



## Évaluation de la rotation culturale et des bionématicides dans la lutte contre les nématodes de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) : cas du champ paysan de Mondongo dans la province de la Mongala en République Démocratique du Congo

César Monzanga Dongo Lipene<sup>1\*</sup>, Jeanpy Khandi Makoso<sup>1</sup>, François Ikaa Lifeta<sup>3</sup>, Joël Makoka Kiankwen<sup>1</sup>, Fabien Yekola Manzwe<sup>4</sup>, Augustin Ngombo Nzokwani<sup>2</sup>, Adrien Kalonji Mbuyi<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention de Production et protection végétale. Laboratoire de Protection des Cultures. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : [ngomboaugustin@gmail.com](mailto:ngomboaugustin@gmail.com)

<sup>(2)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention de Production végétale. Laboratoire de Génétique et Amélioration des Plantes. BP 117 Kinshasa XI (RDC).

<sup>(3)</sup>Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques, BP 2037 Kin. 1 Kinshasa Gombe (RDC).

<sup>(4)</sup>Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Mondongo. BP 60 Lisala (RDC).

Reçu le 12 octobre 2025, accepté le 18 février 2026, publié en ligne le 28 mars 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i1.5>

### RESUME

**Description du sujet.** Le présent travail porte sur la gestion agroécologique des nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) qui affectent la production de tomate dans la localité de Mondongo en République Démocratique du Congo.

**Objectif.** L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet combiné de la rotation culturale, des amendements organiques et des bionématicides sur la réduction des populations de nématodes et l'amélioration des performances agronomiques de la tomate.

**Méthodes.** L'étude s'est déroulée à Mondongo dans la province de la Mongala (RDC), dans un dispositif en blocs complets randomisés. La rotation a impliqué successivement les cultures de l'oignon (*Allium cepa*), le navet (*Brassica rapa subsp. rapa*), le taro (*Xanthosoma sagittifolium*) et la tomate. Trois amendements organiques (fumier de vaches, fumier de chèvres et terreau) ont été utilisés. En 2025, des bionématicides à base de *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara* et *Jatropha curcas* ont été appliqués sous forme de macérations et pulvérisations. Les paramètres de croissance et de production des plantes ont été mesurés. Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Statistix 8.0 (analyse de la variance au seuil de probabilité de 5 %).

**Résultats.** La rotation culturale seule, même précédée d'une jachère, n'a pas permis de réduire suffisamment les populations de nématodes. Les amendements ont amélioré les performances agronomiques de cultures comme l'oignon et le navet, mais n'ont eu aucun effet sur le taro ni sur la tomate en l'absence de bionématicides. Les bionématicides végétaux, appliqués en 2025, ont significativement amélioré la croissance, la floraison, la fructification et le rendement de la tomate, avec jusqu'à 8 fruits et plus de 800 g par plante.

**Conclusion.** La rotation culturale seule s'est avérée inefficace dans un sol très infesté. En revanche, l'association avec des bionématicides végétaux a permis d'améliorer la production de la tomate. Une stratégie agroécologique intégrée combinant la rotation des cultures, l'apport de l'amendement organique et l'application de bionématicides apparaît donc comme une solution durable pour lutter contre les nématodes à galles.

**Mots-clés :** Tomate, Rotation culturale, Amendement organique, Bionématicide, Mondongo/RDC.

### ABSTRACT

**Assessment of crop rotation and bionemacides in the control of tomato nematodes (*Solanum lycopersicon* L): a case study of peasant field in Mondongo**

**Description of the subject.** This study focuses on the agroecological management of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) that affect tomato production in the Mondongo region of the Democratic Republic of Congo.

**Objective.** The objective of this study is to analyze the combined effect of crop rotation, organic amendments, and bionemacides on reducing nematode populations and improving the agronomic performance of tomatoes.

**Methods.** The study was conducted in Mondongo in the province of Mongala (DRC), using a randomized complete block design. The rotation involved successive crops of onion (*Allium cepa*), turnip (*Brassica rapa*

subsp. *rapa*), taro (*Xanthosoma sagittifolium*), and tomato. Three organic amendments (cow manure, goat manure, and compost) were used. In 2025, bionematicides based on *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara*, and *Jatropha curcas* were applied in the form of macerations and sprays. Plant growth and production parameters were measured. The data collected were analyzed using Statistix 8.0 software (analysis of variance at a 5% probability threshold).

