

République du Sénégal
Un Peuple-Un But- Une fois
Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural

PP AT&RD

**PAPSEN PAIS ASSISTANCE TECHNIQUE ET RECHERCHE POUR LE
DÉVELOPPEMENT**

Sous-Programme centre
Rapport 2^{ème} cycle
(Janvier 2022 – Septembre 2022)

Étude de différents types d'amendements sur les nématodes du sol (phytoparasites et libres) dans un périmètre maraîcher du PAPSEN dans la zone centre du Sénégal.

ISRA/CDH

Octobre 2022

Djibril DJIGAL (ISRA/CDH)

Ndèye Helene Diallo DIAGNE (ISRA/CDH)

Ahmadou Bamba NDIAYE (ISRA/CDH)

Cyril Diatta (ISRA/CNRA Bambey)

Saliou NGOM (DPV)

Malipha COLY (stagiaire, UCAD)



CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



**INSTITUT SÉNÉGALAIS DE
RECHERCHES AGRICOLES**

SIGLE ET ABBREVIATIONS

CDH : Centre pour le Développement de l'Horticulture

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

IE : Indice d'Enrichissement

IS : Indice de Structure

NRC: Nematode channel Ratio

PE : Parcelle Elémentaire

Ba : Bactérivore

Fu : Fongivores

Om : Omnivores

Car : Carnivores

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental	3
Figure 2 : Structure de la cavité buccale des groupes trophiques des nématodes du sol.....	5
Figure 3 : évolution au cours du temps de la densité totale de nématodes phytoparasites selon le mode de fertilisation. Les barres d'erreur correspondent aux écartypes.	8
Figure 4 : comparaison de la densité totale de nématodes libres avant et 3,5 mois après repiquage selon le mode de fertilisation.....	10
Figure 5 : Evolution de la structure trophique des nématodes non phytoparasites 3,5 mois après repiquage selon le mode de fertilisation.	12
Figure 6 : Représentation sur le plan des 5 traitements 3,5 mois après repiquage selon le diagramme de Ferris et al. (2001).	14

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les différents traitements du dispositif expérimental	2
Tableau 2 : Abondance et fréquence des espèces de nématodes phytoparasites dans les parcelles.....	6
Tableau 3 : comparaison de l'abondance des groupes trophiques de nématodes libres 3,5 mois après fertilisation..	12
Tableau 4 : évolution des indices d'enrichissement (IE) de structure (IS) et du nematode channel Ratio (NRC) selon le traitement 3,5 mois après la fertilisation.....	13

SOMMAIRE

SIGLE ET ABBREVIATIONS	i
LISTE DES FIGURES	ii
LISTE DES TABLEAUX	ii
SOMMAIRE	iii
1. INTRODUCTION	1
1.1. Contexte et problématique de l'étude	1
1.2. Objectifs spécifiques	2
2. METHODOLOGIE	2
2.1. Dispositif expérimental et traitements	2
2.2. Echantillonnage des sols et des racines	3
2.3. Analyses nématologiques	3
2.3.1. Extraction des nématodes du sol	3
2.3.2. Extraction des racines	4
2.3.3. Identification et comptage des nématodes frais	4
2.3.4. Identification et comptage des nématodes fixés	4
2.3.5. Détermination des indices nématologiques	5
2.3.6. Détermination de l'incidence et de la sévérité des attaques dues à <i>Meloidogyne</i>	5
2.4. Analyses statistiques	6
3. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS	6
3.1. Abondance des différentes espèces de nématodes phytoparasites	6
3.2. Abondance totale des nématodes phytoparasites	7
3.3. Incidence et Sévérité des attaques due à <i>Meloidogyne</i> et abondance dans les racines... 8	8
3.4. Abondance des nématodes non phytoparasites	9
3.5. Structure trophique et groupe trophique des nématodes non phytoparasites	10
3.6. Evolution des indices nématologiques	13
4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	15
BIBLIOGRAPHIE	16
ANNEXES	18

1.1. Contexte et problématique de l'étude

Le maraichage est essentiellement pratiqué dans la zone des Niayes et dans la vallée du fleuve du Sénégal. Cependant, cette activité commence à se développer dans d'autres zones du Sénégal comme le bassin arachidier, générant ainsi une source de revenus supplémentaire pour les populations locales. Cependant, la pratique du maraichage dans cette zone pourrait engendrer une utilisation accrue et non maîtrisée de la fertilisation chimique, entraînant l'augmentation des coûts de production et des risques sanitaires et environnementaux comme dans les autres zones maraichères (Cissé *et al.*, 2003, 2006). De plus, ces produits ne font également qu'accroître le déséquilibre écologique des sols et entraîner une prolifération de différents pathogènes des cultures maraichères. C'est pourquoi, l'introduction dans les systèmes de production des innovations technologiques appropriées pour limiter l'utilisation des produits chimiques et augmenter la productivité des exploitations maraichères apparaît nécessaire. Pour cela, la fertilisation organo-minérale associant du compost amélioré et l'engrais minéral dans les parcelles horticoles pourrait constituer un levier pour un bon fonctionnement du sol, une bonne gestion des ravageurs des cultures comme les nématodes et par conséquent une bonne productivité. C'est dans ce sens que cette activité a été menée dans le cadre du projet PPAT-RD. Elle va se focaliser sur l'impact de la fertilisation organique en comparaison à la fertilisation minérale ou mixte dans la gestion des nématodes phytoparasites et sur la qualité biologique du sol via la communauté des nématodes du sol. Considérée comme un indicateur de la structure et du fonctionnement des réseaux trophiques telluriques (Ferris *et al.*, 2001) et des pratiques agricoles (Villenave *et al.*, 2010, Djigal *et al.*, 2012a, 2012b), les nématodes diffèrent dans leur sensibilité et leur réponse à une modification des facteurs abiotiques et biotiques du sol. Ils réagissent à une variation des communautés microbiennes due aux apports de substrats organiques (Djigal *et al.*, 2004). Etant un des métazoaires les plus abondants, les nématodes du sol occupent des positions clés dans tous les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire microbienne du sol. Ils peuvent être échantillonnés, extraits du sol et dénombrés, avec des méthodes bien standardisées et sont rapidement identifiés à travers leurs caractéristiques morphologiques et anatomiques (Ferris *et al.*, 2001). C'est pourquoi, ils apparaissent très pertinents pour donner des indications sur la gestion de la fertilisation dans un agrosystème maraicher. La finalité de cette étude, qui s'est appuyée sur le dispositif mis en place dans le cadre de l'activité « fertilité des sols » du projet PP-AT à la station de Bambey, est de renforcer le plan de fertilisation adapté pour la culture de la tomate dans les conditions agroécologiques du

bassin arachidier. Les résultats de la première campagne 1 ont mis en exergue les effets positifs de la fertilisation chimique, organique ou mixte dans la réduction des infestations dans le sol et aussi l'atténuation de la dégradation du réseau trophique du sol par la fertilisation mixte. L'objectif global de cette deuxième campagne était de confirmer ces résultats de la campagne 1.

1.2. Objectifs spécifiques

Comme pour la première campagne, les objectifs spécifiques consistaient à déterminer :

- i) Le mode de fertilisation et la dose optimale d'amendement permettant un meilleur contrôle des nématodes phytoparasites qui affectent négativement la culture de la tomate ;
- ii) Le mode de fertilisation induisant une plus grande structuration du réseau trophique nématologique, indicateur du bon fonctionnement biologique du sol.

