien des bananiers que de cultures associées. Ainsi, les échantillons étaient constitués de racines prélevées sur quatre souches des bananiers et 10 à 15 plants pour les cultures associés en tenant compte de leurs densités de semis respectives et des effets de la bordure. Par ailleurs, un échantillon composite de sols a été prélevé dans chaque parcelle. Une partie des échantillons de sol a été utilisée pour l'analyse des propriétés physico-chimiques des sols sous les différentes modalités d'association au Laboratoire d'analyse des sols et produits agro-alimentaires (LASPA) de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU).

Outre l'analyse granulométrique, le pH, la conductivité électrique, le carbone organique, l'azote total, le phosphore assimilable ont été respectivement déterminés suivant les normes NF ISO 10390, 11265, 14235, 11261 et 11263. Le potassium échangeable, le calcium échangeable et le magnésium échangeable ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (Norme NF X31-108). La capacité d'échange cationique a été déterminée par la méthode à l'acétate d'ammonium (Norme NF X 31-130). Ces analyses ont été précédées d'un prétraitement qui a consisté à un séchage à l'air libre, broyage manuel et au tamisage (Norme NF ISO 11464). L'extraction des phytonématodes dans les échantillons du sol et des racines a été faite en utilisant la méthode modifiée de Baermann basée sur le principe de la sédimentation (Coyne *et al.*, 2010) pendant une durée de 48 h pour le sol. Les différents genres de nématodes ont été ensuite identifiés en se basant sur leurs caractères morphologiques distinctifs décrits par Hunt *et al.* (2018) et comptés à l'aide d'un microscope Olympus BX51 au grossissement 40x. Des dizaines de spécimens de chaque genre de phytonématodes ont été piquées dans la suspension avec une micropipette, conservées dans des tubes à Eppendoff contenant du glycérol puis expédiées au laboratoire Macrogen Europe à Amsterdam Pays Bas pour l'identification au niveau de l'espèce à l'aide des analyses biomoléculaires.

Paramètres analysés : Les données ont permis de déterminer quelques indices écologiques des phytonématodes. La composition spécifique a été définie par la liste des espèces recensées tandis que la richesse spécifique a été déterminée par le nombre d'espèces observées dans l'ensemble des relevés. La densité correspond au nombre d'individus d'une espèce dans un échantillon. L'abondance relative quant à elle correspond à la moyenne des densités des échantillons dans lesquels une espèce a été retrouvée. Ainsi, elle a été calculée par la formule $A = \frac{n_i}{N} \times 100$, où n_i est le nombre d'individus d'une espèce et N = nombre total des individus.

RESULTATS

Identification et densité des phytonématodes dans les racines des bananiers : L'étude a révélé sur les plants des bananiers la présence de huit espèces de phytonématodes appartenant à six familles et trois ordres : Tylenchida (4 espèces), Rhabditidae (3 espèces) et Monhysterida (une espèce). Ces espèces sont *Helicotylenchus pseudorobustus* (Tylenchida-Hoplolaimidae), *Scutellonema cavenessi* (Tylenchida-Hoplolaimidae), *Pratylenchus goodeyi* (Tylenchida-Pratylenchidae), *Meloidogyne incognita* (Tylenchida-Heteroderidae), *Prismatolaimus intermedius* (Monhysterida-Prismatolaimidae), *Aphelenchoides varicaudatus* (Rhabditida-Aphelenchidae), *Filenchus misellus* (Tylenchida-Tylenchidae) et *Hirsmanniella gracilis* (Tylenchida-Pratylenchidae). Les densités moyennes de chaque espèce des phytonématodes dans les

Analyses statistiques des données : Les données ont été analysées par les méthodes classiques de comparaison de moyennes dont l'analyse de la variance (ANOVA) et les moyennes ont été comparées avec le test HSD Turkey au seuil de signification de 5%. La réalisation de ces statistiques s'est effectuée à l'aide du logiciel PAST version 2.15. Les interactions entre les phytonématodes et les paramètres environnementaux dont les propriétés physico-chimiques du sol et cultures hôtes ont été évaluées par l'analyse canonique des correspondances (ACC).

racines de plants des bananiers ont varié de $3,3 \pm 2,8$ à $15,4 \pm 16$ individus/100 g de racines. Ce qui permet d'estimer la densité totale de $77,8 \pm 33,6$ individus /100 g de racines. Concernant les espèces répertoriées, *M. incognita* a présenté la plus forte densité de populations dans les racines des bananiers ($15,4 \pm 16$ individus/100g de racines), suivie de *P. intermedius* et *H. pseudorobustus* avec des densités respectives de $14,7 \pm 6,5$ et $12,1 \pm 0,7$ individus/100g de racines (Figure 2). Les espèces *F. misellus* et *H. gracilis* ont les plus faibles densités (moins de $5 \pm 2,9$ individus/100g de racines). Ainsi, les densités de populations des espèces de phytonématodes montrent des différences significatives ($p = 0,027$). *M. incognita* est l'espèce la plus importante, suivie de *P. intermedius* et *H. pseudorobustus* (Tableau 2).

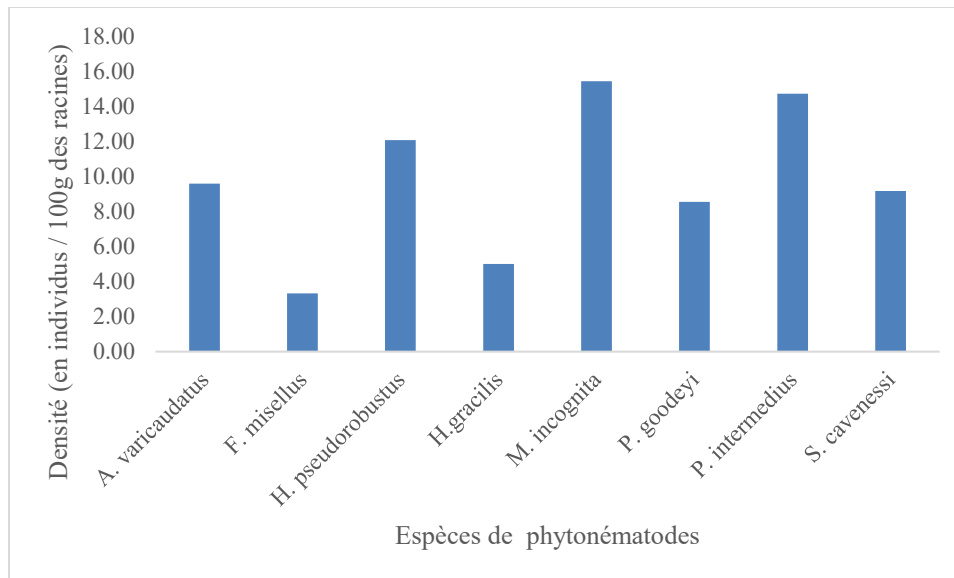


Figure 2 : Densités moyennes de populations des phytonématodes dans les racines des bananiers

Tableau 2 : Comparaisons deux à deux des densités des espèces des phytonématodes dans les racines de plants des bananiers