**Results.** Crop rotation alone, even preceded by fallow, did not sufficiently reduce nematode populations. The amendments improved the agronomic performance of crops such as onions and turnips, but had no effect on taro or tomatoes in the absence of bionematicides. Plant-based bionematicides, applied in 2025, significantly improved tomato growth, flowering, fruiting, and yield, with up to 8 fruits and more than 800 g per plant.

**Conclusion.** Crop rotation alone proved ineffective in heavily infested soil. However, combining it with plant-based bionematicides improved tomato production. An integrated agroecological strategy combining crop rotation, organic amendments, and the application of bionematicides therefore appears to be a sustainable solution for controlling gall nematodes.

**Keywords:** Tomato, Crop Rotation, Organic amendment, Bionematicide, Mondongo/DRC.

## 1. INTRODUCTION

La culture de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) occupe une place stratégique dans les systèmes maraîchers tropicaux, tant pour sa valeur économique que pour ses apports nutritionnels. Elle constitue une source essentielle de revenus pour de nombreux producteurs familiaux, en particulier en Afrique centrale, où elle alimente aussi bien les marchés urbains que ruraux (Laterrot, 2023 ; Mawuena *et al.*, 2023). Toutefois, la production de tomate est soumise à de nombreux stress biotiques, parmi lesquels les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) qui sont les plus dévastateurs. Ces bioagresseurs du sol provoquent la formation de galles racinaires, inhibent l'absorption hydrique et minérale et réduisent considérablement les rendements (Sikora & Fernandez, 2005 ; Moens *et al.*, 2009).

Dans les contextes à forte infestation, la lutte contre ces nématodes représente un défi agronomique majeur. Parmi les stratégies recommandées, la rotation culturale figure parmi les méthodes prophylactiques les plus anciennes et les plus diffusées. Elle consiste à alterner les cultures sensibles avec des espèces non hôtes dans l'objectif de perturber le cycle biologique du parasite (Seinhorst, 1967 ; Ferris & Zheng, 1999). De nombreuses études ont souligné l'utilité de cette technique dans la gestion durable des pathogènes telluriques (Sorribas *et al.*, 2023 ; Tian & Hu, 2024 ; Gao *et al.*, 2025). Cependant, l'efficacité de la rotation est étroitement liée au niveau initial d'infestation, à la sélection des cultures de substitution, à la durée de la rotation et aux interactions biologiques du sol (Widmer *et al.*, 2002 ; Zhang *et al.*, 2019 ; Westerdahl & Beem, 2022).

Dans la localité de Mondongo (Province de la Mongala, RDC), localité agricole autrefois réputée pour sa production de tomates améliorées distribuées par la Coopération Technique Belge (CTB), un champ d'un hectare a subi en 2015 une perte totale de rendement due à une infestation

aiguë de *Meloidogyne*. Les analyses diagnostiques ont mis en évidence une infestation massive par *Meloidogyne* spp., avec des densités de 21 nématodes pour 100 g de racines et 34 nématodes par cm<sup>3</sup> de sol, excédant largement les seuils de nuisibilité admis pour la culture de tomate (Sanchez-Moreno *et al.*, 2022 ; Oka & Tkachi, 2023 ; Tian & Hu, 2024). Une jachère de six années (2015–2021) a été recommandée, suivie d'un programme expérimental de rotation culturale mis en œuvre entre 2022 et 2025.

Ce dispositif expérimental a impliqué une succession culturale sur quatre ans : oignon et navet en 2022, taro en 2023, puis tomate en 2024 et 2025. Des amendements organiques (fumier de vaches, fumier de chèvre et terreau) ont été appliqués annuellement, et en 2025, des bionematicides à base d'extraits de *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara* et *Jatropha curcas* ont été introduits.

Malgré une jachère de six ans, la mise en place d'une rotation culturale sur quatre années successives (oignon, navet, taro puis tomate) n'a pas permis, en 2024, de restaurer la production. Aucun des traitements à base d'amendements organiques (fumier de vaches, fumier de chèvres, terreau) n'a montré une efficacité suffisante pour contenir les populations de nématodes, lesquelles ont continué à compromettre la floraison et la fructification de la tomate.

Dans ce contexte, il est nécessaire d'évaluer de manière critique, l'efficacité de la rotation des cultures, associée ou non à des amendements et à des bionematicides, dans un champ fortement infesté par les nématodes à galles. La rotation des cultures est une méthode classique et intégrée de gestion des nématodes (Ferris & Zheng, 1999 ; Moens *et al.*, 2009), en privant les pathogènes de leur hôte privilégié, elle vise à briser leur cycle biologique (Seinhorst, 1967 ; Widmer *et al.*, 2002). Cependant, son efficacité dépend de plusieurs

facteurs : choix des espèces culturales, durée de rotation, qualité des amendements et conditions environnementales (Radcliffe *et al.*, 2009).