2. METHODOLOGIE

2.1. Dispositif expérimental et traitements

Cette étude a été réalisée sur le dispositif expérimental du PAPSEN mis en place pour la tomate à la station ISRA de Bambey dans le cadre de l'activité « Fertilité du sol ». La tomate (*Solanum lycopersicum*, variété Mongal) a été choisie comme modèle pour cette étude des nématodes du sol, puisqu'étant une des plantes maraichères les plus attaquées et les sensibles à ces pathogènes telluriques dans les zones horticoles du Sénégal. Le dispositif expérimental est en Bloc Complètement Randomisé (**Figure 1**) avec 6 traitements répétés 4 fois (**Tableau 1**). Les blocs sont distants de 0,7 m. Les unités expérimentales sont constituées par des parcelles élémentaires de 8 m² (2m X 4m) comportant 5 lignes de goutte à goutte distantes de 70cm. Les plants de tomate issus d'une pépinière préalablement mis en place et disposés au sein des unités expérimentales sur les 5 lignes, sont distants de 50 cm sur la ligne.

Tableau 1 : Les différents traitements du dispositif expérimental

Traitements	Fumure de fond (t/ha)		Fumure de couverture (t/ha)	
	Dose	Nature	Dose	Nature
T1 (dose d'engrais minéral selon les recommandations du CDH)	20 0,24	Fumier ovin 10-10-20	0,96	10-10-20
T2 (Dose compost calculé)	2,857	Compost	11,43	Compost
T3 (Dose compost + 100 %dose engrais minéral)	20 0,24	Fumier ovin 10-10-20	11,43 0,96	Compost 10-10-20
T4 (Dose compost + 50% Dose engrais minéral)	20 0,12		11,43 0,48	
T5 ((Dose compost +25% Dose engrais minéral)	20 0,06		11,43 0,24	
T0 (Témoin sans apport)	Néant			

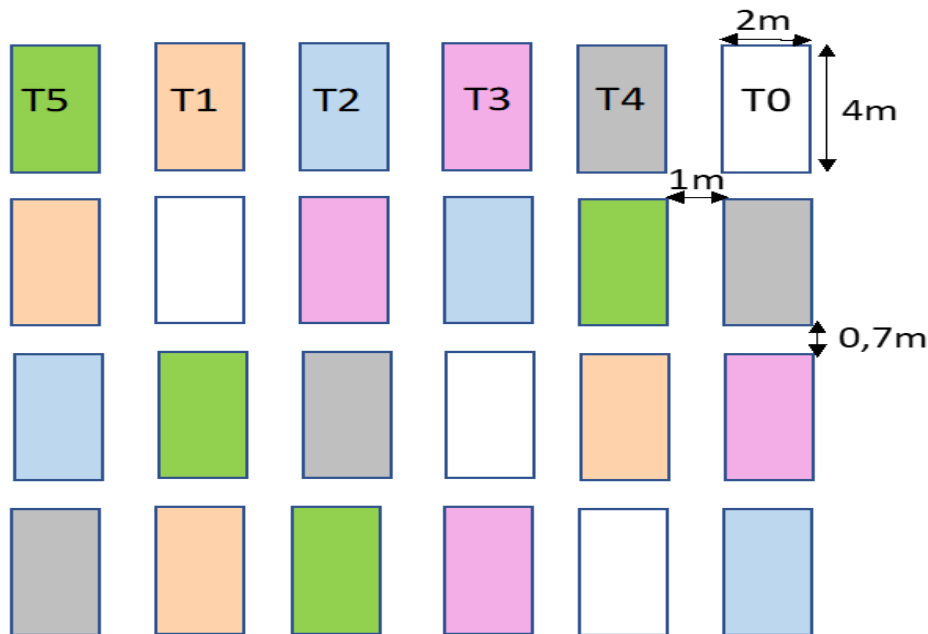


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental

2.2. Echantillonnage des sols et des racines

L'échantillonnage des sols a été réalisé avant repiquage et chaque mois après repiquage pour chaque parcelle élémentaire à une profondeur d'environ de 15 cm à proximité de la plante en utilisant la méthode Z (photo illustrative de l'échantillonnage des sols en **annexe 1**). Ainsi, 10 sous échantillons par parcelle élémentaire ont été prélevés et mélangés dans un seau. Un échantillon composite d'environ 500 g a été recueilli dans un sachet plastique, bien étiqueté et conservé dans une glacière jusqu'à l'analyse au laboratoire. Pour les racines, 10 plants par parcelle élémentaire ont été échantillonnés suivant la même méthode que le sol après la récolte finale et après détermination de l'indice de galle. Après séparation du système racinaire avec la partie aérienne, les 10 sous échantillons sont conservés dans un sachet plastique étiqueté.

2.3. Analyses nématologiques

2.3.1. Extraction des nématodes du sol

L'extraction des nématodes a été réalisée avec la méthode des seaux (**Annexe 2**), qui utilise la différence de vitesse de sédimentation des nématodes et des particules de sable dans l'eau. Deux cent cinquante g (250g) de sol ont été pesés pour chaque échantillon et déposé dans un seau de 10L. Le seau rempli au 3/4 avec l'eau est mélangé vigoureusement (A). Trente secondes après décantation, le contenu du seau est versé sur une superposition de 3 tamis 500 μm , 50 μm et de 32 μm de maille (B). Les opérations A et B sont répétées 3 à 4 fois. Le tamis de 500 μm permet de retenir les débris végétaux grossiers. Les nématodes sont retenus par les 2 derniers tamis (50 et 32 μm) et le rinçage des tamis permet de recueillir les extraits de nématodes. Les extraits

obtenus sont ensuite versés dans un tamis de 100 μ m préalablement tapissé sur sa face interne d'une double couche de papier kleenex bien mouillé et déposé dans une boîte de pétri contenant de l'eau. Les extraits sont récupérés 48h après incubation à température et versés dans un tube de comptage.

2.3.2. Extraction des racines

L'extraction des racines a été réalisée par la méthode de Baermann modifiée. Pour chaque parcelle élémentaire, les 10 sous échantillons de racines collectés ont servi d'abord à la détermination de l'indice de galle. Puis ils sont découpés en petites morceaux d'environ 1 cm. Après homogénéisation, un aliquote de 15g est placée dans un tamis de 100 μ m. Ce dernier est déposé dans une boîte de Pétri contenant de l'eau. Après une semaine d'incubation, le contenu de la boîte de pétri est versé dans un tube gradué pour le comptage et l'identification des nématodes.

2.3.3. Identification et comptage des nématodes frais

Après l'extraction, les extraits de nématodes sont concentrés dans un tube de 25 ml. Puis 5ml de cette solution ont été prélevés et placés dans une plaque de comptage. Toutes les espèces de nématodes phytoparasites ont été identifiées et comptées sous microscope à X100. Un comptage total (sans identification spécifique) a été réalisé pour les nématodes non phytoparasites. Les résultats ont été exprimés en nombre d'individus/kg de sol. Puis, les extraits nématodes ont été fixés sous la hotte avec du formaldéhyde (4 % ; pH 7) préalablement chauffé à 60°C afin de les tuer et de les conserver jusqu'à l'identification des taxons non phytoparasites.

2.3.4. Identification et comptage des nématodes fixés

L'identification des taxons de nématodes non phytoparasites (libres) a été réalisée au microscope x100, après montage lame de masse des extraits fixés au formaldéhyde. Pour chaque échantillon, entre 200 à 300 individus sont montés entre lame et lamelle (lame de masse). Puis, les différents taxons sont identifiés au niveau genre ou famille et ensuite classés en 4 groupes trophiques suivant Yeates et *al.* (1993): phytoparasites, bactérivores, fongivores, omnivores, carnivores (**Figure 2**).

