

Diversité, des nématodes phytoparasites dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) au Togo

[Diversity of plant-parasitic nematodes in the rhizosphere of cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforests in Togo]

Kadanga Pana^{1,2}, Tchabi Atti^{1,3}, Ablede Komlan Adigninou², Ametefe Komivi Exonam², M'Boumba Etienne Blaise⁴, and
Kondow Moubarak²

¹Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, Togo

²Centre de Recherche Agronomique de la zone Forestière, Kpalimé, Togo

³Centre d'Excellence en Protection Durable des Cultures, Université de Kara, Togo

⁴Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Togo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Works on the diversity, frequency and abundance of plant-parasitic nematodes present in the rhizosphere of cocoa agroforests is lacking in Togo, although these informations are essential for establishing effective control methods. The aim of this study was therefore to identify the parasitic nematodes infesting cocoa agroforests in Togo. Soils and roots were sampled in 24 orchards spread over four agroforest types (< 10 years, 10 to 20 years, 21 to 30 years and > 30 years) and three agroecological subzones (Agou penepain, piedmonts and plains and Plateaux and mountains). The nematodes extracted were identified on the basis of morphological criteria. The study revealed the presence of *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* and *Radopholus* genera and microbivorous nematodes (bacterivores and fungivores). In roots, the genera *Meloidogyne*, *Pratylenchus* and *Helicotylenchus* are the most frequent, accounting for 82.46%. In soils, the *Meloidogyne* genus and microbivorous nematodes were the most frequent, accounting for 72.65%. Finally, the highest nematode infestations were recorded in agroforests of less than 20 years in the piedmonts and plains. The results obtained could serve as a basis for developing effective nematode management strategies for sustainable cocoa production.

KEYWORDS: *Theobroma cacao* L., nematodes, agroforests, agroecological subzones, frequency of occurrence, abundance.

RESUME: Les travaux sur la diversité des nématodes phytoparasites présents dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers font défaut au Togo alors que ces informations sont essentielles pour établir des méthodes de contrôle efficace. L'objectif de cette étude est donc d'identifier les nématodes parasites qui infestent les agroforêts à cacaoyers au Togo. Des prélèvements de sols et de racines ont été effectués dans 24 vergers répartis dans quatre types d'agroforêts (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans) et trois sous zones agroécologiques (pénéplaine d'Agou, piémonts et plaines et Plateaux et montagnes). Les nématodes extraits ont été identifiés sur la base de critères morphologiques. L'étude a révélé la présence des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus* et des nématodes microbivores (bactériovores et fongivores). Dans les racines, les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus* et *Helicotylenchus* sont les plus les plus fréquents et représentent 82,46%. Dans les sols, le genre *Meloidogyne*, et les nématodes microbivores sont plus fréquents et représentant 72,65%. Enfin, les plus fortes infestations de nématodes ont été enregistrées dans les agroforêts inférieures à 20 ans des piémonts et plaines. Les résultats obtenus pourront servir de base au développement des stratégies efficaces de gestion des nématodes pour une production durable de cacao.

MOTS-CLEFS: *Theobroma cacao* L., nématodes, agroforêts, sous zones agroécologiques, fréquence d'occurrence, abondance.

1 INTRODUCTION

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une culture économiquement importante qui se classe parmi les cultures d'exportations en Afrique de l'Ouest [1]. La surface dédiée à la culture du cacao s'est fortement développée au cours des 60 dernières années, passant d'environ 4,4 millions d'hectares dans les années 1960 à presque 12 millions d'hectares en 2021, pour une production de plus de 5 millions de tonnes de cacao par an [2]. La ceinture cacaoyère ouest-africaine (de la Côte d'Ivoire au Cameroun) représente actuellement plus de 73% de la production mondiale [3], le reste provenant d'Amérique et d'Asie.

Au Togo, le cacao est l'un des principaux produits agricoles de rente d'exportation et constitue une source de revenus non négligeable pour les producteurs. La production de cacao au Togo est assurée à plus de 90 % par de petits exploitants agricoles [4] qui emblavent une superficie moyenne de 26 356,66 ha pour une production nationale d'environ 12 674,43 tonnes de cacao marchand par an avec un rendement moyen faible de 506,83 kg/ha [5] contre un potentiel de 1200 à 3500 kg/ha [6]. Cette faible productivité des agoforêts à cacaoyers s'explique par plusieurs contraintes dont le vieillissement des vergers existants, l'épuisement des réserves forestières, la baisse de la fertilité des sols [7], les mauvaises techniques de gestion et la plantation de cultivars à faible rendement. En plus de ces contraintes s'ajoutent la présence de ravageurs et de maladies [8] dont les nématodes parasites ([9]; [10]). En effet, les nématodes sont des vers ronds, généralement filiformes avec plus de 14 000 espèces de Nematoda décrites [11]. Les genres décrits sont bien répartis dans presque tous les habitats de la planète, représentant plus de 80% de la diversité taxonomique et fonctionnelle des métazoaires dans les sols ([12]; [11]). Ils sont restés des éléments clés de la biodiversité des sols et représentent de précieux bio-indicateurs des réseaux alimentaires du sol [11]. Une plus grande diversité promet d'être décrites au fur et à mesure que l'exploration biologique se poursuit sur les espèces encore inconnues [12]. Ces microorganismes occasionnent des pertes de production de cacao de 15 à 60 % [13]. Les dégâts causés par les nématodes sont les plus importants sur les jeunes plants, où les pertes peuvent atteindre 100% [14] si rien n'est fait. Les travaux de [9] sur les nématodes du cacaoyer au Nigeria ont rapporté que les nématodes ne peuvent être ignorés dans la recherche d'une productivité améliorée et durable du cacao. Ils ont également suggéré que le problème des nématodes sur les jeunes plants de cacaoyers et l'effet de leur multiplication incontrôlée sur les cacaoyers adultes méritent d'être étudiés.