	<i>A. varicaudatus</i>	<i>F. misellus</i>	<i>H. pseudorobustus</i>	<i>H. gracilis</i>	<i>M. incognita</i>	<i>P. goodeyi</i>	<i>P. intermedius</i>	<i>S. cavenessi</i>
<i>A. varicaudatus</i>	0							
<i>F. misellus</i>	1,59	0						
<i>H. pseudorobustus</i>	0,86	2,45	0					
<i>H. gracilis</i>	1,59	0	2,45	0				
<i>M. incognita</i>	3,83*	5,42*	2,96	5,42*	0			
<i>P. goodeyi</i>	0,35	1,24	1,22	1,24	4,18*	0		
<i>P. intermedius</i>	1,78	3,37	0,92	3,37	2,04	2,14	0	
<i>S. cavenessi</i>	0,15	1,45	1,01	1,45	3,97*	0,21	1,93	0

Les différences des moyennes (*q*) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

Les densités des phytonématodes ont varié significativement en fonction des groupes des bananiers ($p = 0,029$). Bien qu'infestés par un nombre réduit d'espèces de phytonématodes, les bananiers de dessert ont connu une plus forte densité (135 ± 35 individus/100 g des

racines) par rapport aux plantains infestés par plus d'espèces ($75,1 \pm 3,7$ individus/100 g des racines) (Figure 3). Ainsi, les bananiers de dessert sont plus sévèrement infestés (Tableau 3).

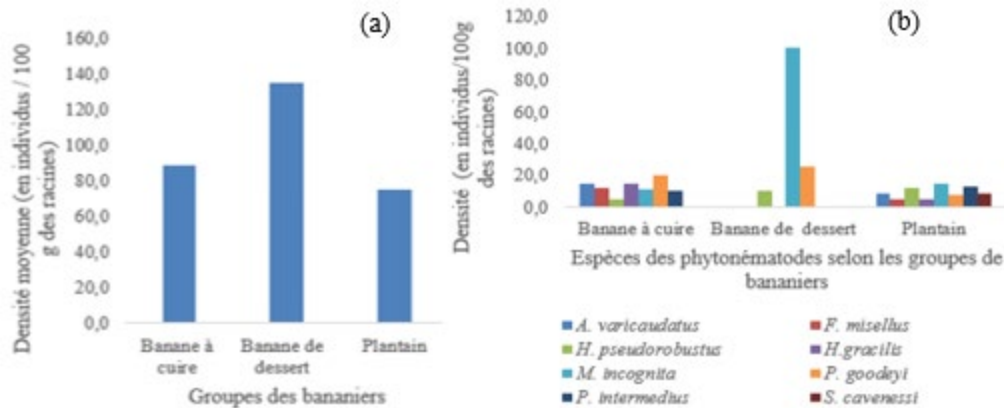


Figure 3: Densité globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes selon les groupes des bananiers

Tableau 3 : Comparaisons deux à deux des densités des phytonématodes selon les groupes des bananiers

	Bananiers à cuire	Bananiers de dessert	Bananiers Plantains
Bananiers à cuire	0		
Bananiers de dessert	4,01*	0	
Bananiers plantains	0,41	4,41*	0

Les différences des moyennes (*q*) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

En fonction des modalités d’associations culturales, les densités moyennes des phytonématodes dans les racines de plants des bananiers ont varié de 20 ± 5 à $98,3 \pm 27,5$ individus/100 g de racines. Cependant, cette densité a été de 60 ± 10 individus/100 g de racines en monoculture (Figure 4). Ainsi, certaines associations culturales exacerbent les infestations des phytonématodes dans les

racines des bananiers tandis que d’autres les réduisent. Ces densités montrent de différences significatives entre les modalités d’association culturales ($p = 0,001$). Les associations quaternaires Bananiers + le taro ou le manioc + sorgho + haricot, et dans une certaine mesure Bananiers + haricot, ont connu de faibles infestations (Tableau 4).

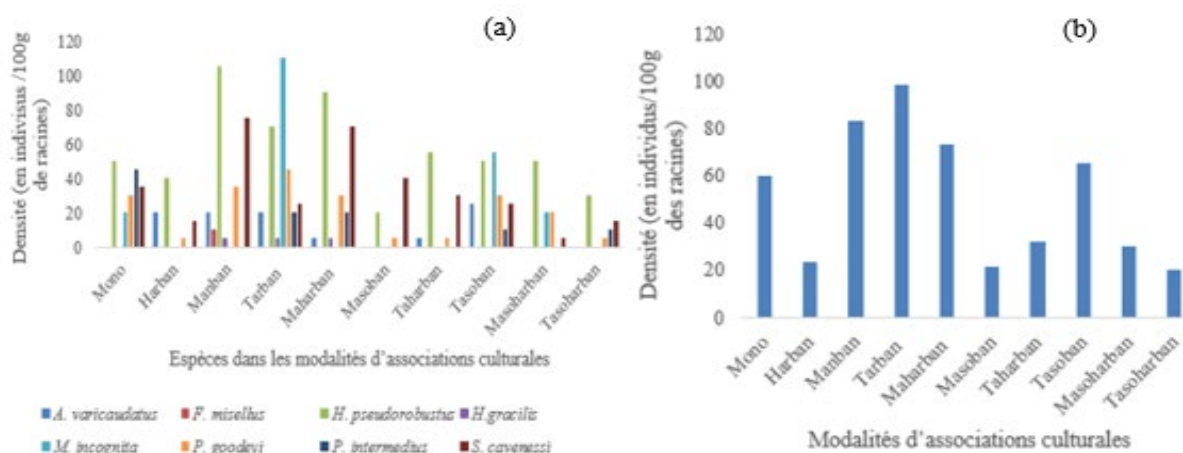


Figure 4: Densité globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes dans les racines des bananiers selon les modalités d’associations culturales

Tableau 4 : Comparaisons deux à deux des abondances relatives des phytonématodes selon les modalités d'associations culturales

	Mono	Harban	Manban	Tarban	Maharban	Masoban	Taharban	Tasoban	Masoharban	Tasoharban
Mono	0									
Harban	4,61*	0								
Manban	2,93	7,54*	0							
Tarban	4,82*	9,42*	1,88	0						
Maharban	1,67	6,28*	1,26	3,14	0					
Masoharban	4,82*	0,21	7,75*	9,63*	6,49*	0				
Taharban	3,56	1,05	6,49*	8,74*	5,24*	1,26	0			
Tasoharban	0,62	5,24*	2,31	4,19*	1,05	5,45*	4,19*	0		
Masoharban	3,77	0,84	6,70*	8,59*	5,45*	1,05	0,21	4,40*	0	
Tasoharban	5,03*	0,42	7,96*	9,84*	6,70*	0,21	1,47	5,66*	1,26	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

Identification et densité des phytonématodes sur les cultures associées aux bananiers : Les cultures associées aux bananiers ont connu les infestations de sept espèces des phytonématodes dont six observées sur les bananiers (à l'exception de *F. misellus* et *P. intermedius*) auxquelles s'ajoute *M. ethiopica* (Tylenchida-Heteroderidae). Ainsi, le peuplement des phytonématodes des cultures associées aux bananiers appartient

à cinq familles et deux ordres : Tylenchida (4 espèces), Rhabditidae (3 espèces). En fonction des espèces des phytonématodes, les densités de leurs populations ont varié de $7,5 \pm 11,2$ à $73,8 \pm 53,7$ individus/100g de racines (Figure 5). Ces densités montrent des différences significatives ($p = 0,0157$). L'espèce la plus infestante a été *M. incognita* et *M. ethiopica* se révèle la moins infestante (Tableau 5).