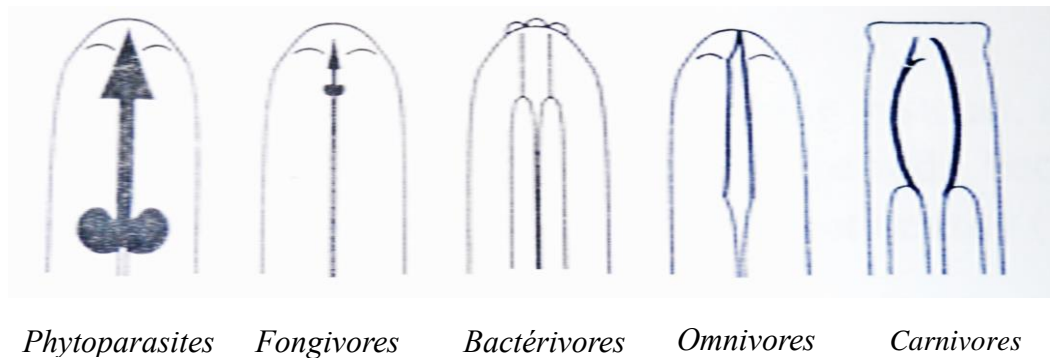


Figure 2 : Structure de la cavité buccale des groupes trophiques des nématodes du sol

2.3.5. Détermination des indices nématologiques

Deux (2) indices écologiques des nématodes ont été calculés suivant Ferris *et al.* (2001) : l'indice d'enrichissement ($IE = (e/(e+b)) \times 100$) et l'indice de structure ($IS = s/(s+b) \times 100$), où e correspond à l'abondance des nématodes de la composante d'enrichissement (guildes trophiques Ba1 et Fu2) pondérée par leurs valeurs k_e ; b l'abondance des nématodes de la composante basale (guildes trophiques Ba2 et Fu2) pondérée par leurs valeurs k_b et s l'abondance des nématodes de la composante de structure (guildes trophiques Ba3-5, Fu3-5, Om4-5 et Car2-5) pondérée par leurs valeurs k_s . IE vise à évaluer la réponse du réseau trophique à la disponibilité de ressources. IS indique si la communauté du sol est basale (typique des systèmes perturbés) ou structurée (typique des systèmes stables et matures). Pour évaluer les conditions des chaînes trophiques dans les parcelles de chaque mode de fertilisation, les valeurs IE et IS calculées sont représenté dans un plan suivant le modèle de Ferris *et al.* (2001) **Annexe 3**. Le Nematode Channel Ratio (NCR) a été aussi calculé suivant Yeates (2003), $NCR = B/(B+F)$, où B et F sont respectivement, les contributions relatives des nématodes bactériveres et fongivores à l'abondance totale des nématodes. NCR va permettre de quantifier l'importance relative des bactéries et des champignons du réseau trophique dans la décomposition de la matière organique.

2.3.6. Détermination de l'incidence et de la sévérité des attaques dues à *Meloidogyne*

Après l'échantillonnage des 10 plants par parcelle élémentaire après la récolte, les racines ont été lavées afin d'évaluer l'incidence (proportion de plants infestés) et la sévérité de l'infestation par le genre *Meloidogyne* ou indice de galle. Cet dernier a été estimé sur les racines de 10 plants par parcelle élémentaire en utilisant l'échelle de cotation John Bridge et Sam Page (1980).

2.4. Analyses statistiques

Les données ont été analysées par ANOVA et les moyennes sont comparées avec le test de Fisher PLSD ($p < 0,05$) en utilisant le logiciel Xlstat version 7.5.2. (Addinsoft, Paris),

3. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

3.1. Abondance des différentes espèces de nématodes phytoparasites

Cinq (5) espèces de nématodes phytoparasites ont été identifiées sous la tomate dans les parcelles durant l'expérimentation (Tableau 2), indiquant ainsi une très faible diversité des nématodes phytoparasites dans ces sols, marqué par la forte dominance de *Scutellonema cavenessi*. Cette espèce qui est omniprésente dans toutes les parcelles comme à la première campagne, constitue environ 97% de la communauté des nématodes phytoparasites. Ce résultat apparaît logique, puisque *Scutellonema cavenessi* qui est un ectoparasite type de l'arachide (Germani, 1981) constitue généralement le nématode phytoparasite le plus abondant dans la zone du bassin arachidier (Baujard *et al.*, 1995, Germani, 1981). La forte densité de l'espèce *Scutellonema cavenessi* qui avoisine 8000 individus/kg de sol, le double par rapport à celle de la première campagne, indique qu'elle est capable de parasiter aussi la tomate. Deux autres espèces (*Tylenchorynchus spp* et *Rotylenchulus reniformis*) apparaissent également fréquentes, mais leur abondance ne dépasse pas 150 individus/kg de sol. Les 2 autres espèces de nématodes phytoparasites ne sont présentes que de manière sporadique (moins 30%) avec des densités moyennes très faible compris entre à 10 et 32 individus/kg de sol, par conséquent sans aucune conséquence sur la croissance de la tomate. Compte tenu de la forte prévalence de *Scutellonema cavenessi* dans les parcelles, l'impact des nématodes phytoparasites sur la tomate sera refléter par cette espèce, d'autant plus que les espèces de nématodes du genre *Meloidogyne* n'ont été détecté dans le sol comme lors de la première campagne.

Tableau 2 : Abondance et fréquence des espèces de nématodes phytoparasites dans les parcelles

Espèces de nématode	Famille	Mode de parasitisme	Abondance		Fréquence
			Nb. individus/kg de sol	%	%
<i>Scutellonema cavenessi</i>	<i>Hoplolaimidae</i>	<i>Ectoparasite</i>	7999	97,3	100
<i>Helicotylenchus dihystra</i>	<i>Hoplolaimidae</i>	<i>Ectoparasite</i>	32	0,4	29
<i>Tylenchorynchus spp</i>	<i>Belonolaimidae</i>	<i>Ectoparasite</i>	128	1,6	94
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	<i>Anguinidae</i>	<i>Ectoparasite</i>	10	0,1	17
<i>Rotylenchulus reniformis</i>	<i>Hoplolaimidae</i>	<i>Semi-endoparasite</i>	52	0,6	54