Au Togo, à part les travaux préliminaires de [15] qui ont révélé la présence de huit espèces de nématodes dans les plantations de cacao étudiées, il y a une pénurie d'informations concernant l'abondance, la distribution et la biodiversité des espèces de nématodes phytoparasites associées aux agoforêts à cacaoyers. L'existence d'un rapport plus complet sur cet organisme dans les sols sous culture du cacao dans les conditions agricoles de la région serait un atout. C'est dans cette perspective que la présente recherche a été proposée pour investiguer la prévalence, l'abondance et la distribution de espèces de nématodes phytoparasites associés aux agoforêts à cacaoyers dans la zone forestière du Togo.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

L'étude a été conduite dans la zone agroécologique de forêts qui représente la grande zone de production cacaoyère au Togo. Cette zone est subdivisée en trois sous zones agroécologiques: la sous-zone des plateaux, la sous-zone de piedmonts et plaines, la péninsule d'Agou [16] (figure1):

- **La sous zone des montagnes et plateaux:** Elle est constituée des plateaux de Kouma, Danyi, Akposso et Akébou d'altitude moyenne de 700 m d'une part et des monts isolés d'Agou et d'Haïto d'autre part. Elle jouit d'un climat de montagne avec une pluviométrie annuelle de 1200-1600 mm. Les sols sont de types ferrallitiques ou ferrugineux à concrétion. La végétation est constituée de forêts partiellement dégradée et de savanes arborées et arbustives.
- **La sous zone de piedmonts et plaines:** Elle est représentée à l'Est par les plaines des préfectures de Kloto, Kpélé-Akata et Amou et du côté Ouest par la plaine du Litimé (Ouest de la préfecture de Wawa). Ces espaces bénéficient d'un climat de montagne avec une pluviométrie annuelle de 1300-1600 mm. Les sols sont ferrallitiques épais. La végétation est composée de forêts soudano-guinéennes alternée de savanes arborées.
- **La péninsule d'Agou:** Elle correspond à la vaste étendue de sols ferrugineux sur roche métamorphique qui couvre l'ensemble de la préfecture d'Agou excepté la partie montagneuse. Le climat est de type tropical humide avec une pluviométrie annuelle de 900 – 1200 mm. La végétation est essentiellement constituée de la savanes arborées ou guinéenne et des forêts galeries avec des forêts artificielles de tecks par endroit.

2.2 PRELEVEMENTS DE SOLS ET DE RACINES

Les échantillons de sols et de racines ont été prélevés dans les trois sous zones agroécologiques. Dans chaque sous zone agroécologique, les prélèvements ont été faits en considérant quatre types d'agroforêts qui représentent les principaux stades d'évolution des vergers au cours du temps [17]:

- Les jeunes plantations entrant en production (< 10 ans),
- Les cacaoyers adultes en pleine production (10 à 20 ans),
- Les cacaoyers vieillissants dont la production est en déclin (21 à 30 ans)
- Les vieilles plantations (>30 ans)

Sur chaque parcelle, cinq points d'échantillonnage ont été choisi en suivant les diagonales de la parcelle. Au niveau de chaque point d'échantillonnage, des échantillons de sol/racines ont été prélevés sous cinq cacaoyers. Sous chaque arbre, un échantillon de sol (250-300 g) et de racines fines ont été prélevés dans la couronne de 50 cm autour du cacaoyer sur un rayon de 50 à 100 cm. Les échantillons de chaque parcelle ont été mélangés pour former un total de 24 échantillons composites de 500 grammes de sols et 24 échantillons de racines. Ces échantillons ont servi à l'extraction et l'identification des nématodes dans les racines et dans le sol. Ces échantillons ont été conservés au frais dans une glacière et transportés au Laboratoire de Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale de l'Université de Lomé-Togo dans les 24 h après la collecte.