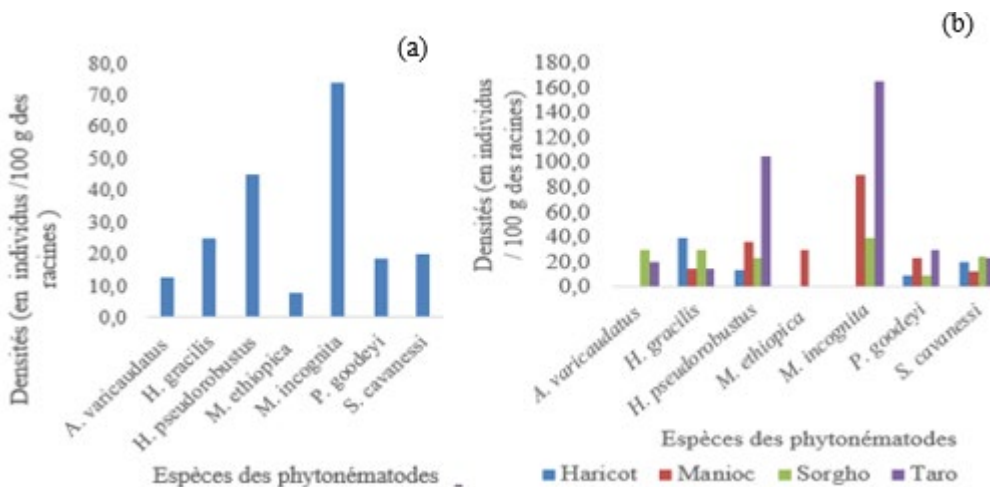


Figure 5: Densité globale (a) et spécifique (b) des espèces des phytonématodes dans les racines des cultures associées

Tableau 5 : Comparaisons deux à deux des densités des espèces de phytonématodes dans les racines de plants de cultures associées aux bananiers

	<i>A. varicaudatus</i>	<i>H. gracilis</i>	<i>H. pseudorobustus</i>	<i>M. ethiopica</i>	<i>M. incognita</i>	<i>P. goodeyi</i>	<i>S. cavenessi</i>
<i>A. varicaudatus</i>	0						
<i>H. gracilis</i>	0,17	0					
<i>H. pseudorobustus</i>	2,21	2,05	0				
<i>M. ethiopica</i>	0,34	0,52	2,57	0			
<i>M. incognita</i>	4,90*	4,73*	2,68	5,25*	0		
<i>P. goodeyi</i>	0,40	0,23	1,82	0,74	4,5*	0	
<i>S. cavenessi</i>	0,52	0,35	1,70	0,86	4,38*	0,12	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

En fonction des cultures associées, la densité de phytonématodes a varié de $84,3 \pm 14,7$ à $358,3 \pm 61,5$ individus/100g de racines (Figure

6) et elle est influencée par les plantes hôtes ($p = 0,0034$). Le taro est significativement plus infesté que le haricot (Tableau 6).

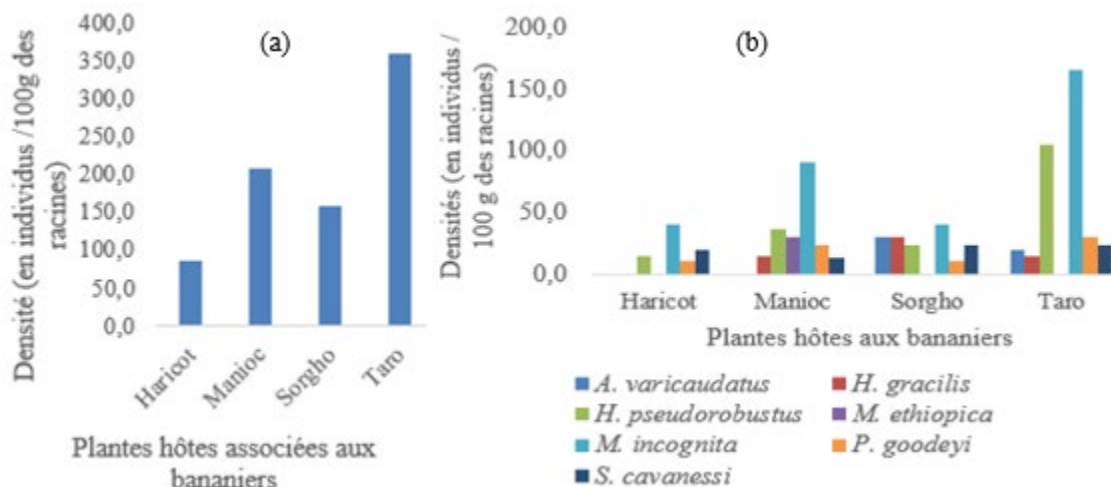


Figure 6: Densité globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes dans les racines des cultures associées aux bananiers

Tableau 6 : Comparaisons deux à deux des densités des phytonématodes dans les racines de plants de cultures associées aux bananiers

	Haricot	Manioc	Sorgho	Taro
Haricot	0			
Manioc	1,97	0		
Sorgho	1,04	0,93	0	
Taro	4,08*	2,11	3,04	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

Abondance relative des phytonématodes :

Les espèces *H. pseudorobustus* et *S. cavenessi* sont les plus dominantes avec respectivement 36,5% et 21,8 %, suivies de *P. goodeyi* et *M. incognita* avec 13,7 % chacune. Les espèces *P. intermedius* et *A. varicaudatus* ont été d'importance secondaire, avec moins de 10% d'abondance. *F. misellus* et *H. gracilis* se sont révélées comme étant des espèces

occasionnelles avec moins de 1% d'abondance (Figure 7). Des différences significatives ont été enregistrées entre les valeurs d'abondance relative des différentes espèces de phytonématodes dans les racines des plants des bananiers ($p = 0.0004$). Les espèces *H. pseudorobustus* et *S. cavenessi* ont été les espèces les plus infestantes, suivies de *P. goodeyi* et *M. incognita* (Tableau 7).