3.2. Abondance totale des nématodes phytoparasites

L'abondance totale des nématodes qui est en moyenne de 5000 individus/ kg de sol avant le repiquage (avant fertilisation) est 2 fois plus élevée pour cette campagne 2 en comparaison à la première campagne. Egalement, la même tendance que celle de la première campagne est observée dans cette deuxième campagne, avec une évolution similaire au cours du temps de l'abondance totale des nématodes phytoparasites quel que soit le mode de fertilisation durant l'expérience, sauf pour le témoin sans fertilisation (**figure 3**). En effet, l'abondance augmente significativement dans les parcelles témoins alors qu'elle reste stationnaire dans toutes les parcelles amendées 1 mois après repiquage en comparaison à celle d'avant repiquage. Puis elle augmente à partir de cette date dans toutes les parcelles 3,5 mois après le repiquage. Mais cette augmentation est beaucoup plus importante dans les parcelles témoins sans fertilisation, où elle est significativement plus élevée avec 23000 individus/kg en comparaison aux parcelles où du NPK seul, du compost seul et aux mélanges compost + NPK ont été apportés et dont les densités sont comprises entre 10000 et 15000 individus/kg de sol (**Figure 3**). La comparaison des parcelles amendées à 3,5 mois après le repiquage montre que l'abondance totale des nématodes phytoparasites ne varie pas significativement entre ces parcelles. Même si les niveaux de population sont plus élevés, ces résultats, qui confirment la tendance observée pendant la première campagne, indiquent que la fertilisation chimique, organique (compost) ou mixte permettraient de réduire les nématodes phytoparasites présents dans ces sols. Comme souligné dans le rapport de la première campagne, l'effet du compost dans la réduction des nématodes phytoparasites, de même que les mécanismes mise en jeu sont très contrastés (Oka, 2010). Souvent des facteurs biotiques liés à la présence d'organismes antagonistes des nématodes dans les composts ou des composés azotés (Oka et Yermiyahu, 2002 ; Raviv *et al.*, 2005) sont à l'origine de l'effet suppressive des composts. Dans notre étude, le compost utilisé qui est composé essentiellement de fumier de cheval, de fiente de volaille, et de paille de brousse ne laissait pas présager une action directe sur les nématodes phytoparasites. C'est pourquoi, la présence d'organismes antagonistes aux nématodes phytoparasites dans le compost serait privilégié pour expliquer cet effet suppressif. Des différences sur la production de tomate pourraient être observées entre les parcelles fertilisées par rapport aux parcelles témoins non fertilisées, puisque les densités obtenues pour l'espèce dominante *Scutellonema cavenessi* de la communauté ont atteint leur seuil de nuisibilité dans les parcelles témoins. Comme pour la première campagne, les résultats indiquent que l'abondance des nématodes phytoparasites ne varient pas significativement selon le mode de fertilisation chimique, organique ou mixte.

Contrairement à ce que plusieurs auteurs ont montré, l'amendement organique (compost) ne permet pas toujours de contrôler plus efficacement les nématodes phytoparasites que la fertilisation chimique. La fertilisation mixte, qui apparaît aussi efficace dans la réduction des nématodes phytoparasites pourrait être une alternative crédible par rapport à la fertilisation chimique ou organique.

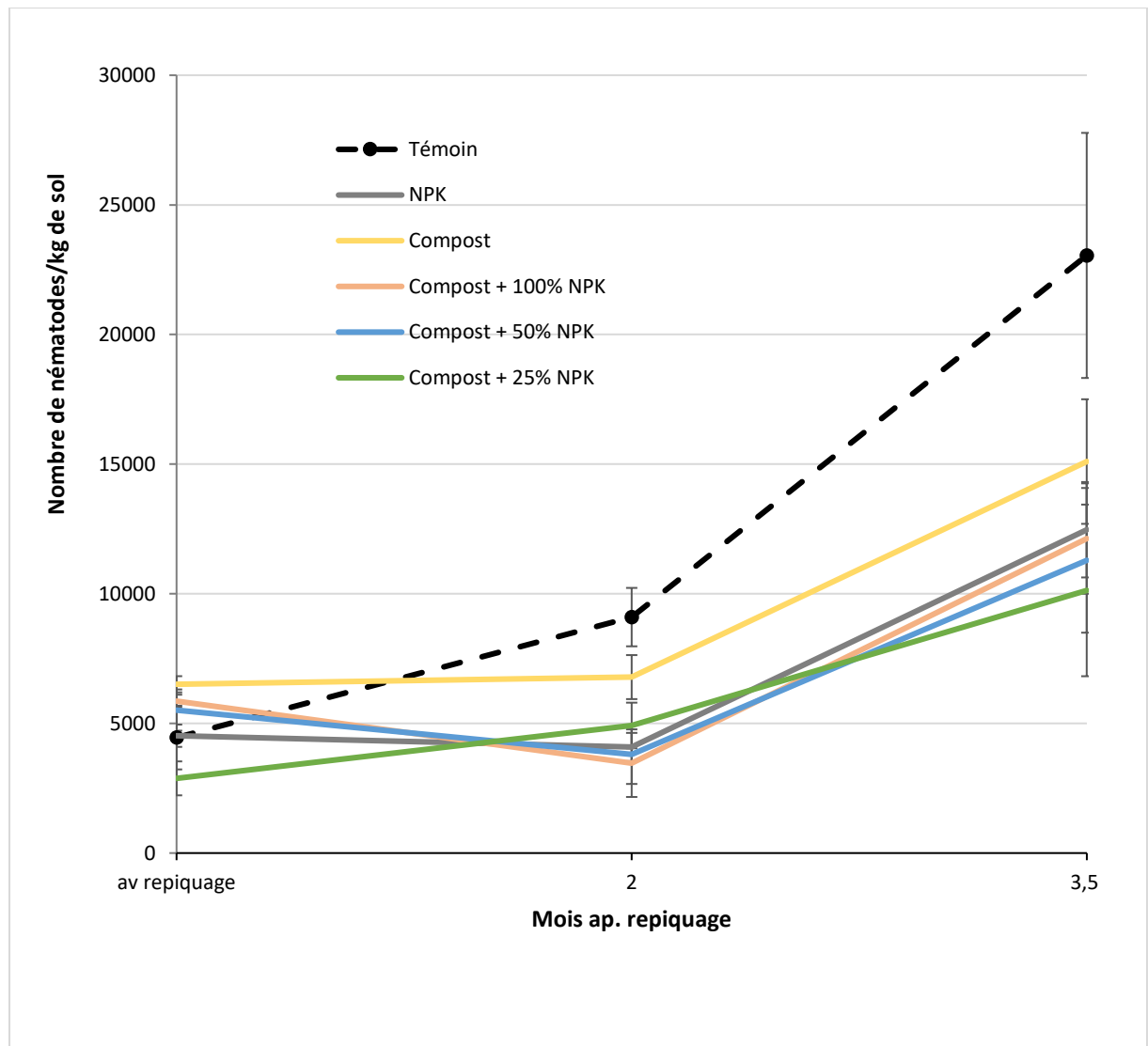


Figure 3 : évolution au cours du temps de la densité totale de nématodes phytoparasites selon le mode de fertilisation. Les barres d'erreur correspondent aux écartypes.

3.3. Incidence et Sévérité des attaques due à *Meloidogyne* et abondance dans les racines

Comme pour la première campagne, l'incidence ainsi que la sévérité d'infestation des nématodes du genre *Meloidogyne* sur les racines de tomates sont nulles quel que soit le mode de fertilisation (données non présentées). L'absence de symptômes visibles au niveau des racines de la tomate et qui indique une infestation par *Meloidogyne* se vérifie après l'extraction des racines où aussi aucun individu *Meloidogyne* n'a été détecté dans les extraits collectés après

une semaine d'incubation (données non présentées). Ces résultats confirment l'absence des espèces de nématodes du genre *Meloidogyne* dans les parcelles de l'expérimentation observée pendant la première campagne. L'absence de cette nématode endoparasite sédentaire très pathogène sur les cultures maraichères et particulièrement la tomate s'explique par la précédente jachère de la parcelle. Cette dernière a toujours été utilisée comme un moyen de contrôler les populations de nématodes phytoparasites (Pate, 1997 ; Cadet et Floret, 1995). En effet, les densités de nématodes phytoparasites ont tendance à augmenter au cours de la jachère (Cadet et Floret, 1995). Mais, la composition spécifique des peuplements est modifiée et le peuplement devient moins pathogène. Même si le genre *Meloidogyne* est capable de se développer sur environ 2000 espèces végétale, sa présence fortement lié à la présence de ses hôtes de prédilection c'est-à-dire les cultures maraichères et notamment les solanacées. D'autre part, les dures conditions édaphiques pendant les périodes non pluvieuses (fortes températures et sols secs) de la zone d'étude pourrait aussi impacter sur la survie des nématodes du genre *Meloidogyne* dans le sol. Les nématodes *Meloidogyne* sont des parasites majeurs des cultures maraichères, c'est pourquoi, ils étaient particulièrement ciblés dans cette étude dès le début. Cependant, l'absence de *Meloidogyne* dans les parcelles de l'expérimentation en station pour les 2 campagne ne veut pas dire qu'ils ne sont pas présents dans la zone. Les espèces du genre *Meloidogyne* sont bien signalée dans les zones proches où le maraichage est pratiqué, ce qui pourrait occasionner des dégâts importants sur les cultures. En conséquence, il est important de tenir compte de leur présence dans le bassin arachidier et ainsi déterminer le mode de fertilisation capable de réduire les effets des espèces de ce genre de nématodes.