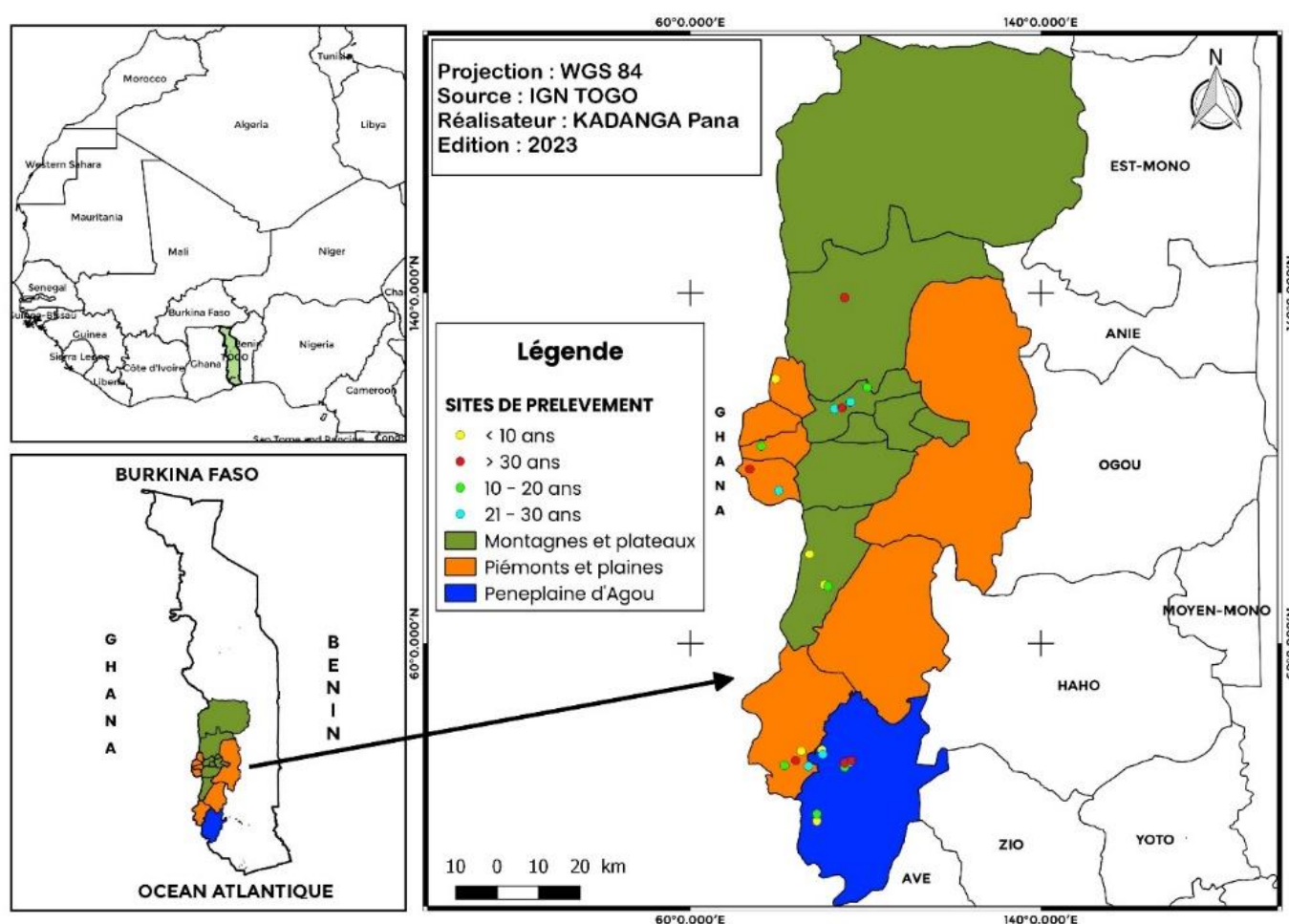


Fig. 1. Zone d'étude et sites de prélèvements des échantillons de racines et de sols

2.3 EXTRACTION DES NEMATODES

L'extraction des nématodes des sols et des racines a été effectuée suivant la méthode de Baermann modifiée [18]. Les racines provenant d'un même verger ont été lavées à l'eau de robinet, découpées en petits morceaux (un centimètre en moyenne) puis broyées à l'aide d'un Moulinex. Pour chaque échantillon de racine, un sous-échantillon de 10 g a été utilisé pour l'extraction des nématodes [18]. Par ailleurs, chaque échantillon de sol a été soigneusement mélangé et un sous-échantillon de 100 ml de sol a été utilisé pour l'extraction des nématodes. L'extraction des nématodes a été effectuée sur chaque échantillon de sol et de racines à l'aide d'un dispositif constitué

de passoires tapissées à l'intérieur de papiers hygiéniques (jouant le rôle de filtre) et le tout est placé dans une bassine en plastique suivant la méthode de [19]. Ensuite l'eau a été ajoutée jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sols ou de racines, favorisant ainsi la migration des nématodes des échantillons de sols et de racines vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction. Les échantillons ainsi préparés sont laissés incubés pendant 24 h pour le sol et 48 h pour les racines à 25°C dans une chambre noire. Après 24 heures pour le sol et 48 heures pour les racines, le milieu d'extraction a été récupéré dans une éprouvette graduée. Après 30 minutes de décantation du milieu, le surnageant a été diminué avec précaution pour ramener le niveau du milieu à 100 ml dans l'éprouvette avant de passer à l'observation à la loupe.

2.4 COMPTAGE DES NEMATODES

Le dénombrement des nématodes a été fait à l'aide d'une boîte de Pétri à fond quadrillé de 15 ml de contenance. Les 100 ml du milieu d'extraction préalablement constitués dans l'éprouvette ont été bien agités et 10 ml de suspension ont été prélevés à l'aide d'une pipette graduée dans la boîte de Pétri à fond quadrillé puis placés sous la loupe binoculaire pour l'observation et comptage des nématodes. Trois observations ont été faites pour chaque échantillon.

Après dénombrement, le nombre de nématodes a été rapporté au dm^3 de sol humide pour les échantillons du sol et au gramme de racine pour les échantillons de racine.

La fréquence et l'abondance des genres de nématodes identifiés ont été ensuite calculées à partir des formules suivantes:

$F = (e/n) * 100$ avec e le nombre d'échantillons contenant le genre considéré et n : nombre total d'échantillons.

$A = \Sigma Xi/e$ avec Xi le nombre d'individus du genre considéré par kg de sol ou par gramme de racines sèches et e est le nombre d'échantillons dans lesquels le genre considéré est présent.

2.5 FIXATION ET IDENTIFICATION DES NEMATODES

Les nématodes observés ont été fixés dans une solution fixatrice composée l'éthanol 95° (2%), du formaldéhyde à 35% (8%) et de l'eau distillée 90% [18] puis chauffé à une température de 70°C. Cette solution fixatrice reste stable pour une très longue période et les nématodes gardent une apparence proche de leur vivant, car ils ne se dessèchent pas. L'identification a été faite au Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologie Appliquée de l'Université de Kara à l'aide d'un microscope (Motic, Model B1) aux grossissements 4; 10; 40 et 100 sur la base de critères morphologiques en utilisant les clés d'identification [20].

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique a porté sur la densité de nématodes dans le sol et de racines des quatre types d'agroforêts (5 à 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans) et des différentes sous zones agroécologiques. Les densités des nématodes dans les différents types d'agroforêts des sous zones agroécologiques ont été analysées en utilisant le logiciel SPSS version 25.0 à travers une analyse des variances (ANOVA) et les différentes moyennes ont été discriminées et comparées par le test de Student-Newmann-Keuls (SNK) au seuil de 5%. Par ailleurs, avant l'analyse, les densités moyennes des nématodes ont été normalisées en utilisant la transformation $\log_{10}(x + 1)$ (où x est la densité moyenne de nématodes).

3 RESULTATS

3.1 DIVERSITE DES NEMATODES RECENSES DANS LES VERGERS CACAOYERS AU TOGO

Le Tableau 1 présente les résultats de l'identification des nématodes des racines et du sol issu des sites prospectés dans les sous zones agro écologiques (pénéplaine d'Agou, Piémonts et plaines, Plateaux et montagne) du Togo. Au total, cinq (05) genres de nématodes parasites du cacaoyer ont été identifiés sur l'ensemble des sites. Il s'agit des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus*. L'étude a également révélé la présence des nématodes microbivores (bactériovores et fongivores). Les cinq genres de nématodes sont répartis en trois (03) familles, un (01) ordre et une (01) classe. L'analyse a révélé la présence d'un (01) endoparasite sédentaire (*Meloidogyne*), de deux (02) endoparasites migrants (*Pratylenchus* et *Radopholus*) et de deux (02) ectoparasites (*Helicotylenchus* et *Scutellonema*) (tableau 1).