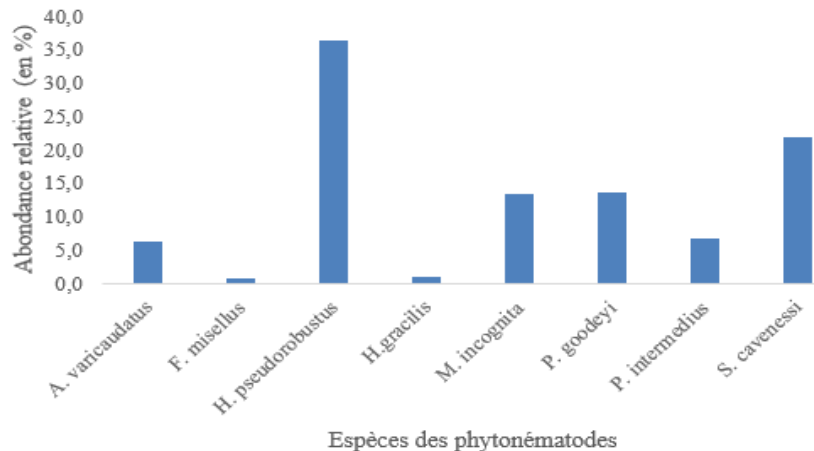


Figure 7: Abondance de phytonématodes sur les bananiers

Tableau 7 : Comparaisons deux à deux des abondances relatives des espèces de phytonématodes dans les racines de plants des bananiers

	<i>A. varicaudatus</i>	<i>F. misellus</i>	<i>H. pseudorobustus</i>	<i>H. gracilis</i>	<i>M. incognita</i>	<i>P. goodeyi</i>	<i>P. intermedius</i>	<i>S. cavenessi</i>
<i>A. varicaudatus</i>	0							
<i>F. misellus</i>	1,22	0						
<i>H. pseudorobustus</i>	6,67*	7,89*	0					
<i>H. gracilis</i>	1,15	0,07	7,81*	0				
<i>M. incognita</i>	1,58	2,79	5,08*	2,72	0			
<i>P. goodeyi</i>	1,65	2,87	5,02*	2,79	0,07	0		
<i>P. intermedius</i>	0,12	1,34	6,54*	1,27	1,45	1,52	0	
<i>S. cavenessi</i>	3,42	4,66*	3,22	4,8*	1,86	1,79	3,32	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

L'abondance relative des espèces de phytonématodes a varié significativement entre les groupes des bananiers ($p = 0,015$). Elle a varié de 8,8 à 63,2%, les

plantains ayant abrité le plus d'espèces avec des valeurs d'abondance relativement plus élevées dans la plupart des cas (Figure 8). La comparaison par paire des abondances

relatives des phytonématodes en fonction des groupes des bananiers a montré que les

plantains ont été les plus favorables à leur développement (Tableau 8).

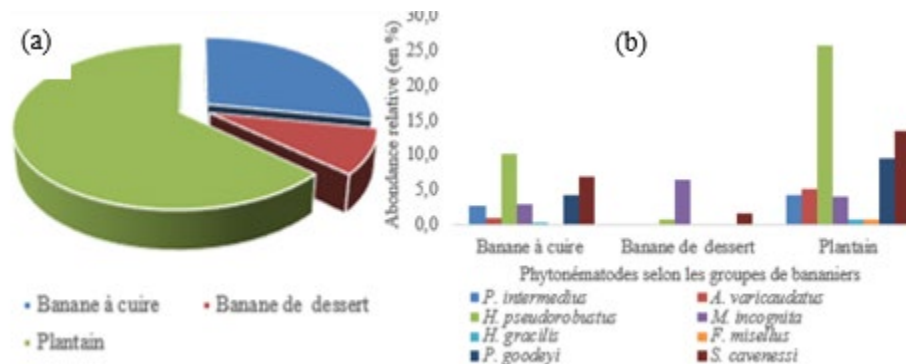


Figure 8: Abondance globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes selon les groupes des bananiers

Tableau 8: Comparaisons deux à deux des abondances relatives des phytonématodes selon les groupes des bananiers

	Bananiers à cuire	Bananiers de dessert	Bananiers Plantains
Bananiers à cuire	0		
Bananiers de dessert	1,96	0	
Bananiers plantains	4,0*	5,96*	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

L'abondance relative des phytonématodes dans les racines des bananiers est significativement influencée par les modalités d'associations culturales ($p < 0,001$). Elle est plus élevée dans les associations culturales comprenant le manioc et le taro et moins élevée dans celles comprenant le haricot et le sorgho (Figure 9). La présence du haricot et sorgho au côté du manioc et du taro diminue considérablement les infestations des phytonématodes dans les racines des bananiers

par rapport aux associations binaires correspondantes (Tableau 9). Ainsi, par rapport à la monoculture des bananiers, l'association Bananiers + Taro + sorgho + haricot est la moins infestée par les phytonématodes. Elle est suivie des associations Bananiers + Manioc + Sorgho et Bananiers + Haricot, et dans une certaine mesure des bananiers + manioc + Sorgho + haricot et Bananiers + Taro + Haricot.

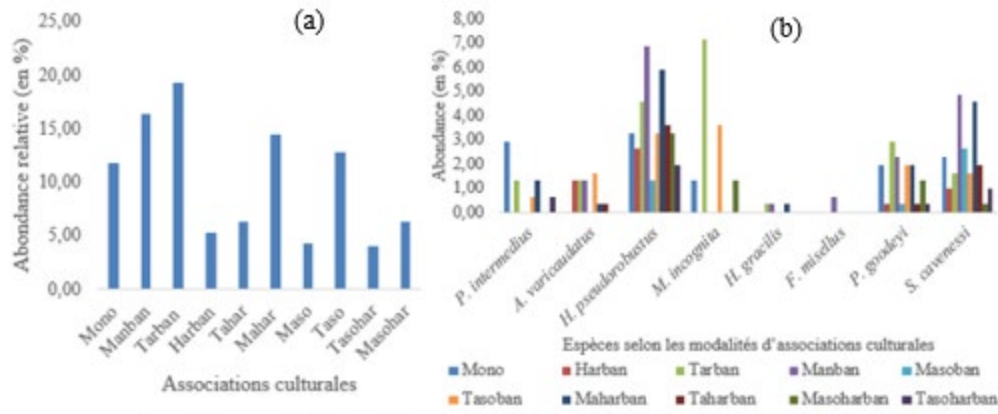


Figure 9: Abondance globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes dans les racines des bananiers selon les modalités d'associations culturales

Tableau 9: Comparaisons deux à deux des abondances relatives des phytonématodes selon les modalités d'associations culturales

	Mono	Harban	Manban	Tarban	Maharban	Taharban	Masoban	Tasoban	Masoharban	Tasoharban
Mono	0									
Harban	3,6	0								
Manban	2,4	6,1*	0							
Tarban	4,2*	7,7*	1,6	0						
Maharban	1,4	4,9*	1,1	2,7	0					
Taharban	3,1	0,5	5,5*	7,1*	4,4*	0				
Masoban	4,1*	0,5	6,6*	8,2*	5,5*	1,1	0			
Tasoban	0,5	4,0*	1,9	3,6	0,9	3,5	4,6*	0		
Masoharban	3,1	0,5	5,5*	7,1*	4,4*	0	1,1	3,5	0	
Tasoharban	4,0*	0,7	6,8*	8,4*	5,7*	1,2	0,2	4,8*	1,2	0

Les différences des moyennes (q) suivies de * sont significatives au test de Tukey ($q > q_{crit} = 3,82$)

Abondance et diversité des phytonématodes sur les cultures associées et leur interaction avec l'infestation des plants des bananiers :
Les espèces *M. incognita* et *H. pseudorobustus* ont été les plus abondances avec des pourcentages moyens respectifs de

44% et 24%. Elles sont suivies de *S. cavenessi*, *A. varicaudatus* et *H. gracilis* avec des abondances variant de 7 à 13%. Les espèces *P. goodeyi* et *M. ethiopica* se sont révélées occasionnelles avec moins de 4% chacune (Figure 10).