En effet, la rotation culturale, dans un sol préalablement saturé en nématodes, n'est pas suffisante pour en assurer la régulation durable sans l'adjonction de stratégies complémentaires telles que l'amendement organique et l'usage de produits bioactifs à effet nématocide. Cette étude se justifie dans la mesure où l'échec constaté sur le terrain met en question la robustesse des recommandations classiques et invite à une réévaluation des approches agroécologiques dans les zones à forte pression nématologique.

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer l'efficacité de la rotation culturale et de son association avec des bionématicides d'origine végétale dans la gestion des nématodes à galles affectant la tomate. Plus spécifiquement, l'étude vise à répondre aux interrogations suivantes : (i) La rotation culturale permet-elle, à elle seule, de réduire les populations de *Meloidogyne* en deçà du seuil de nuisibilité ? (ii) Les types d'amendements organiques influencent-ils la dynamique des populations de nématodes ? (iii) L'application de bionématicides améliore-t-elle significativement les performances de la culture de tomate en conditions infestées ?

Cette recherche offre un éclairage critique sur les limites pratiques de la rotation culturale dans des contextes à forte infestation. Elle souligne aussi l'intérêt potentiel de recourir à des alternatives écologiques comme les extraits végétaux aux propriétés nématocides, en renforçant les principes de la gestion intégrée des ravageurs.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Zone d'étude

L'expérimentation a été menée de 2022 à 2025 dans le village de Mondongo, situé dans le territoire de Lisala, province de la Mongala, au nord-ouest de la République Démocratique du Congo. Ce site

appartient à la zone agroécologique de la cuvette centrale, caractérisée par un climat équatorial de type humide.

Mondongo est localisé aux coordonnées géographiques suivantes : Latitude : 2°10' Nord ; Longitude : 21°30' Est ; Altitude : environ 400 mètres au-dessus du niveau de la mer et le champ expérimental se trouvait aux coordonnées géographiques suivantes : 2°17'19'' latitude Nord et 2°17' longitude Est. Les précédents culturaux étaient constitués de la culture de la Tomate (*Solanum lycopersicum*) en 2015 suivie d'une jachère dominée par les Parossoliers (*Musanga cercopoïdes*) et *Chromolaena odorata*.

Le climat y est dominé par deux saisons principales : une saison des pluies s'étendant de mars à novembre, avec un pic de précipitations entre avril et mai, ainsi qu'en octobre, et une courte saison sèche de décembre à février, où les pluies diminuent considérablement.

Les températures annuelles moyennes oscillent entre 24 °C et 27 °C, avec une humidité relative généralement élevée, supérieure à 80 % pendant la majeure partie de l'année. Les précipitations annuelles sont estimées entre 1 760 et 2 250 mm.

Le sol du site expérimental est de type ferrallitique, relativement profond, à texture argilo-limoneuse, à pH légèrement acide (5,5–6,2), bien drainé, mais pauvre en éléments nutritifs majeurs, ce qui justifie l'usage d'amendements organiques pour améliorer sa fertilité.

L'activité agricole de la zone est essentiellement paysanne, axée sur les cultures vivrières, notamment le manioc, le maïs, l'arachide et les cultures maraîchères. L'agriculture de subsistance pratiquée est en grande partie non mécanisée, avec une forte dépendance aux conditions climatiques naturelles. Le tableau 1 présente les conditions climatiques ayant prévalu au cours de la période expérimentale.

**Tableau 1.** Relevés climatiques pendant la période expérimentale

Années	Température (°C)	Précipitation (mm)
2020	27	1730
2021	28	1828
2022	31	2232
2023	24	2223
2024	25	1789
2025 (Janvier à Mai)	25	527
Moyenne ou total	Moyenne : 25,9	Moyenne: 1721,5