Tableau 1. Les genres de nématodes identifiés sur les différents sites prospectés

Genres	Classe	Ordre	Famille	Relations avec la plante
<i>Meloidogyne</i>	Secernentea	Tylenchida	Heteroderidae	Endoparasite sédentaire
<i>Pratylenchus</i>			Pratylenchidae	Endoparasite migrateur
<i>Radopholus</i>			Hoplolaimidae	Ectoparasites
<i>Helicotylenchus</i>				
<i>Scutellonema</i>				
<i>Nématodes bactérivores</i>				Saprophytes
<i>Nématodes fongivores</i>				

3.2 DIVERSITE DES NEMATODES SELON LEUR HABITAT

L’inventaire des nématodes sous les cacaoyers a fait ressortir un effectif total de 672 individus dont 171 individus (25,45%) des racines et 501 individus (74,55%) du sol. Les cinq (05) genres identifiés (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus*) ont été enregistrés à partir des échantillons de racines et du sol. Cependant, les nématodes microbivores (bactérivores et fongivores) ont été relevés uniquement à partir d’échantillons de sol.

Dans les racines, les nématodes prévalent ont été représentés par les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus* et *Helicotylenchus* avec des fréquences d’occurrence respectives de 39,77%, 22,22% et 20,47% et représentent 82,46% des nématodes racinaires enregistrés. Par contre, dans les échantillons de sols, les nématodes prévalent ont été le genre *Meloidogyne*, les bactérivores et les fongivores avec des fréquences d’occurrence respectives de 29,94%, 23,15% et 19,56% fréquences d’occurrence représentant 72,65% des nématodes du sol. Par ailleurs, les fréquences d’occurrence des cinq genres de nématodes phytoparasites (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus*) ont été plus élevées dans les racines que dans le sol (figure 2).

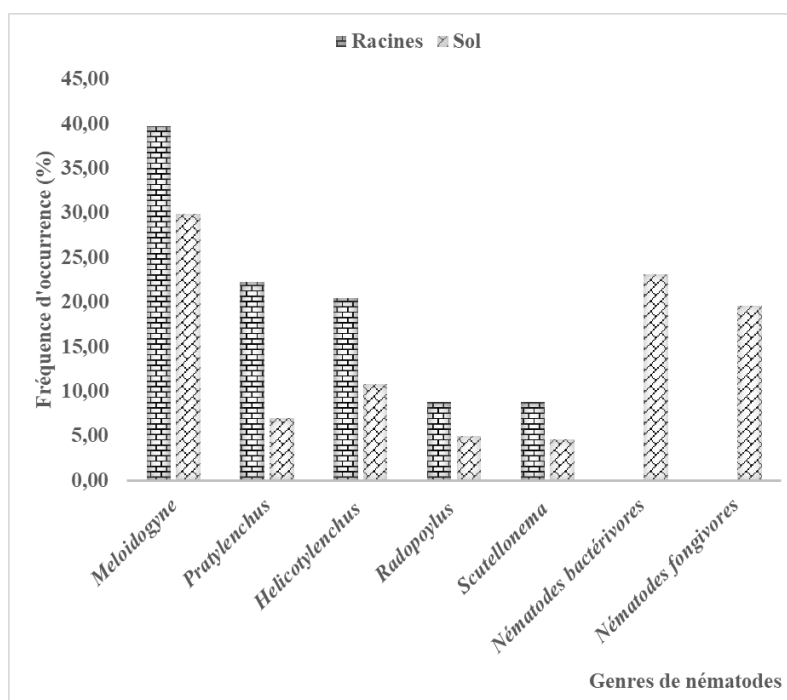


Fig. 2. Diversité des nématodes phytoparasites selon leur habitat

3.3 DIVERSITE DE NEMATODES DANS LES RACINES ET LES SOLS SOUS CACAOYERS AGROFORETS

Dans les échantillons de racines, les plus fortes densités de nématodes ont été enregistrées pour les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, et *Helicotylenchus*. Toute fois, quel que soit le genre considéré, les plus fortes infestations ont été observées dans les agroforêts inférieures à 20 ans. Par ailleurs, les densités des genres *Meloidogyne* et *Helicotylenchus* sont plus élevées dans les agroforêts adultes en production que dans les jeunes agroforêts alors que pour le genre *Pratylenchus*, la plus forte densité est enregistrée dans les jeunes vergers. Enfin, le genre *Scutellonema* n’a pas été retrouvé dans les racines des agroforêts vieillissantes (21 à 30 ans) alors que le genre *Radopholus* n’a pas été retrouvé dans les racines des vergers supérieurs à 30 ans (figure 3A).

Dans les échantillons de sols quel que soit le type d'agroforêt considéré, les plus fortes densités de nématodes ont été enregistrées pour le genre *Meloidogyne*, les nématodes bactériovores et fongivores. De plus, les densités des genres *Pratylenchus* et *Helicotylenchus* ont été plus élevées dans les agroforêts inférieures à 20 ans alors que le genre *Scutellonema* n'a pas été retrouvé dans les échantillons de sols des agroforêts vieillissants (figure 3B).