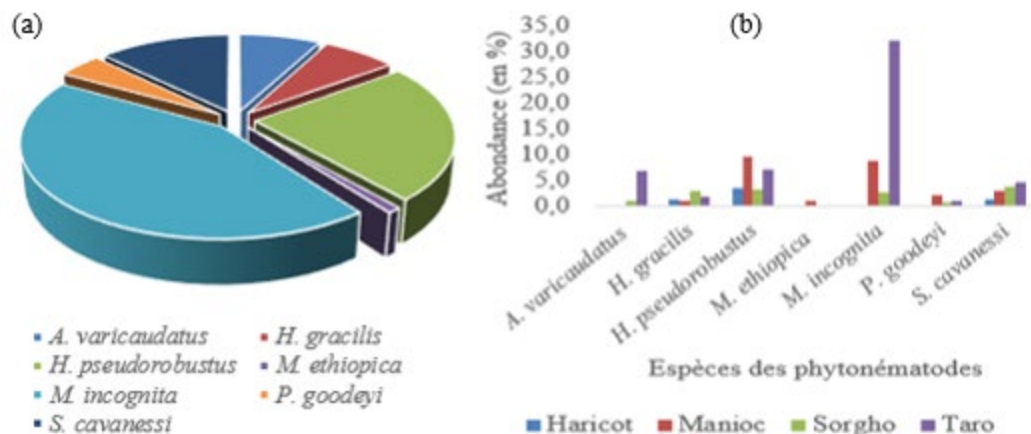


Figure 10 : Abondance globale (a) et spécifique (b) des phytonématodes dans les racines des cultures associées

Influence des caractéristiques physico-chimiques des sols sur l'abondance et la diversité des phytonématodes associées aux bananiers : La distribution et l'abondance des

espèces de phytonématodes ont été influencées par les caractéristiques physicochimiques des sols des parcelles (Figure 11).

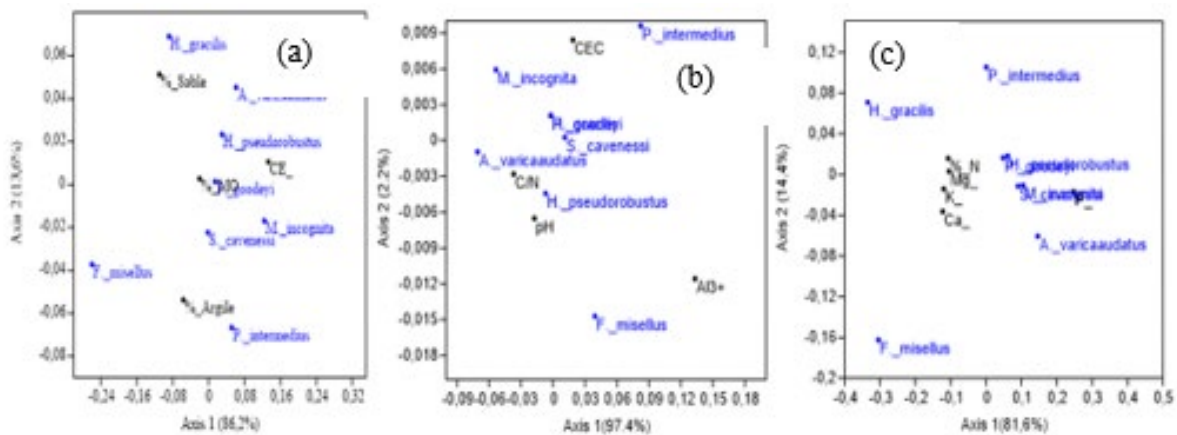


Figure 11: Réponses de phytonématodes aux caractéristiques physiques(a), chimiques (b) et sels minéraux (c) des sols

Les espèces *P. goodeyi*, *H. pseudorobustus* et *S. cavenessi* ne sont pas affectées par toutes les caractéristiques physico-chimiques des sols, contrairement aux autres espèces. La MO n'a pas d'influence avérée sur les espèces de phytonématodes. Contrairement à l'argile, le sable exerce une influence positive sur *H. gracilis* et *A. varicaudatus* et une influence négative sur *F. misellus*. Le Mg^{++} , Ca^{++} et N total n'ont pas une influence significative sur

les phytonématodes. Par contre, le pH, le C/N, la CEC les affectent positivement et inversement pour l'acidité aluminique. Seuls *F. misellus* et *H. gracilis* sont négativement influencés par Na^+ et P assimilables des sols. L'abondance et la densité des espèces de phytonématodes ont varié en fonction des modalités d'associations culturales des parcelles (Figure 12).

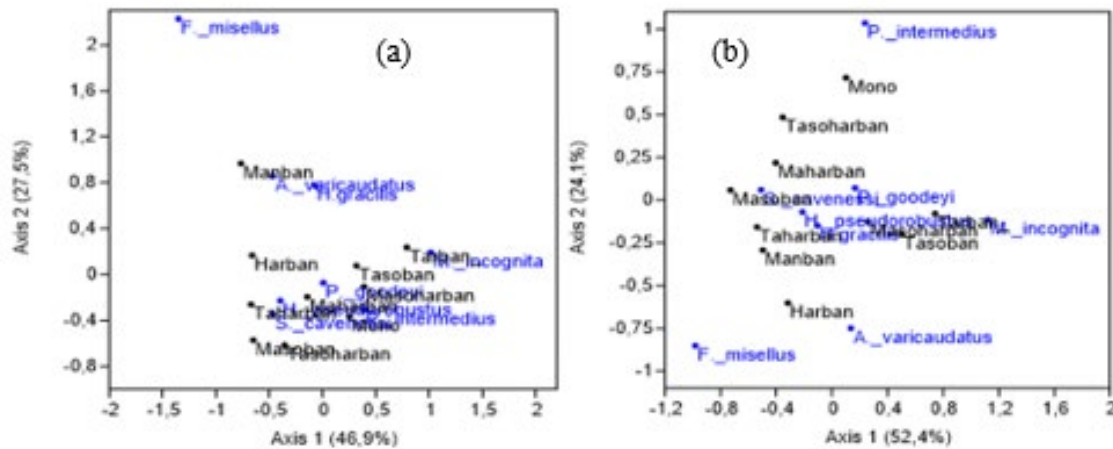


Figure 12 : Abondance (a) et densité (b) des espèces de phytonématodes en fonction des modalités des associations culturales

Les associations culturales comportant le manioc augmente l’abondance et la densité des espèces *H. gracilis*, *A. varicaudatus* et *F. misellus* sur les bananiers. Celles comportant le taro augmente l’abondance et la densité de

M. incognita, pendant que la monoculture favorise *P. intermedius*. La distribution de *P. goodeyi*, *H. pseudorobustus* et *S. cavenessi* n’est pas affectée par les modalités d’associations culturales (Figure 13).