3.4. Abondance des nématodes non phytoparasites

L'abondance totale des nématodes non phytoparasites c'est-à-dire qui mènent une vie libre dans le sol ne dépassent pas 2000 individus/kg de sol en moyenne avant le repiquage, comme pour la première campagne. Mais à la différence à cette dernière, les effectifs des populations ont doublé et les niveaux des populations ont augmenté dans toutes les parcelles 3,5 mois après le repiquage de la tomate (**figure 4**) et plus significativement dans les parcelles amendées avec le compost et le mixte. En effet, à ces dates, le nombre de nématodes libres qui dépassent les 5500 individus/ kg de sol est significativement plus élevée dans ces parcelles comparativement à celui des parcelles témoins, où elle de 3800 individus/kg de sol et proche de celle des parcelles amendées avec l'engrais chimique. Ces résultats montrent comme à la campagne 1 que la fertilisation favoriserait les nématodes libres. Mais pour cette campagne, ce sont surtout les fertilisations mixtes qui apparaissent les plus efficaces.

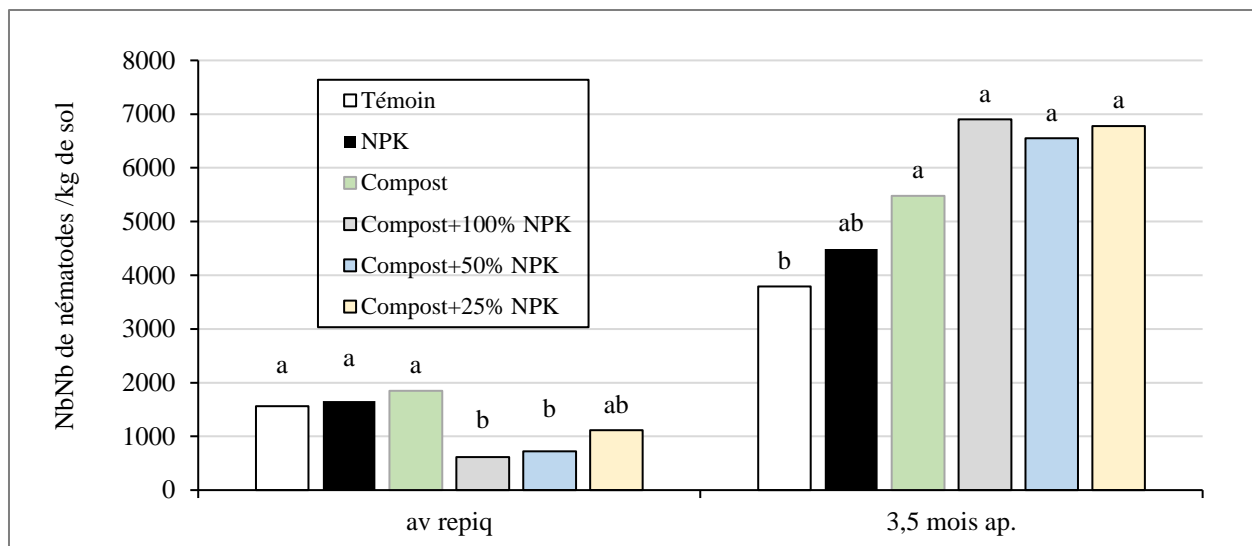


Figure 4 : comparaison de la densité totale de nématodes libres avant et 3,5 mois après repiquage selon le mode de fertilisation

3.5. Structure trophique et groupe trophique des nématodes non phytoparasites

La structure trophique de la communauté de nématode libre obtenus 3,5 mois ap. repiquage de la tomate dans cette 2^{ème} campagne est marquée par une très forte dominance des nématodes bactérivores quel que soit le mode de fertilisation (**Figure 5**). C'est la même tendance qui a été observée pendant la campagne 1. En effet, les nématodes bactérivores représentent en moyenne 90% de la communauté de nématodes libres. La structure trophique évolue fortement 3,5 mois après le repiquage quel que soit le mode de fertilisation. Cependant, l'analyse des autres groupes trophiques montre que les carnivores qui avaient presque disparu dans toutes les parcelles lors de la première campagne, réapparaissent dans les parcelles amendées avec le compost et mixte 50% et 25%. Egalement, dans les parcelles à fertilisation mixte, la proportion de nématodes omnivores est beaucoup plus importante. Ces 2 groupes de nématodes libres (carnivores et omnivores) sont des indicateurs de la maturité du réseau trophique microbivores. L'augmentation de leur proportion dans les parcelles mixtes indique dans cette deuxième campagne un possible retour de la maturité du réseau trophique, qui s'était dégradé au cours de la première campagne. En effet, ce 2 groupes constituent des indicateurs de maturité du réseau trophique du fait de leurs sensibilités aux perturbations comme par exemples certaines pratiques agricoles (Freckman et Ettema, 1993, Urzelai *et al.*, 2000). Ces nématodes disparaissent souvent dans les milieux très perturbés, pollués, ou intensément gérés (Bongers, 1990, 1999). Dans le cas de cette étude, la mise en culture de la parcelle et le labour qui le précèdent serait probablement à l'origine de la disparition des nématodes carnivores et de la réduction des omnivores lors de la première campagne.

Le groupe des bactérivores domine fortement la communauté de nématodes libres quel que soit le mode de fertilisation. Cependant, comme pour la première campagne, des différences d'abondance apparaissent entre traitements 3,5 mois après le repiquage pour cette campagne 2. En effet, les nématodes bactérivores sont significativement plus élevés dans les parcelles amendées avec la fertilisation mixte avec plus de 5000 individus/ kg de sol en comparaison aux autres traitements. Les différences par rapport aux parcelles amendées avec le compost ne sont pas significatives. Cependant, en comparaison à la première campagne, les plus fortes abondances des bactérivores étaient enregistrées dans les parcelles amendées avec du compost seul. La forte augmentation de la densité des nématodes libres observée dans ces parcelles est liée à une forte multiplication des bactérivores. Les mêmes tendances sont observées pour les omnivores avec une abondance de plus 500 individus/kg de sol dans les parcelles à fertilisation mixte, proche de celle d'avant repiquage de la campagne 1. En effet, ce groupe apparaît plus abondant dans les parcelles à fertilisation mixte, avec une abondance qui dépasse 500 individus/kg de sol. Egalement, comme pour la première campagne, le groupe des fongivores présente une abondance significativement plus importante dans les parcelles ayant reçu une fertilisation mixte avec du compost + 50% NPK avec plus de 350 individus/kg de sol (**Tableau 3**). Les bactérivores et les fongivores constituent un des principaux prédateurs de la communauté microbienne (bactérie et champignon). Leur forte présence dans ces parcelles indique une plus grande activité microbienne dans ces parcelles en comparaison aux autres parcelles. En effet, une corrélation entre la stimulation de l'activité bactérienne et la forte abondance des nématodes bactérivores a été montrée par plusieurs auteurs (Ingham *et al.*, 1985 ; Djigal *et al.*, 2004 et 2004b). Constitué essentiellement de composés organiques bien dégradés, le compost stimule l'activité microbienne dans le sol, engendrant une augmentation de la biomasse microbienne qui va constituer une source alimentaire important pour ce groupe de nématodes libres (Ingham *et al.*, 1985 ; Djigal *et al.*, 2004, Briar *et al.*, 2007). La forte présence de ces derniers dans les parcelles amendées avec du compost seul ou plus particulièrement dans les parcelles à fertilisation mixte compost + 50% de NPK, indique une plus grande activité microbienne dans le sol, mais aussi un recyclage plus rapide des nutriments comme l'azote et le phosphore et leur disponibilité pour la plante et par conséquent une plus grande production pour la plante (Ingham *et al.*, 1985 ; Djigal *et al.*, 2004). C'est pourquoi, la comparaison des données nématologiques avec les données agronomiques (sol et rendement) permettra de confirmer ces hypothèses.