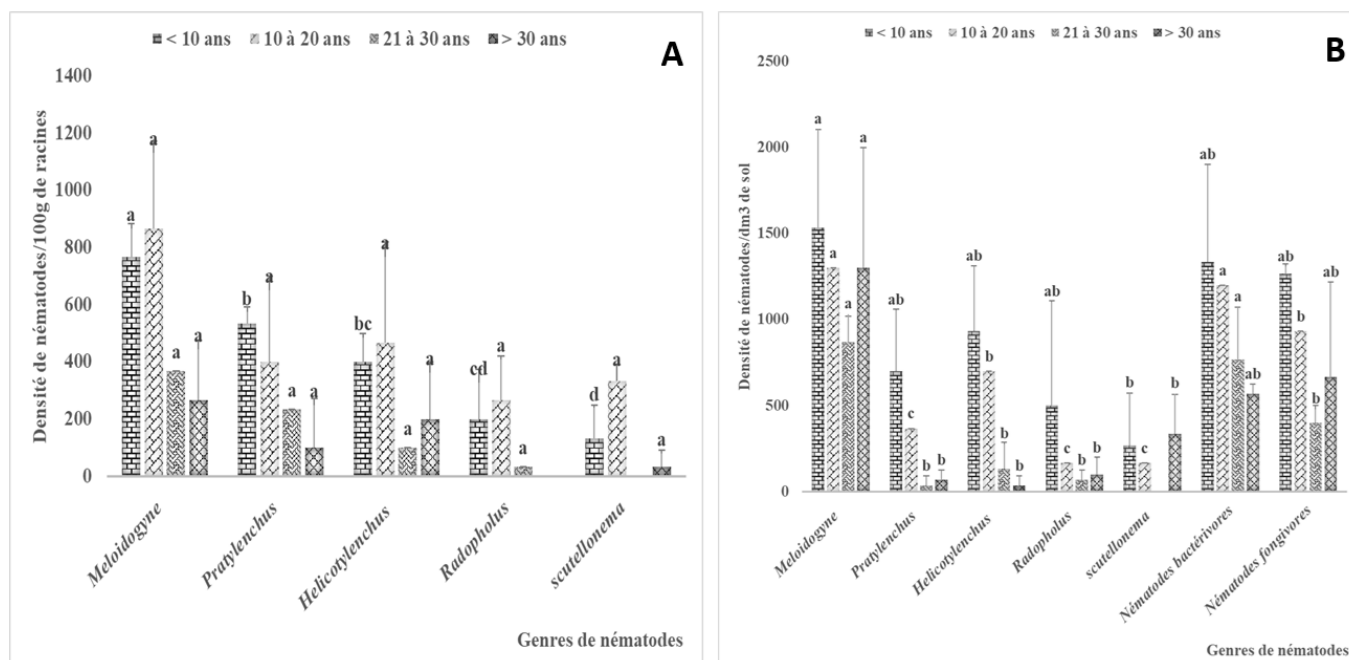


Fig. 3. Diversité des nématodes dans les racines (A) et les sols (B) des jeunes plantations entrant en production (< 10 ans), les cacaoyers adultes en production (10 à 20 ans), les cacaoyers vieillissants (21 à 30 ans) et les vieilles plantations (> 30 ans)

3.4 DIVERSITE DE NEMATODES DANS LES RACINES ET DANS LES SOLS SOUS CACAOYERS DES DIFFERENTES SOUS ZONES AGRO ECOLOGIQUES

L'analyse statistique a montré qu'il n'existe aucune différence significative de densités de nématodes racinaires entre les genres pour la pénéplaine d'Agou ($p = 0,274$) et sur les plateaux et montagnes ($p = 0,092$). Toutefois, les densités les plus élevées ont été enregistrées pour les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, et *Helicotylenchus*. Par contre, dans les piémonts et plaines, l'analyse statistique a montré une différence significative ($p = 0,027$) des densités de nématodes entre les différents genres. Les plus fortes valeurs ont été observées pour les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*. Dans l'ensemble, les densités des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* sont plus élevées dans les piémonts et plaines et sur les plateaux et montagnes que dans la pénéplaine d'Agou (Figure 4A).

Dans les échantillons de sol, l'analyse statistique a mis en évidence des différences significatives ($p < 0,05$) entre les densités moyennes de nématodes dans les différentes sous zones agro écologiques. Les plus fortes densités ont été enregistrées avec le genre *Meloidogyne*, les nématodes bactériovores et fongivores. Par ailleurs, pour le genre *Helicotylenchus* la plus forte densité a été enregistrée dans la pénéplaine d'Agou alors que pour les autres genres (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Radopholus* et *Scutellonema*) et les nématodes microbivores (bactériovores et fongivores), les densités les plus élevées sont enregistrées dans piémonts et plaines (figure 4B).

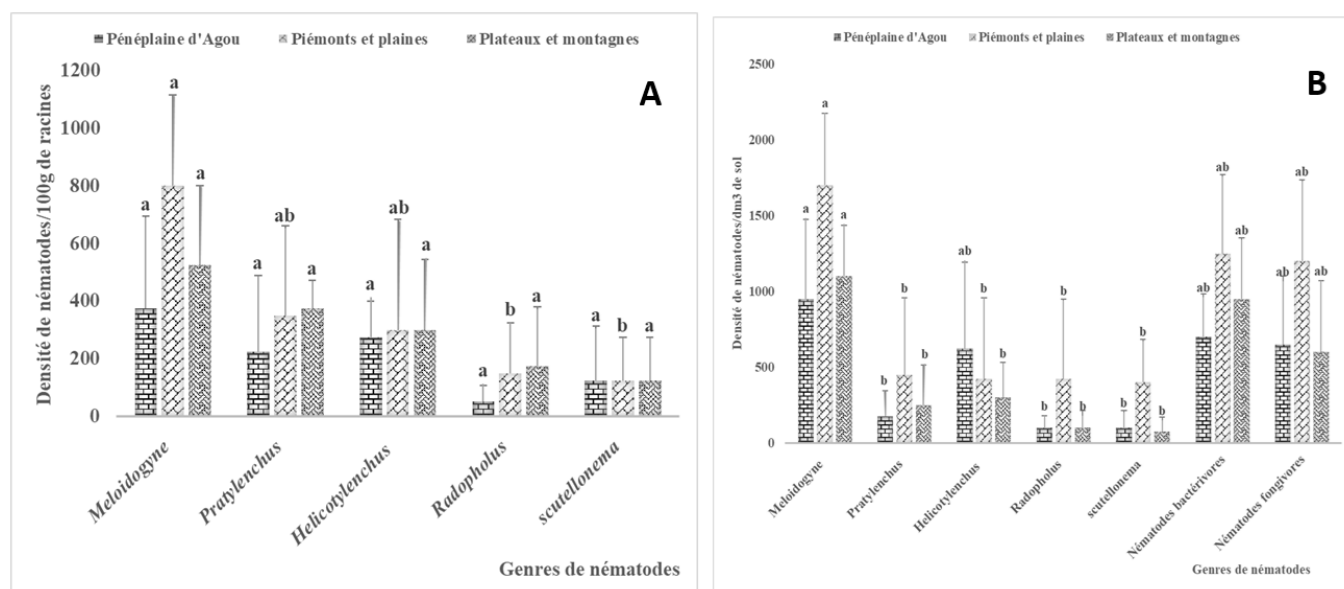


Fig. 4. Diversité de nématodes dans les racines (A) et les sols (B) sous cacaoyers de la péninsule d'Agou, des piémonts et plaines et des plateaux et montagnes