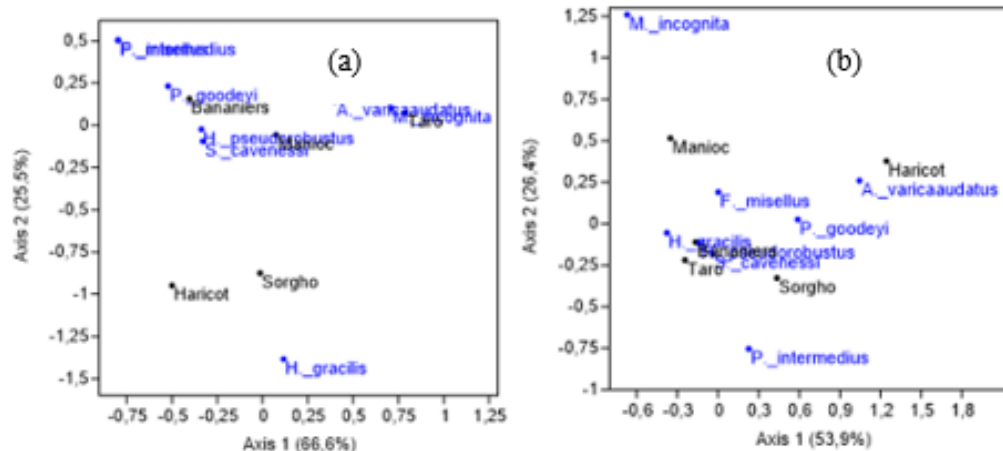


Figure 13 : Abondance (a) et densité (b) des espèces de phytonématodes en fonction des plantes hôtes des associations culturales.

L’abondance et la densité des *H. pseudorobustus* et *S. cavenessi* sur les bananiers ne sont pas affectées par les plantes hôtes. La proximité du taro et du manioc augmente l’abondance et la densité de *M.*

incognita et de *A. varicaudatus*. Celle du sorgho et du haricot influence l’abondance de *H. gracilis* et augmente la densité de *P. intermedius* (Figure 14).

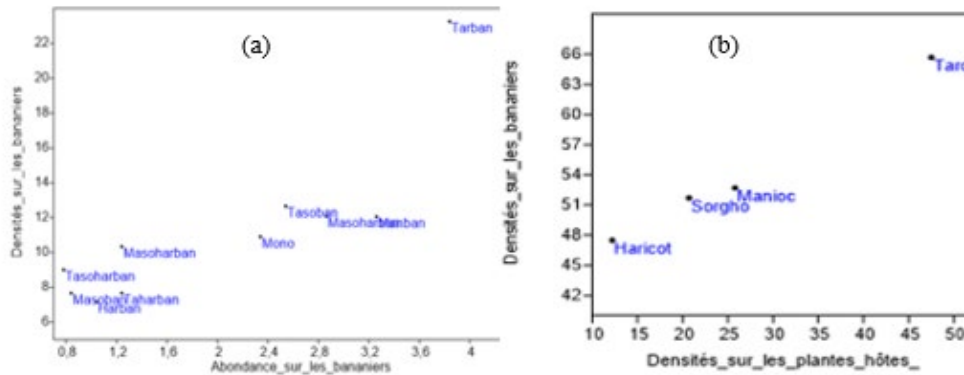


Figure 14 : Interactions entre les phytonématodes de cultures associées et leur abondance dans les racines des bananiers (a) selon les associations culturales et (b) selon les plantes hôtes

DISCUSSION

Les bananes et plantains sont sujettes à des infestations simultanées de plusieurs espèces de phytonématodes (Sikora *et al.*, 2018). L'analyse nématofaunique du site d'expérimentation de la présente étude a révélé la présence de huit espèces de phytonématodes. La diversité des phytonématodes associée aux bananiers au Nord-Kivu est plus riche que celle observée dans certains pays de l'Afrique Subsaharienne, comme en Côte d'Ivoire où six espèces ont été identifiées dans les bassins de production des bananiers du Centre-Est et du Centre-Ouest (Adiko et N'Guessan, 2001). Parmi les phytonématodes présents dans les échantillons figurent les genres *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* et *Meloidogyne*, considérés comme faisant partie des genres les plus dommageables pour les cultures des bananiers (Sikora *et al.*, 2018, Sousa *et al.*, 2024). Toutefois, *Radopholus similis*, traditionnellement considéré comme le phytonématode le plus important sur le bananier au Cameroun (Fogain *et al.*, 1996), en Afrique du sud (Daneel et Mbatyoti, 2024), en Côte d'Ivoire (Adiko et N'Guessan, 2001) et au Burkina-Faso (Sawadogo *et al.*, 2001), à cause de sa large distribution et de son incidence (Coyne *et al.*, 2018), n'a pas été détecté dans notre étude. Son absence au Nord-Kivu confirme les observations de Coyne *et al.* (2009) selon lesquelles *R. similis* est devenu

progressivement moins répandue, en dehors des bananiers de montagne en Afrique de l'Est. Par contre, *Helicotylenchus* spp a été le genre le plus abondant et le plus fréquent dans les parcelles d'expérimentation. Sa prédominance (avec une prévalence de 87,1%) dans les principales zones de production du Brésil a été précédemment rapportée par les travaux de Luquini *et al.* (2019). Certaines études ont révélé que *Helicotylenchus*, généralement associé aux bananiers, en combinaison avec *Meloidogyne* spp. cause de sérieux dégâts aux plantains, surtout en Afrique de l'Ouest et Centrale (Coyne *et al.*, 2018). Cette étude revêt donc une importance capitale pour une production durable et rentable du bananier en Afrique Subsaharienne. Les petits producteurs des bananiers associent la culture à d'autres spéculations alimentaires dans le but de maximiser l'utilisation de la terre afin d'obtenir des denrées alimentaires et des revenus supplémentaires. Toutefois, cette pratique influence le développement et le rejetonnage du bananier ainsi que la pression parasitaire (Lokossou *et al.*, 2012). Dans la présente étude, certaines associations culturales comme Bananiers + Taro/Manioc + Sorgho + Haricot ont entraîné une faible abondance des phytonématodes. Selon Quénéhervé *et al.* (2012) et Hambäckert *et al.* (2014), la diversité des cultures permet une dilution de la ressource vis-à-vis des

phytonématodes et limitent leur développement au bénéfice de la culture principale. Les liens entre la diversité des plantes sur une parcelle et la structure des communautés des phytonématodes ont été également expliqués par la théorie de niche écologique. Sa partition aboutit à l'exploitation différentielle des ressources et donc à l'utilisation de niches différentes par différentes espèces en compétition. La composition spécifique des communautés des phytonématodes est généralement affectée par différents facteurs environnementaux dont la composante plante-hôtes est la plus importante à l'échelle de la parcelle. Cette hypothèse a permis de mettre en évidence des effets nématotoxiques spécifiques à chaque espèce végétale (Djigal *et al.*, 2012). Cependant, la spécificité des couverts est plus dépendante de la composition que de leur diversité, même s'il n'y a pas ou peu d'effets synergiques directement liés à la diversité spécifique des couverts (Viketoft et Sohlenius, 2011). Toutefois, les effets spécifiques de couverts végétaux s'accroissent avec le niveau de diversification des agrosystèmes qui se révèlent plus influencé par des effets de cascade « *bottom-up* » que directement par la diversité spécifique des couverts (Scherber *et al.*, 2010). Ainsi, l'abondance élevée des phytonématodes dans les associations comprenant le taro et manioc corroborent la théorie selon laquelle certaines espèces de plantes influencent fortement les organismes du sol, qu'elles soient associées ou non à d'autres espèces végétales (Viketoft *et al.*, 2009). Nombreuses études estiment que les effets d'un couvert végétal sur les communautés de phytonématodes peuvent également s'expliquer par la qualité de la matière organique qui résulte des débris de récolte des plantes constitutives. Les matières organiques peuvent avoir des propriétés nématocides notamment si elles sont issues de débris de plantes à propriétés nématotoxiques. Leur efficacité étant fonction de la teneur en