**Source :** Infoclimat.fr

## 2.2. MATERIEL

Quatre cultures vivrières ont été choisies pour structurer le système de rotation : l'Oignon (*Allium cepa* L.), le Navet (*Brassica rapa* L.), le Taro (*Colocasia esculenta* L.) et la Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Ces espèces ont été sélectionnées sur la base de leur importance alimentaire, de leur fréquence dans les systèmes maraîchers locaux et de leurs caractéristiques agronomiques distinctes : (i) Oignon : variété Red creole en Louisiane (USA) à bulbe blanc, cycle de 90 à 120 jours, sensible aux sols mal drainés, adaptée aux zones tropicales, écartement de 30 cm entre les lignes et 20 cm sur la ligne ; (ii) Navet : variété Tokyo top à racine blanches, rondes et lisses cycle court de 60 à 75 jours, adaptée aux sols légers et frais, écartement de 1 m dans tout le sens ; (iii) Taro : variété traditionnelle de la région (locale) à gros cornes, cycle de 180 à 210 jours, forte tolérance à l'humidité, écartement de 1 m dans tout le sens ; (iv) Tomate : variété améliorée Caraïbo, à croissance déterminée, certifiée par le Service National des Semences (SENASA), cycle de 90 à 120 jours, sensible aux pathogènes telluriques, écartement de 50 cm entre les lignes et 50 cm sur la ligne.

Trois types d'amendements ont été utilisés pour enrichir le sol avant l'implantation des cultures : (i) Fumier de vaches provenant d'élevage extensif local ; (ii) Fumier de chèvres provenant de la chèvrerie de l'Institut Supérieur d'études Agronomiques (ISEA) de Mondongo ; (iii) Terreau : issu de décomposition végétale, récolté derrière les cases des paysans, utilisé comme substrat d'amélioration de la capacité de rétention en eau et de la minéralisation progressive.

Dans une approche de lutte biologique contre les nématodes, trois espèces végétales à potentiel bionématicide ont été utilisées : (i) *Cymbopogon citratus* (citronnelle) : espèce connue pour ses composés volatils aux effets répulsifs sur les nématodes, (ii) *Lantana camara* : espèce aux feuilles riches en substances nématocides naturelles ; et (iii) *Jatropha curcas* : plante toxique aux graines contenant des composés à activité antiparasitaire.

## 2.3. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complets randomisés (BCR), adapté pour un plan de rotation sur quatre années consécutives a été suivi comme présenté au tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 1.** Rotation sur quatre années consécutives

Année	Saison sèche	Saison des pluies
2022	Oignon ( <i>Allium cepa</i> )	Navet ( <i>Brassica rapa subsp rapa</i> )
2023	Taro ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> )	Taro ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> )
2024	Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Tomate ( <i>S. lycopersicum</i> )

évaluer les effets des traitements tout en tenant compte de la variabilité du terrain. Le plan expérimental comprenait trois (3) blocs répliqués et trois (3) traitements appliqués de façon aléatoire dans chaque bloc, soit un total de neuf (9) parcelles expérimentales par culture. Chaque culture a été implantée sur une surface distincte, avec des dimensions spécifiques pour les parcelles, les allées et l'espacement entre blocs :

### Oignon (*Allium cepa* L.)

- ✓ Dimensions d'une parcelle : 2 m de long sur 1,5 m de large, soit une superficie de 3 m<sup>2</sup> ;
- ✓ Nombre de parcelles : 9 (3 blocs × 3 traitements) ;
- ✓ Distance entre deux parcelles : 1 m ;
- ✓ Distance entre les blocs : 1 m ;
- ✓ Superficie totale du champ réservé à l'oignon : 52 m<sup>2</sup> (longueur : 8 m ; largeur : 6,5 m) ;
- ✓ Nombre de plants par parcelle : 45 plantes.

### Navet (*Brassica rapa* subsp *rapa* L.) et Taro (*Xanthosoma sagittifolium* L.)

- ✓ Dimensions d'une parcelle : 9 m de long sur 5 m de large, soit une superficie de 45 m<sup>2</sup> ;
- ✓ Nombre de parcelles : 9 pour chaque culture (3 blocs × 3 traitements) ;
- ✓ Distance entre deux parcelles : 1 m ;
- ✓ Distance entre les blocs : 1,5 m ;
- ✓ Superficie totale du champ réservé au navet et au taro : 510 m<sup>2</sup> (longueur : 30 m ; largeur : 17 m) ;
- ✓ Nombre de plants par parcelle : 45 plantes.

### Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

- ✓ Dimensions d'une parcelle : 4 m de long sur 3 m de large, soit une superficie de 12 m<sup>2</sup> ;
- ✓ Nombre de parcelles : 9 (3 blocs × 3 traitements) ;
- ✓ Distance entre deux parcelles : 1 m ;
- ✓ Distance entre les blocs : 1 m ;
- ✓ Superficie totale du champ réservé à la tomate : 154 m<sup>2</sup> (longueur : 8 m ; largeur : 6,5 m) ;
- ✓ Nombre de plants par parcelle : 45 plantes.