3.5 FREQUENCE ET ABONDANCE DES NEMATODES DANS LES AGROFORETS A CACAoyERS

Les nématodes les plus fréquents et les plus abondants dans les racines ont été représentés par les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus* et *Helicotylenchus* avec des fréquences d'occurrences moyennes respectives de 55,56%, 43,06% et 41,67% et des abondances moyennes respectives de 16,67%, 13,11% et 11,41% (Tableau 2). Dans les échantillons de sols, les nématodes les plus fréquents et les plus abondants sont le genre *Meloidogyne*, les *bactériovores* et les *fongivores* avec des fréquences d'occurrences moyennes respectives de 88,89%, 81,94% et 72,22% et des abondances respectives moyennes de 23,27%, 19,20% et 18,37% (Tableau 3). Les plus fortes fréquences ont été observées dans racines et dans les sols des agroforêts inférieur à 20 ans quel que soit le genre considéré. Les genres *Scutellonema* et *Radopholus* sont absents respectivement dans les racines et les sols des agroforêts vieillissants (21 à 30 ans) (Tableau 2 et Tableau 3) alors que le genre *Radopholus* n'a pas été retrouvé dans les racines des vieux vergers (>30 ans) (Tableau 2).

Tableau 2. Liste, fréquence et abondance des genres de nématodes identifiés dans la rhizosphère des différents types d'agroforêts à cacaoyers (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans)

Genres	< 10 ans		10 à 20 ans		21 à 30 ans		> 30 ans		Moyenne	
	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon
<i>Meloidogyne spp</i>	72,22	17,69	83,33	17,33	33,33	18,33	33,33	13,33	55,56	16,67
<i>Pratylenchus spp</i>	77,78	11,43	55,56	12,00	27,78	14,00	11,11	15,00	43,06	13,11
<i>Helicotylenchus spp</i>	61,11	10,91	61,11	12,73	16,67	10,00	27,78	12,00	41,67	11,41
<i>Radophylus spp</i>	27,78	12,00	44,44	10,00	5,56	10,00			25,93	10,67
<i>scutellonema spp</i>	22,22	10,00	50,00	11,11			5,56	10,00	25,93	10,37

Tableau 3. Liste, fréquence et abondance des genres de nématodes identifiés les sols des différents types d'agroforêts à cacaoyers (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans)

Genres	< 10 ans		10 à 20 ans		21 à 30 ans		> 30 ans		Moyenne	
	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon
<i>Meloidogyne spp</i>	100,00	25,56	94,44	22,94	77,78	18,57	83,33	26,00	88,89	23,27
<i>Pratylenchus spp</i>	83,33	14,00	61,11	10,00	5,56	10,00	11,11	10,00	40,28	11,00
<i>Helicotylenchus spp</i>	88,89	17,50	83,33	14,00	22,22	10,00	5,56	10,00	50,00	12,88
<i>Radophylus spp</i>	50,00	16,67	27,78	10,00	11,11	10,00	16,67	10,00	26,39	11,67
<i>scutellonema spp</i>	33,33	13,33	27,78	10,00			44,44	12,50	26,39	8,96
<i>Nématodes bactériovores</i>	94,44	23,53	88,89	22,50	83,33	15,33	61,11	15,45	81,94	19,20
<i>Nématodes fongivores</i>	88,89	23,75	72,22	21,54	66,67	10,00	61,11	18,18	72,22	18,37

4 DISCUSSION

Cette étude a été menée afin d'étudier la diversité, la fréquence et l'abondance des nématodes phytoparasites dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers au Togo. Les résultats ont montré que cinq genres de nématodes phytoparasites ont été identifiés. Il s'agit des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus* retrouvés aussi bien dans les racines que dans le sol alors que les genres les plus fréquents et les plus abondants sont *Meloidogyne*, *Pratylenchus* et *Helicotylenchus*. De plus, l'étude a également révélé la présence des nématodes microbivores (bactérovores et fongivores) qui ont été retrouvés uniquement dans les échantillons de sols. Plusieurs travaux antérieurs ont été réalisés sur la distribution géographique des nématodes phytoparasites associés aux cacaoyers à travers le monde ([21]; [22]; [23]; [24]). Ces auteurs ont rapporté que les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* ont été identifiés dans les plantations cacaoyères en côte d'Ivoire, au Ghana et au Nigéria alors que le genre *Scutellonema* a été retrouvé uniquement au Nigéria. [25] ont également rapporté la présence des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* dans les plantations de cacaoyers en association avec le bananier douce ou le bananier plantain au Nigéria. [10] ont identifié douze espèces de nématodes dans la rhizosphère des cacaoyers de trois Etats dans le Sud-Ouest du Nigéria. Ces auteurs ont rapporté que les genres les plus abondants et les plus fréquents étaient *Meloidogyne*, *Tylenchus*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* et *Rotylenchus*. Par ailleurs l'étude a révélé la présence du genre *Radopholus* aussi bien dans les racines que dans les sols des différents agroforêts de toutes les sous zones agroécologiques. Ce genre (*Radopholus similis*), communément appelé « *Anguillule mineuse du bananier* » a été décrit comme l'un des plus importants nématodes parasites des racines des bananiers dans la zone intertropicale ([26]; [27]). La présence du genre *Radopholus* dans les vergers prospectés se justifie par la présence des plants de bananiers plantains/douces associés. [25] ont également rapporté la présence des nématodes du genre *Radopholus* dans les plantations de cacaoyers en association avec le bananier douce ou le bananier plantain au Nigéria.

Les nématodes parasites les plus fréquents et les plus abondants associés aux racines des vergers sont les genres *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* et *Pratylenchus* quel que soit le type d'agroforêt considéré. Ce résultat corrobore ceux de [23], [28] et [25] qui ont travaillé respectivement au Pérou, dans la région d'Oumé en Côte d'Ivoire et au Nigéria sur les nématodes parasites des cacaoyers. Ces auteurs ont rapporté dans leurs différents travaux que les genres *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* et *Pratylenchus* étaient les plus fréquents dans les plantations cacaoyères.