glucosinolates, qui sont des précurseurs de l'isothiocyanate, molécule responsable des propriétés nématotoxiques (Doré *et al.*, 2004). Par ailleurs, lorsque le couvert est détruit, leur décomposition stimule l'activité microbienne qui se traduit par les successions écologiques dans les communautés des microorganismes du sol (Chauvin, 2015). Ainsi, par les effets de « cascades trophiques » au cours de successions écologiques, les apports de matières organiques influencent l'abondance des nématodes de différents niveaux trophiques et modifient la structure de leurs communautés. C'est le phénomène de cascade trophique « *bottom up* » (Wang *et al.*, 2011). L'abondance particulièrement élevée des phytonématodes sur le manioc et le taro et faible sur le haricot corrobore parfaitement l'hypothèse de l'idiosyncrasie des espèces végétales selon laquelle chaque espèce végétale influence les communautés de phytonématodes d'une manière qui lui est propre (Viketoft *et al.*, 2005 ; Viketoft, 2008). Le système racinaire des plants est la composante biotique majeure dans le parasitisme. Selon leur nature et le stade physiologique, les plantes réagissent différemment vis-à-vis des phytonématodes. Ainsi, les plantes à tubercules attirent et hébergent plus de phytonématodes que les plantes à racines fasciculées ou pivotantes qui, pour la plupart se caractérisent par une faible tendreté (Coyne *et al.*, 2010). Certaines études ont révélé que l'orge, le soja, le haricot, l'arachide, le sésame et le sorgho sont des hôtes pauvres ou de mauvais hôtes et antagonistes d'autres microorganismes du sol, en même temps que leurs produits de décomposition nuisent particulièrement aux phytonématodes. Par contre, la luzerne, la moutarde, l'avoine, le gombo, le sarrasin, le niébé, le maïs, le manioc et le taro sont des plantes hôtes sensibles favorisant la prolifération des phytonématodes (Sipes and Araka, 1997). Dans notre étude, des observations similaires ont été enregistrées au niveau des cultures du haricot, du sorgho, du

manioc et du taro. En Afrique Subsaharienne, le manque de connaissance sur les phytonématodes par les producteurs rend plus complexe l'exploitation des potentialités de la lutte culturale dans la gestion des phytonématodes. C'est par exemple le cas en Ouganda où 17% des producteurs de manioc accusent des pertes de rendement de l'ordre de 66% alors que ceux du Nigéria ont une augmentation de l'ordre 25 à 200% suite à la solarisation des champs infestés par les phytonématodes des racines (Coyne, 2004). Plusieurs travaux ont révélé que la répartition des phytonématodes sous différentes cultures est en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol (Mokrini *et al.*, 2020 ; Zoubi *et al.*, 2022). Toutefois, l'effet des éléments physico-chimiques du sol varie en fonction des genres phytonématodes. Zoubi *et al.* (2022) ont observé que, sous la culture de l'oranger agrumes au Maroc, *T. semipenetrans*, *X. americanum*, *Pratylenchus* spp. et *Helicotylenchus* spp. étaient associés au calcium, au carbone, au sodium, au potassium et à la matière organique alors *Meloidogyne*

spp., *Pratylenchus* spp. et *Xiphinema* spp. ont été associés à la texture du sol et à sa teneur en phosphore. Pour leur part, Estioko et Reyes (1984) ainsi que Prot (1997) avaient remarqué que les fortes concentrations en sels minéraux (KN_3 , NaCl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_2), ont un effet répulsif sur *Meloidogyne* spp., ce qui n'est pas le cas sur toutes les espèces de phytonématodes. Mokrini *et al.* (2020) ont rapporté que *Pratylenchus* spp., *Paratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp. et *Xiphinema* spp. ont une relation positive avec les sols sablonneux et la teneur en minéraux (en particulier Fe, P et Zn) pendant que *Rotylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Tylenchorhynchus* spp. et *Hoplolaimus* spp. étaient significativement en corrélation avec les sols argileux et limoneux et le magnésium. La texture des sols argileux et limoneux et la teneur en magnésium. Cette variabilité de réponses entre les différents éléments physico-chimiques des sols et les genres de phytonématodes a été également constaté dans la présente étude réalisée au Nord-Kivu.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

La présente étude permet de mettre en exergue l'influence significative des cultures associées sur l'infestation des bananiers dans la pratique d'associations culturales. Les espèces *H. pseudorobustus*, *S. cavenessi*, *P. goodeyi* et *M. incognita* ont été les phytonématodes les plus abondantes sur le site d'expérimentation du Nord-Kivu. Le haricot et le sorgho sont moins infestés par ces phytonématodes et donc moins favorables à leur développement. La proximité de ces cultures réduit la pression parasitaire sur les bananiers. Le manioc, bien que moins parasité que les bananiers, s'est révélé très favorable au développement des phytonématodes, entraînant leur forte prolifération sur les bananiers. Le taro est fortement attaqué par les phytonématodes et sa proximité exacerbe les attaques sur les bananiers. Dans un système de production à

base des bananiers, les cultures du haricot et du sorgho peuvent donc être utilisées comme des plantes compagnes moins attrayantes pour les phytonématodes et le taro comme une culture piège. Les propriétés physico-chimiques des sols, notamment l'argile, le rapport C/N et la CEC permettent une faible prolifération des phytonématodes. Ainsi, par rapport à la monoculture des bananiers, l'association Bananiers + Taro + sorgho + haricot réduit mieux la pression des phytonématodes sur le bananier suivie des associations Bananiers + Manioc + Sorgho et des bananiers + Haricot. Le statut d'hôtes des cultures associées et les propriétés physico-chimiques du sol sont nécessaires à la mise en place d'une stratégie durable et économique de gestion des phytonématodes dans un système de production à base des bananiers.