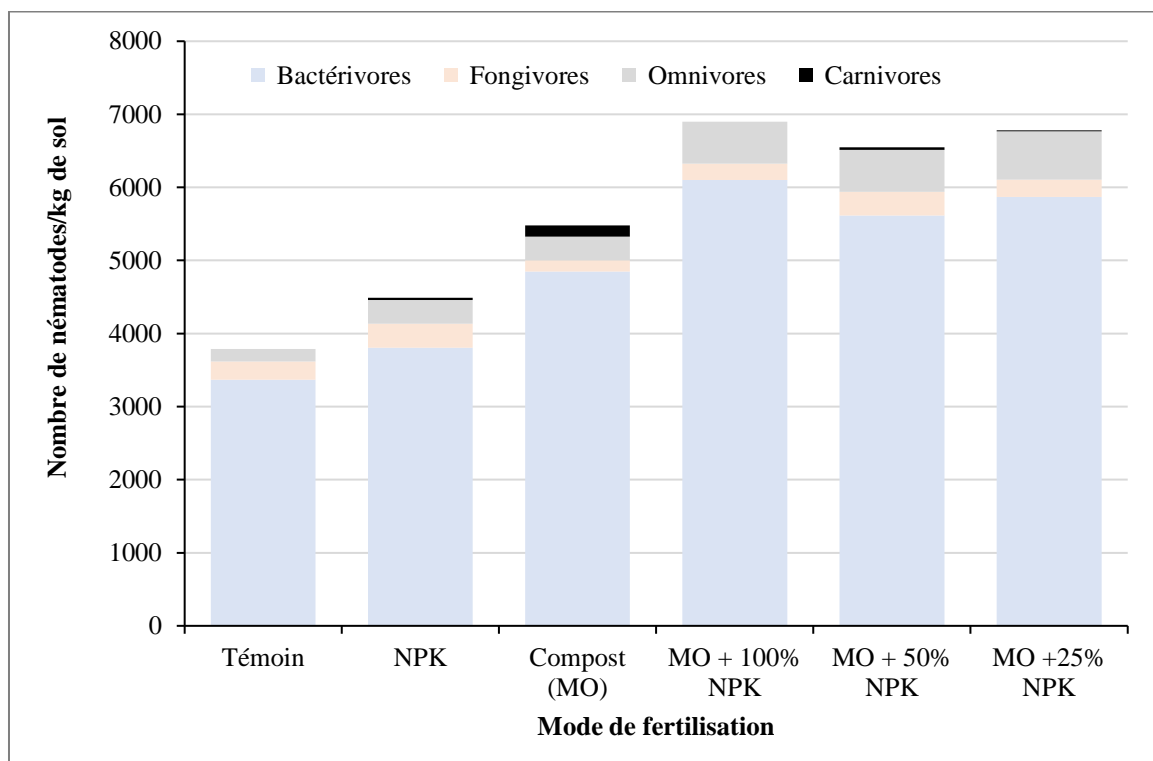


Figure 5 : Evolution de la structure trophique des nématodes non phytoparasites 3,5 mois après repiquage selon le mode de fertilisation.

Tableau 3 : comparaison de l'abondance des groupes trophiques de nématodes libres 3,5 mois après fertilisation. Pour chaque groupe trophique, les nombres qui portent une même lettre ne sont pas significativement différents (Fisher LSD, $p < 0,05$).

Traitements	Groupes trophiques			
	Bactérivores	Fongivores	Omnivores	Carnivores
Témoin	3345 b	177 b	171 b	0 a
NPK	3891 b	221 ab	364 ab	31 a
Compost	4716 ab	205 ab	433 ab	154 a
Compost + 100% NPK	6146 a	222 ab	532 a	0 a
Compost + 50% NPK	5614 a	357 a	511 a	38 a
Compost + 25% NPK	6045 a	136 b	620 a	11 a
p	0.004	0.040	0.043	0.345

3.6. Evolution des indices nématologiques

Les indices écologiques l'IE, l'IS et Le NRC qui sont en moyenne 4,6, 12,1 et 0,98 respectivement n'ont pas significativement évolué selon le mode de fertilisation 3,5 mois après repiquage de la tomate. (**Tableau 4**). Ces résultats indiquent d'une part que la chaîne trophique n'est pas très enrichi, ni structuré dans les différentes parcelles (IE et IS très inférieur < 50) et que la communauté microbienne qui composent la chaîne trophique est à dominante bactérienne avec un NRC très proche de 1 d'autre part, indiquant une décomposition à dominante bactérienne quel que soit le régime de fertilisation. En comparaison à la campagne 1, ces résultats indique globalement une altération de la structure du réseau trophique microbivore et probablement de la qualité du sol. Cette dégradation se confirme avec la représentation graphique des différents traitements suivant le diagramme de Ferris *et al.*, (2001) et qui traduit les conditions de la chaîne trophique dans le sol (**figure 6**). En effet, Ce diagramme classe la chaîne trophique de toutes les parcelles dans le type basal, c'est-à-dire dégradée et appauvri. Ce qui veut dire que le processus de dégradation qui s'était amorcé après la mise en culture lors de la première campagne s'est accentué pour cette présente campagne, même pour les parcelles à fertilisation mixte.

Tableau 4 : évolution des indices d'enrichissement (IE) de structure (IS) et du nematode channel Ratio (NRC) selon le traitement 3,5 mois après la fertilisation.

Traitements	Indices nématologiques		
	IE	IS	NCR
Témoin	5.4a	10.1a	0.97a
NPK	4.8a	12.2a	0.99a
Compost	1.9a	11.3a	0.99a
Compost + 100% NPK	5.0a	11.5a	0.96a
Compost + 50% NPK	8.4a	12.8a	0.95a
Compost +25% NPK	1.8a	14.8a	0.99a
p	0.520	0.68	0.767