Chaque traitement a été attribué de manière aléatoire dans les blocs afin de minimiser les biais expérimentaux.

Trois types d'amendements organiques ont été appliqués de manière systématique à chaque saison, sauf en 2025 où des bionématicides ont été ajoutés : (i) T1 : Fumier de vache (0,75 kg/poquet) ; (ii) T2 : Fumier de chèvre (0,75 kg/ poquet) ; (iii) T3 : Terreau (0,75 kg/ poquet). En 2025, à chaque traitement organique ont été associés des bionématicides naturels : (i) T1-bio : *Cymbopogon citratus* (3 kg) + *Lantana camara* (3 kg) ; T2-bio : *Jatropha curcas* 0,5 kg) + *Lantana camara* (3 kg) ; (iii) T0 : Témoin (Aucun bionématicide).

#### 2.4. Préparation et application des fertilisants organiques et des bionématicides

Cette opération a été effectuée une semaine avant le semis et le repiquage, afin de permettre une intégration adéquate de la matière organique au sol et ainsi maximiser la disponibilité des nutriments au moment de l'installation des jeunes plants.

Trois espèces végétales reconnues pour leurs propriétés nématocides ont été sélectionnées pour cette étude : *Cymbopogon citratus* (citronnelle), *Jatropha curcas* (pourghère) et *Lantana camara* (lantana). Le mode de préparation et d'application de chacune de ces espèces a été adapté à leurs caractéristiques biochimiques spécifiques.

La citronnelle a été utilisée en deux phases : en macérat avant le repiquage et en solution liquide après le repiquage. Tout d'abord, 3 kg de feuilles fraîches ont été récoltées, broyées au mortier puis enfouies dans les trous de plantation trois semaines avant le repiquage. Cette phase visait à enrichir le sol en composés volatils à effet nématocide. Après le repiquage, 10 kg de feuilles fraîches supplémentaires ont été récoltées, broyées finement, puis pressées pour en extraire le jus. Ce jus a été dilué à raison de 1 partie de jus pour 10 parties d'eau (par exemple, 100 ml de jus dans 1 litre d'eau). La solution ainsi obtenue a été appliquée autour du pied des plantes à raison de 500 ml par pied, en arrosage ciblé à la base. L'application a été répétée tous les 15 jours jusqu'à la fin du cycle végétatif.

Pour le *Jatropha*, 500 g de graines mûres ont été broyées manuellement au mortier pour obtenir une pâte épaisse. Cette dernière a été diluée dans de l'eau dans un rapport de 1 partie d'huile pour 2 parties d'eau. La solution a été appliquée à raison de 250 ml autour de chaque pied, en mouillage du sol dans un rayon proche de la base. Afin de maintenir son efficacité, l'application a été renouvelée tous les 21 jours.

Enfin, 3 kg de feuilles fraîches de *Lantana* ont été récoltées puis broyées grossièrement. La solution a été préparée en diluant 100 g de feuilles broyées dans 1 litre d'eau, selon une concentration adaptée pour assurer un bon effet nématocide. L'application s'est faite à raison de 300 ml par pied, répartie autour de la base dans un rayon de 50 cm. Les applications ont été répétées tous les 18 jours.

Les modalités de semis et repiquage ont varié selon les cultures considérées : (i) Oignon (*Allium cepa*

L.) : semis dans un germeoir de 2 m de long sur 1 m de large (2 m<sup>2</sup>) le 20 décembre 2021. Le repiquage le 22 janvier 2022, écartements de 30 cm × 20 cm ; (ii) Navet (*Brassica rapa subsp rapa* L.) : semis dans un germeoir de 2 m × 1 m le 10 mai 2022. Repiquage le 15 juin 2022, écartements de 1 m × 1 m ; (iii) Taro (*Xanthosoma sagittifolium*) : plantation directe le 20 octobre 2022, écartement de 1 m × 1 m ; (iv) Tomate (saison sèche) : germeoir de 2 m × 1 m, semis le 28 juillet 2023, repiquage le 26 août 2023, écartement de 50 cm × 50 cm ; (v) Tomate (saison des pluies) : semis le 27 décembre 2023, repiquage le 21 janvier 2024, écartement de 50 cm × 50 cm ; (vi) Tomate + bionématicides (saison sèche) : semis le 28 mai 2024, repiquage le 16 août 2024, écartement de 50 cm × 50 cm ; (vii) Tomate + bionématicides (saison pluvieuse) : semis le 25 novembre 2024, repiquage le 20 janvier 2025, écartement de 50 cm × 50 cm.