REFERENCES

- Adiko A. et Badou N'Guessan A., 2001, Evolution de la nématofaune du bananier plantain (*Musa AAB*) en Côte d'Ivoire, *InfoMusa* 10(2) :26-27.
- Beed F., 2010, *L'ampleur des problèmes liées au flétrissement bactérien de la banane à l'Est de la RDC: Une évaluation d'experts*. CIALCA, Kinshasa
- Charters R., 2012, *Les systèmes de production bananiers en danger: Répondre efficacement à la maladie du Flétrissement bactérien dans la région des Grands-Lacs*, FAO, Rome,
- Chauvin C., 2015, *Influence de l'utilisation de plantes de services sur les communautés de nématodes et les fonctions des sols dans un agroécosystème bananier en phase d'interculture*. Ecosystèmes. Université Montpellier.
- Coyne D. L., 2004, *Nematodes: pre- and post-harvest pests of root and tuber crops? A brief overview*. In 2001 International Symposium on Root and Tuber Crops, IITA : 522-526.
- Coyne D.L., Cordata L., Dalzell J.J., Claudius Cole A.O., Haukeland S., Luambano N., Talwana H., 2018, «Plant-Parasitic Nematodes and Food Security in Sub-Saharan Africa». *Annu. Rev. Phytopathol.* 56: pp. 381– 403.
- Coyne D.L., Nicol J.M., Claudius B., 2010, *Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire*, IITA, Cotonou.
- Coyne DL, Fourie D, Moens M., 2009, Current and future management strategies in resource-poor regions, *Root-Knot Nematodes*. CAB International Wallingford UK pp: 444–475.
- Daneel M. and Mbatyoti A., 2024, Nematodes in banana, chapter. *Achieving sustainable cultivation of bananas* 3: 393-418
- Dhed'a D., Adheka J., Onautshu D., Swennen R., 2019, *La culture des bananiers et plantains dans les zones agroécologiques de la République Démocratique du Congo*, Presse universitaire, Université de Kisangani
- Djigal D., Chabrier C., Tixier P., Duyck P.F., Achard R., Quénéhervé P., 2012, «Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems». *Soil Biology & Biochemistry* 48, 142-150
- Doré T., Sène M., Pellissier F., & Gallet C., 2004, Approche agronomique de l'allélopathie. *Cah Agric* 13, 249-256.
- Duyck P., Pavoine S., Tixier P., Chabrier C., Hubervic C., Jules-Rosette R., Hubervic J., Topart P., Marie-Luce S., Bastol C., Quénéhervé P., 2015, «Niche écologique des nématodes phytophages dans les agrosystèmes bananiers», *Systèmes Bananes et Ananas et Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique*, PRAM-CIRAD, pp 21-23
- Estioko RV and Reyes T., 1984, Population dynamics of plant-parasitic nematodes associated with sugarcane in Negros Occidental in relation to soil type and weather pattern. *Proc Philippine Sugar Technol Ass* ; 31 : 235-352
- FAO, 2022, *Banana Market Review: Preliminary Results 2021*; Rome
- Fogain A., Achard R., Kwa M., Ferrier P., Saram J.L., 1996, La lutte contre les nématodes des bananiers au Cameroun: bilan de 10 ans d'étude de l'efficacité des composés nématicides, *Fruits* 50:151-161.
- Gurr G.M., Wratten S.D., Landis D.A., You M., 2017, «Habitat Management to Suppress Pest Populations: Progress and Prospects ». *Annu. Rev. Entomol.* 62, 91–109.
- Hambäck P.A., Inouye B.D., Andersson P., Underwood N., 2014, Effects of plant

- neighborhoods on plant-herbivore interactions: resource dilution and associational effects. *Ecology* 95, 1370-1383.
- INS, 2022. *Annuaire statistique et Indice des prix à la consommation*, Revue annuelle du ministère de Plan de la RDC, Commission des études statistiques et des comptes nationaux, Kinshasa.
- Luquinia L., Barbosaa D., Haddadb F., Ferreirab C.F., Amorim E.P., 2019, Nematode survey and biochemical characterization of *Meloidogyne* spp. in a main banana production area in Brazil. *Crop Protection* 117, 94-99.
- MinPro de plan, 2017, *Localisation des Objectifs de développement durable dans le Nord-Kivu*, Rapport provincial, OCDD, RD Congo, Goma.
- Mokrini F., Eddine S.L, Karra Y., Aicha S., Dababat A.A., 2020, Diversity and incidence of plant-parasitic nematodes associated with saffron (*Crocus sativus* L.) in Morocco and their relationship with soil physicochemical properties. *Nematology* 22 87-102, <https://doi.org/10.1163/15685411>
- Prot J.C., 1997, Influence of concentration gradients of salts on the behaviour of four plant parasitic nematodes. *Rev Nématol* 2: 11-6.
- Quénéhervé P., Godefroid M., Topart P., Marie-Luce S., Salmon F., Marie P., Chabrier C., 2012, Differential responses to plant-feeding nematodes among sibling cultivars of dessert bananas (*Cavendish* subgroup) and a synthetic hybrid. *Crop protection* 42,30-35.
- Sawadogo A., Thio B., Konate Y. A., Kiemde S., 2001, Les nématodes parasites du bananier dans l'Ouest du Burkina Faso, *InfoMusa* 10(2) :28-29.
- Scherber C., Eisenhauer N., Weisser W., Schmid B., Voigt W., Fischer M., Schulze E.D., Roscher C., Weigelt A., Allan E., Bessler H., Bonkowski M., Buchmann N., Buscot F., Clement L.W., Ebeling A., Engels C., Halle S., Kertscher I., Klein A.M., Koller R., König S., Kowalski E., Kummer V., Kuu A., Lange M., Lauterbach D., Middelhoff C., Migunova V., Milcu A., Müller R., Partsch S., Petermann J., Renker C., Rottstock T., Sabais A., Temperton V., Tschamntke T., 2010, «Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment». *Nature*, 468, 553- 556.
- Sikora R. A., Coyne D., Quénéhervé P., 2018. Nematode parasites of bananas and plantains. In: Sikora, R. A., Coyne, D., Hallmann, J. and Timper, P. (Eds.), *Plant-Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International, pp. 617-657.
- Sipes B and Araka A, 1997, Root-knot Nematode Management in Dryland Taro with Tropical Cover Crops, *Supplement to the Journal of Nematology* 29 (4S):721-724.
- Sousa A.B.P., Rocha A.d.J., Oliveira,W.D.d.S., Rocha, L.d.S., Amorim E.P., 2024, Phytoparasitic nematodes of *Musa* spp. with emphasis on sources of genetic resistance: a systematic review. *Plants* 2024, 13, 1299. <https://doi.org/10.3390/plants13101299>
- Tripathi L., Babirye A., Roderick H., Tripathi J. N., Changa C., Urwin P. E., Tushemereirwe W.K., Coyne D., Atkinson H. J., 2015. Field resistance of transgenic plantain to nematodes has potential for future African food security. *Scientific Reports* 5: 81-127.
- Viketoft M. and Sohlenius B., 2011. Soil nematode populations in a grassland

- plant diversity experiment run. *Applied Soil Ecology* 48, 174-184.
- Viketoft M., Bengtsson J., Sohlenius B., Berg M.P., Petchey O., Palmborg C., Danell K., 2009, Long-term effects of plant diversity and composition on soil nematode communities in model grasslands. *Ecology* 90, 90-99.
- Viketoft M., Palmborg C., Sohlenius B., Huss-Danell K., Bengtsson J., 2005, Plant species effects on soil nematode communities in experimental grasslands. *Applied Soil Ecology* 30, 90-103.
- Wang K.H., Hooks C.R.R., Marahatta S.P., 2011, Can using a strip-tilled cover cropping system followed by surface mulch practice enhance organisms higher up in the soil food web hierarchy? *Applied Soil Ecology* 49, 107-117.
- Zoubi B., Mokrini F., Dababat A.A., Amer M., Ghoulam C., Lahlali R., Laasli S.-E., Khfif K., Imren M., Akachoud O., 2022, Occurrence and Geographic Distribution of Plant-Parasitic Nematodes Associated with Citrus in Morocco and Their Interaction with Soil Patterns. *Life*, 12, 637.