Les résultats concernant les nématodes du sol ont montré qu'en plus des genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus* retrouvés dans les racines, les échantillons de sols ont révélé la présence des nématodes microbivores (bactérovores et fongivores). En effet, ce sont des nématodes qui se nourrissent des bactéries ou des champignons présents dans le sol et représentent des bio indicateurs du fonctionnement biologique du sol. Même si les indicateurs physico-chimiques sont prépondérants pour une approche agronomique, les microorganismes du sol se montrent pertinents pour caractériser l'état et le fonctionnement du sol [29]. Au sein des microorganismes du sol, les nématodes offrent une perspective particulièrement intéressante [30]. D'un point de vue fonctionnel, les nématodes microbivores (bactérovores et fongivores) renseignent sur le compartiment microbien, la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments [31]. Plusieurs études ont montré que la prédation des bactéries par les nématodes bactérovores stimule l'activité microbienne du sol améliorant ainsi la fertilité minérale du sol [32]; [33]; [34]). En libérant par excrétion les nutriments immobilisés dans la biomasse microbienne, les nématodes bactérovores vont améliorer la disponibilité des nutriments aux plantes [35]. La prédation exercée par les nématodes bactérovores sur les bactéries décomposeurs stimule la minéralisation nette de l'azote et du phosphore [36]. Des études ont également montré qu'il existe dans le sol des nématodes entomopathogènes qui mènent une vie symbiotique avec des bactéries. En effet, les nématodes entomopathogènes des genres *Heterorhabditis* et *Steinernema* sont des pathogènes d'insectes des sols et sont commercialisés comme des bio-insecticides pour lutter contre certains ravageurs des cultures. Les nématodes sont associés à des bactéries des genres *Xenorhabdus* et *Photorhabdus*, formant une symbiose très spécifique [37]; [38]). Le cycle biologique de ces nématodes se décompose en 2 phases: une première phase libre dans les sols où les stades larvaires libres du nématode transportent leurs bactéries symbiotiques dans le tube digestif. La deuxième phase est parasitaire dans l'insecte: après pénétration dans l'insecte, les nématodes libèrent leurs bactéries dans l'hémolymphe de l'insecte. Les bactéries se multiplient et sécrètent des toxines qui inhibent le système immunitaire de l'insecte, et provoquent sa mort en 48h. Les nématodes se nourrissent du cadavre de l'insecte. Lorsque les ressources du cadavre d'insecte sont épuisées, les nématodes ressortent de la larve avec quelques bactéries dans leur tube digestif, et regagnent le sol à la recherche de nouveaux hôtes insectes [38].

5 CONCLUSION

L'inventaire des nématodes associés aux cacaoyers dans les agroforêts a permis de recenser au total cinq (05) genres de nématodes phytoparasites (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* et *Radopholus*) et des nématodes microbivores (bactérovores et fongivores). Dans les échantillons de racines, les nématodes prévalents rencontrés étaient les genres *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* alors que dans le sol, *Meloidogyne* et les nématodes microbivores sont les plus importants. En ce qui concerne les différents agroforêts, les plus fortes densités des nématodes sont enregistrées dans les agroforêts inférieurs à 20 ans alors que pour les sous zones agroécologiques, les densités les plus élevées sont enregistrées dans les piémonts et plaines et sur les plateaux et montagnes.

La diversité des nématodes phytoparasites enregistrés dans les plantations cacaoyères du Togo nécessite de plus amples investigations sur leur potentiel de dommages sur les cacaoyers afin d'établir des stratégies efficaces de gestion.

REFERENCES

- [1] Bockel L., Ouedraogo A. S., Amon A. K. A. et Gopal P. 2021. Analyse prospective de la filière cacao en Côte d'Ivoire 2020-2030 - vers une politique commune de marché de cacao en Afrique de l'Ouest. *Food and Agriculture Organization (FAO)* 2021. 49p.
- [2] CIRAD (Centre de coopération International pour la Recherche Agronomique pour le Développement), 2013. Améliorer les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide: les cas de cacaoyers et des caféiers. CIRAD. 2p.
- [3] Wessel M., Quist-Wessel F.P.M., 2015. Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 74&75, 1-7.
- [4] Djiwa O., Pereki H. et Guelly K. A. 2021. Perceptions ethnoculturelles des services écosystémiques rendus par les agroforêts à base de cacaoyer au Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2021 25 (3), 208-222 (15p).
- [5] DSID 2018. Évaluation des superficies et des rendements de café et de cacao, campagne agricole 2017-2018. Mai 2018. DSID/MAEH/PNIASA/Banque Mondiale. Lomé, Togo, 76 p.
- [6] CRA-F. 2004. Point sur la recherche cacaoyère au Togo. Rapport annuel Kpalimé, 22 p.
- [7] Koudjega T., 2013. Détermination de formules d'engrais adaptées aux trois sous zones cacaoyères du Togo. *Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie du Développement à l'Université de Lomé – Togo*. 97p.
- [8] Dormon, E.N.A., Huis A., Leeuwis C. et Obeng-Ofori, D. 2004. Causes of Low Productivity of Cocoa in Ghana: Farmers' Perspectives and Insights from Research and the Socio-political Establishment. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*. DOI: 10.1016/S1573-5214 (04) 80016-2. 52 (3-4): 237-259.
- [9] Afolami, S.O., Okeniyi M.O., Enikoumehin A.O., Popoola A.R., Aiyelaagbe I.O., and Fademi O.A. 2013. Plant-Parasitic Nematodes Associated with Old Cacao Plantations in Oyo and Ondo State of Nigeria. *African Crop Science Conference Proceedings* 11: 407 – 411.
- [10] Adewale D. B. et Dada S. O. 2020. Diversity of phyto-parasitic nematodes in the on-farm cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantations of south western Nigeria. *Trop. Agric. (Trinidad)* Vol. 97 No. 2 137-148.
- [11] Kergunteuil A. R. Campos-Herrera S. Sánchez-Moreno, P. Vittoz, and Rasmann S. 2016. «The Abundance, Diversity, and Metabolic Footprint of Soil Nematodes is Highest in High Elevation Alpine Grasslands.» *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 84. doi: 10.3389/fevo. 2016.00084.
- [12] De Ley, P. 2006. A Quick Tour of Nematode Diversity and the Backbone of Nematode Phylogeny.« In: WormBook, edited by D.H.A. Fitch. *The C. elegans Research Community, WormBook*. doi/10.1895/wormbook.1.41.1, <http://www.wormbook.org>
- [13] Fademi O. A., Orisajo S. B. and Afolami S. O. 2006. Impact of plant parasitic nematodes on cocoa production (in Nigeria) and outlook for future containment of the problem. In *Proceedings 15 th International Cocoa Research Conference*, October 9-14, 2006, San José, Costa Rica. pp. 82.
- [14] Arevalo-Gardini E., Ttacca B. L., Canto-Saenz M. et Baligar V. 2017. Nématodes parasites dans Guide Technique pour les Transferts Sécurisés de Matériel Génétique de Cacaoyer. *Révision des Directives Techniques FAO/IPGRI* No. 20 (Troisième Édition, Octobre 2017). p85.
- [15] Luc, M., et G. Guiran. 1960. Les Nématodes Associes aux Plantes de L'Ouest Africain. Liste Préliminaire.« *Agron. Trop. Nogent*. 15: 434-499.
- [16] ITRA, 2009. Stratification du Togo en zones homogènes pour la recherche agronomique In: *Rapport Annuel* 2009. ITRA. Lomé, Togo, pp. 25-28.
- [17] Jaroget P., 2011. Analyse et évaluation des systèmes agroforestiers complexes sur long terme: Application aux systèmes de culture à base de cacaoyers au centre Cameroun. *Thèse, Université Montpellier SUPAGRO*, 288p.
- [18] Coyne, D. L., Nicol, J. M. et Claudius-Cole B. 2010. Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Secrétariat SP-IPM, *Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA)*, Cotonou, Benin. 93p.
- [19] Hooper, D. J., Hallmann, J. and 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.
- [20] Siddiqi M R, 2000. Tylenchida parasites of plants and insects. *Wallingford, UK, CABI Publishing*, 833 pp.
- [21] Wood GAR, Lass RA. 2001. *Cocoa*. 4 ed. *Blackwell Science*, UK. 620 pp.
- [22] Campos VP, Villain L. 2005. Nematode parasites of coffee and cocoa. In Luc M, Sikora RA, Bridge J, editors. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2nd edition. CABI Bioscience*, UK. pp. 529-579.
- [23] Arévalo-Gardini, E, Zúñiga CL, Baligar VC, Canto SM. 2007. Dynamics of nematode populations in cacao grown under traditional system of management in Peruvian Amazon. *Workshop on Pan Amazonian Soil Biodiversity*, Rio Branco Acre, Brazil, September 26-29, 2007.
- [24] Arévalo-Gardini E. 2008. Biodiversity in soils of cocoa systems in San Martin Region. *Proceedings of the XI National Congress and IV International Congress of Soil Science, Tarapoto, San Martin, Peru*, November 16-21, 2008.
- [25] Agbongiarhuoyi A.E., Ayegboyin K.O., Ogunlade M.O. et Orisajo S.B. 2016. Farmers' use of Banana instead of Plantain as Shade Crop in Cocoa Establishment: A Case of Cross River State, Nigeria. *World Rural Observations*. <http://www.sciencepub.net/rural>. 9p.