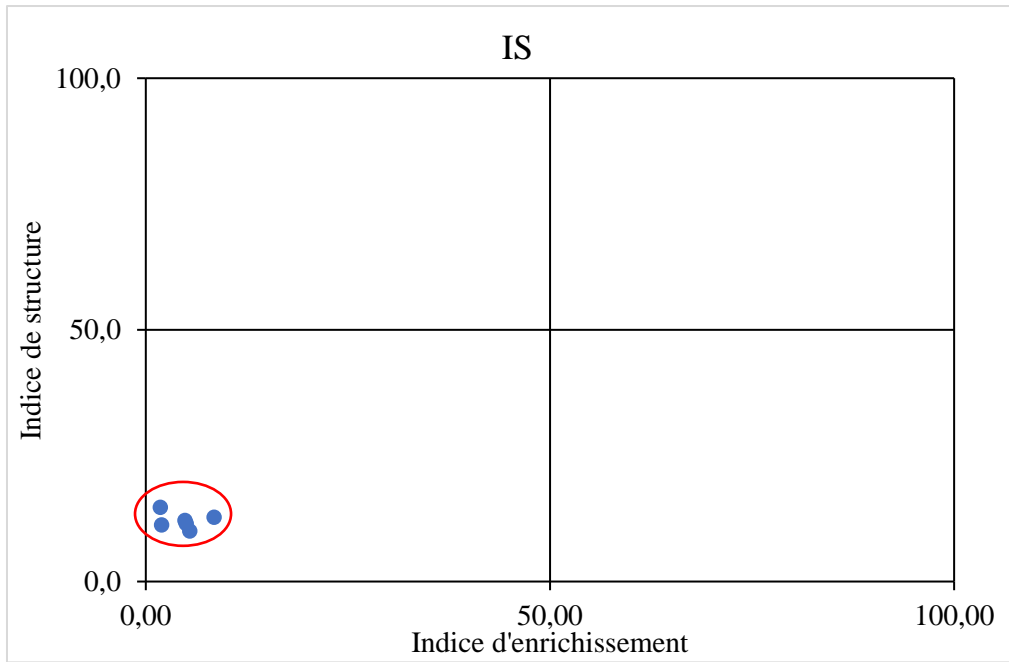


Figure 6 : Représentation sur le plan des 5 traitements 3,5 mois après repiquage selon le diagramme de Ferris et *al.* (2001).

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus pour cette campagne confirment ceux obtenus lors de la première campagne, c'est-à-dire que la fertilisation du sol entraîne une réduction significative des nématodes phytoparasites, surtout de l'espèce dominante des sols du bassin arachidier *Scutellonema cavenessi*. Ils confirment également l'absence des espèces du genre *Meloidogyne* dans la parcelle d'essai. Comme il a été suggéré lors de la première campagne, il serait toujours important de tenir compte de cette espèce très dangereuses sur les cultures maraichères, compte tenu du fait que leur présence a été signalée dans la zone. Ainsi, une expérimentation en laboratoire, où des *Meloidogyne* seront inoculés en présence de la tomate dans des microcosmes pour déterminer les ou le mode de fertilisation efficace dans le contrôle de ce nématode dans les conditions agro pédologique de la zone est en cours.

Pour les communautés de nématodes libres, les mêmes tendances que la première campagne sont observées pour cette présente campagne, avec une forte dominance des nématodes bactérivores, mais de manière plus importante au niveau des parcelles à fertilisation mixte. Ce qui traduit une plus forte activité microbienne dans ces parcelles et probablement un recyclage plus rapide des nutriments pour le développement de la tomate. Par ailleurs, comme il a été constaté lors de la première campagne où la mise en culture des parcelles avait perturbé fortement le réseau trophique, qui était devenu dégradé et appauvri dans les parcelles et atténuée l'apport la fertilisation mixte, la dégradation du réseau trophique s'est accentuée dans toutes les parcelles pour cette campagne aussi. Ainsi le réseau trophique reste comme pour la première campagne de type basal, c'est-à-dire dégradé, appauvri, à C/N élevé et conductif (faible effet suppressive).

En tenant compte des résultats des 2 campagnes, la fertilisation mixte avec compost + 50% de NPK apparait comme la plus prometteuse pour la gestion des nématodes phytoparasites présentes dans ces systèmes étudiés et aussi la moins dégradante sur le réseau trophique microbivore et par conséquent sur la qualité des sols.

Cependant, pour le choix final du ou des modes de fertilisation adaptés aux sols des systèmes de cultures maraichères du bassin arachidier, il faudra tenir compte des résultats qui seront obtenus avec l'expérimentation sur les *Meloidogyne*, mais aussi des possibles corrélations entre les données obtenues dans cette étude avec celles agronomiques pour pouvoir valider les tendances observées.

BIBLIOGRAPHIE

- Baujard P., Bour, E. & Martiny, B. (1995) Incidence des nématodes phytoparasites sur la culture du sorgho dans la zone sahélienne du Sénégal. *Afro-Asian Journal of Nematology* 5: 1-10.
- Bongers, T., 1999. The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptative radiation and cp-scaling. *Plant Soil* 212, 13–22.
- Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83, 14–19.
- Briar, S.S., Grewal, P.S., Somasekhar, N., Stinner, D., Miller, S.A., 2007. Soil nematode community, organic matter, microbial biomass and nitrogen dynamics in field plots transitioning from conventional to organic management. *Appl. Soil Ecol.* 37, 256–266.
- Cadet, P. & Floret, C. (1995). An initial study of fallow periods on the nematode community in the Soudanese-Sahelian zone of Senegal. *Acta Oecologica* 16 (1): 77-88.
- Cissé. S. T. Fall. M. Badiane. Y. Mb. Diop. A. Diouf (2006). Horticulture et usage des pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. Document de travail n°8. I.
- Cissé I., Tandia A. A., Fall S. T., Diop E. S. (2003). Usage incontrôlé des pesticides en agriculture urbaine et périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahier Agriculture*; 12 :181-6
- Djigal, D., Chabrier, C., Duyck P.F., Achard, R., Quénéhervé P. and Tixier P., (2012a). Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems. *Soil Biology & Biochemistry* 48 : 142-150.
- Djigal D., Saj S., Rabary B., Blanchart E., Villenave C. (2012b). Mulch type affects soil biological functioning and crop yield of conservation agriculture systems in a long-term experiment in Madagascar. *Soil & Tillage Research* 118, 11–21.
- Djigal, D., Brauman, A., Diop, T., Chotte, J.L., Villenave, C., 2004. Influence of some bacterial-feeding nematodes (Cephalobidae) on soil microbial community during maize growth. *Soil Biol. Biochem.* 36, 323–331.
- Ferris, H., Bongers, T., de Goede, R.G.M., 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Appl. Soil Ecol.* 18, 13–29.
- Freckman et Ettema, 1993, Freckman, D.W., Ettema, C.H., 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agric. Ecosyst. Environ.* 45, 239–261.
- Germani, G (1981). Pathogenicity of the nematode *Scutellonema cavenessi* on peanut and soybean. *Revue de Nématologie* 4: 203-208.