- [26] Gnonhouiri P. G. et Adiko A. 2008. Distribution géographique de *radopholus similis* et *pratylenchus coffeae*: risque potentiel sur la pérennisation des plantations de bananiers dessert en côte d'ivoire. *Agronomie Africaine* 20 (2): 213 - 220 (2008).
- [27] Rodde A. 2010. Effets de *Radopholus similis*, nématodes parasites des racines, sur le fonctionnement racinaire du bananier. Rapport de stage obligatoire – stage long 2^{ème} séquence. Stage effectué au CIRAD, Guadeloupe, Station de Neufchâteau. Janvier – juillet 2010. 51p.
- [28] Nandjui J., Nonhouiri P. G. G., Ondoh J. E. T. et Ano Y. T. 2007. Réponse des nématodes à la perturbation des forêts dans la région d'Oumé, Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature Vol. 4 N°2*: pp189 -196.
- [29] Bispo, P.C., Cardoso-Leite, R., Lecci, L.S. 2012: Description of the larva of *Kempnyia colossica* (Navás) (Plecoptera: Perlidae) with biological notes. *Aquatic insects*, 34 (3-4): 217–221. DOI: 10.1080/01650424.2013.80055.
- [30] Villenave C., Oumar Ba A., Rabary, B., 2009. Analyse du fonctionnement biologique du sol par l'étude de la nématofaune: semis direct versus labour sur les hautes terres près d'Antsirabé (Madagascar). *Etude et Gestion des Sols*, Association française pour l'«étude des sols», 16 (3/4), pp.369-378.
- [31] Coll P., Le Cadre E., Mérot A. et Villenave C. 2013. La caractérisation du fonctionnement biologique du sol en viticulture biologique peut être réalisée par l'analyse de la nématofaune. *Innovations Agronomiques* 32 (2013), pp391-400.
- [32] Djigal, D., Sy, M., Brauman, A., Diop, T.A., Mountport, D., Chotte, J.L., Villenave, C., 2004. Interactions between *Zeldia Punctata* (Cephalobidae) and bacteria in the presence or absence of maize plants. *Plant And Soil* 262, 33-44.
- [33] Irshad, U., Villenave, C., Brauman, A., Plassard, C., 2011. Grazing by nematodes on rhizosphere bacteria enhances nitrate and phosphorus availability to *Pinus pinaster* seedlings. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 2121-2126.
- [34] Mahafaka R. 2018. Rôle des interactions bactéries-nématodes bactérivores sur la disponibilité du N et P au sein de la rhizosphère du riz sur sol ferrallitique à Madagascar: mécanismes et facteurs de contrôle. *Science des sols*. Montpellier SupAgro, 2018. Français.
- [35] Ferris, H., Venette, R.C., van der Meulen, H.R., Lau, S.S., 1998. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. *Plant and Soil* 203, 159-171.
- [36] Xiao, H., Griffiths, B., Chen, X., Liu, M., Jiao, J., Hu, F., Li, H., 2010. Influence of bacterial-feeding nematodes on nitrification and the ammonia-oxidizing bacteria (AOB) community composition. *Applied Soil Ecology* 45, 131-137.
- [37] Vanya E. 2008. Les problèmes de couple dans les symbioses némato-bactériennes parasites d'insecte. *Mémoire de Doctorat en écologie, environnement*. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc. 125p.
- [38] Ogier J-C., Pages S., Thaler O., Frayssinet M., Jumas-Bilak E. 2013. Caractérisation moléculaire du microbiome bactérien associé aux nématodes entomopathogènes. *Colloque de Génomique Environnementale (GE)*, Nov 2013, Rennes, France.