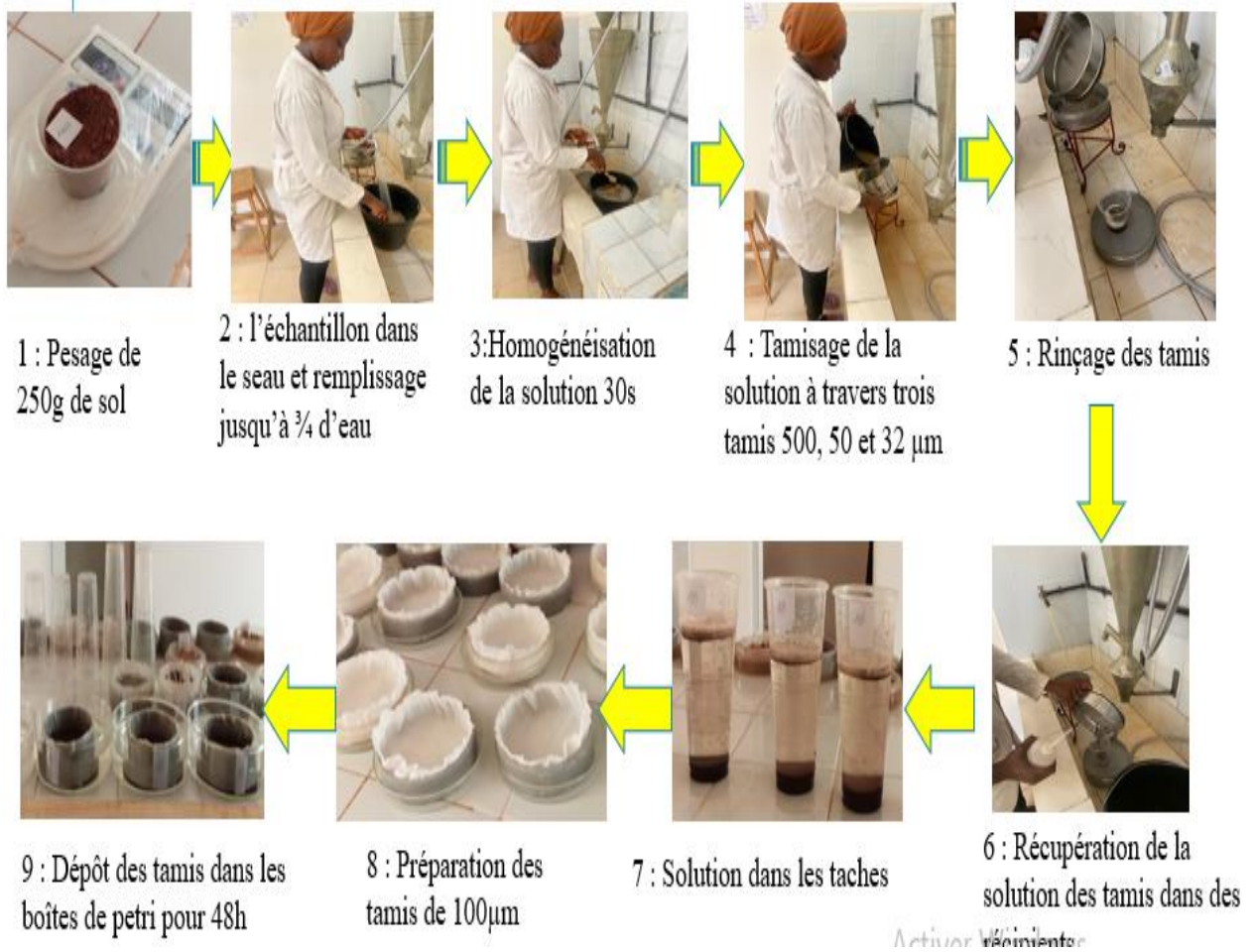
- Ingham RE, Trofymow JA, Ingham ER, Coleman DC (1985) Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol Monogr* 55:119–140.
- Oka, Y., 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments— a review. *Appl. Soil Ecol.* 44, 101–115.
- Oka, Y., Yermiyahu, U., 2002. Nematode-suppressive effects of composts against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on tomato. *Nematology* 4, 891–898.
- Pate, E. (1997) *Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématodes du sol dans les systèmes de culture à jachères au Sénégal*. Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon. 210 pages.
- Raviv, M., Oka, Y., Katan, J., Hadar, Y., Yogev, A., Medina, S., Krasnovsky, A., Ziadan, H., 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresour. Technol.* 96, 419–427.
- Urzelai, A., Hernandez, A.J., Pastor, J., 2000. Biotic indices based on soil nematodes communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *Sci. Total Environ.* 247 (2-3), 253–261.
- Villenave, C., Saj, S., Pablo, A.L., Sall, S., Djigal, D., Chotte, J.L., Bonzi, M., 2010. Influence of long-term organic and mineral fertilization on soil nematofauna when growing *Sorghum bicolor* in Burkina Faso. *Biol. Fert. Soils* 46, 659–670.
- Yeates, G.W., Bongers, T., de Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S., 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *J. Nematol.* 25, 315–331.
- Yeates, G.W., 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biol. Fert. Soils* 37, 199–210

ANNEXES

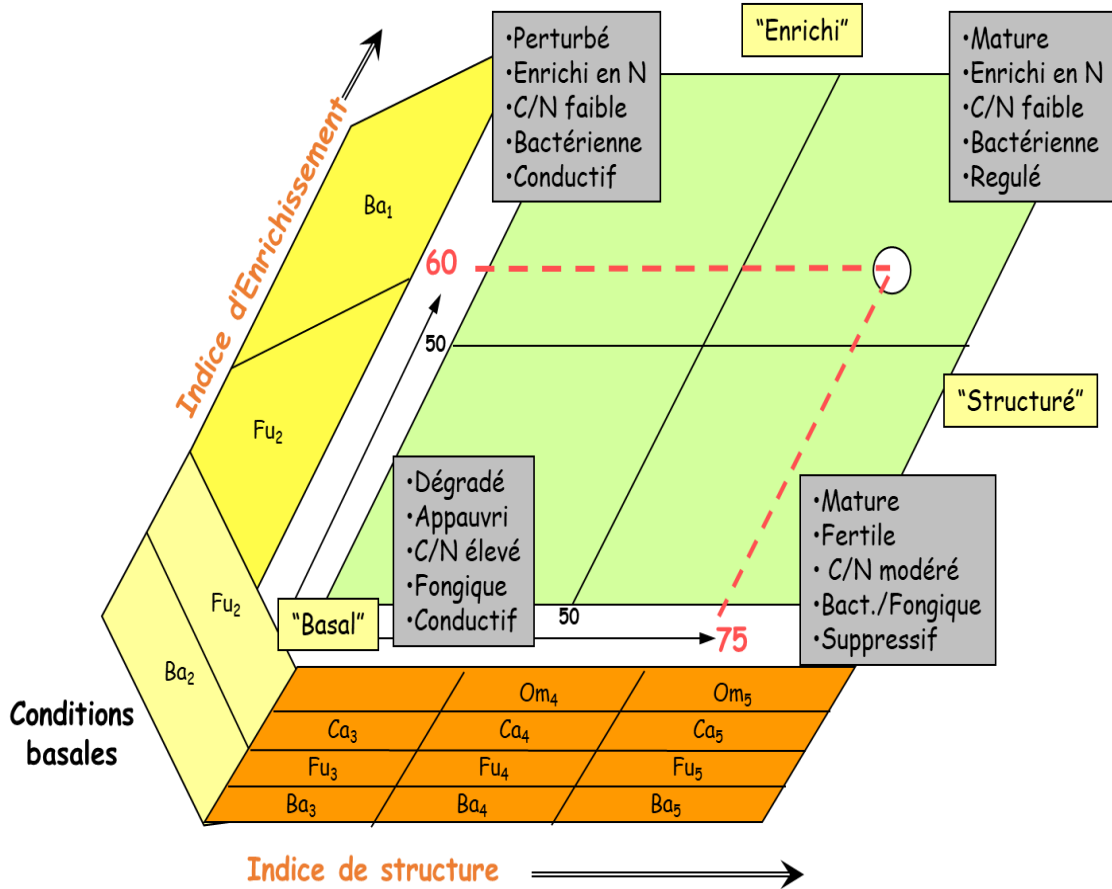
Annexe 1 : Photos illustratives de l'échantillonnage de sol dans le site expérimental à 3,5 mois après repiquage de la tomate



Annexe 2 : Méthode d'extraction des nématodes du sol par la méthode des seaux



Annexe 3 : diagnostic des conditions du réseau trophique selon le modèle de Ferris *et al.*,(2001)



Om : omnivore ; Ba : bactérivores ; Fu : fongivore ; Ca : carnivores

1, 2, 3, 4 et 5 : indiquent les valeurs c-p (coloniseurs-persistants) attribué selon Bongers (1990)