L'entretien des cultures a consisté en des sarclages manuels réguliers, arrosages selon les besoins hydriques spécifiques à chaque culture, le buttage pour les espèces comme le taro et la tomate, ainsi que l'apport d'amendements organiques (fumier de vaches, fumier de chèvres et terreau) suivant les modalités définies pour chaque traitement. Pour les essais avec bionématicides, les plantes à action nématocide (*Cymbopogon citratus*, *Lantana camara* et *Jatropha curcas*) ont été soit incorporées (enfouis) soit pulvérisé selon le protocole de traitement.

Les données ont été recueillies à partir d'un échantillon de cinq plants choisis au hasard par parcelle expérimentale. Les observations ont porté sur les paramètres végétatifs et de production suivants :

(i) Le Taux de levée ou de reprise (%) : il a été évalué neuf jours après le semis. Il a été calculé en faisant le rapport entre le nombre de graines levées ou le nombre de pieds repris et le nombre de graines semées ou le nombre de pieds repiqué multiplié par cent.

(ii) Le Diamètre au collet (mm) et la Hauteur des plants (cm) : ils ont été évalués à l'aide d'un pied à coulisse et d'un mètre ruban.

(iii) Le nombres de fruits par plant : il a été obtenu par comptage manuel de fruits par plante au moment de la récolte.

(iv) Le poids de fruits par plant (g) : il a été évalué en pesant les fruits par plante à l'aide d'une balance à précision de la Marque française Adam Core.

(v) Le rendement estimatif (kg/ha) : a été calculé en ramenant la production parcellaire à l'hectare.

## 2.5. Analyse statistique

Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un seuil de signification de 5 % en utilisant le logiciel Statistix version 8.0. L'ANOVA a été suivie d'une analyse de comparaison multiple LSD (Test de la plus petite différence significative), effectuée pour déterminer les différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les traitements.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Paramètres agronomiques de l'oignon (2022, saison sèche)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs, génératifs et de production de la culture de l'oignon sont présentés dans le tableau 3. L'analyse des résultats du tableau 3 indiquent une influence significative du type de fertilisation sur certains paramètres clés de développement. Sur le plan végétatif, bien que la longueur et le nombre de

feuilles par plante ne varient pas significativement selon les traitements ( $p > 0,05$ ), le diamètre au collet affiche une différence statistiquement significative ( $p = 0,0400$ ), avec une supériorité observée pour le fumier de chèvres (0,8 cm), suivi du fumier de vache (0,7 cm), alors que le terreau enregistre les valeurs les plus faibles. Ces résultats suggèrent une meilleure stimulation de la croissance structurale par les fumiers animaux. Le même constat s'observe au niveau des paramètres génératifs et de production : le nombre de bulbes par plante et, plus encore, le diamètre des bulbes ( $p = 0,0554$ ) ainsi que leur poids ( $p = 0,0462$ ) sont nettement plus élevés avec le fumier de chèvres soit 5,6 cm et 318,5 g. La productivité globale de cette culture semble donc fortement dépendante de la qualité nutritionnelle et de la biodisponibilité des éléments apportés par le fumier caprin, qui se démarque ici comme le meilleur amendement organique pour l'oignon.

**Tableau 2.** Paramètres végétatifs et de production de la culture de l'oignon

Traitements	Paramètres Végétatifs		Paramètres génératifs		Paramètres de production	
	Diamètre moyen au collet (cm)	Longueur moyenne de feuilles (cm)	Nombre moyen de feuilles/plante	Nombre moyen de bulbes	Diamètre moyen de bulbes (cm)	Poids moyen bulbes/plante (g)
T1	0,7±0,0 <sup>ab</sup>	40,4±1,9	6,2±0,1	4,4±1,1	3,6±0,1 <sup>b</sup>	224,6±50,9 <sup>ab</sup>
T2	0,8±0,1 <sup>a</sup>	41,1±0,4	6,2±0,1	5,3±0,5	5,6±0,2 <sup>a</sup>	318,5±80,0 <sup>a</sup>
T3	0,6±0,1 <sup>b</sup>	41,4±1,1	6,0±0,3	3,4±0,5	4,7±1,1 <sup>ab</sup>	142,6±21,6 <sup>b</sup>
Moyenne générale	0,7	41,0	6,1	4,4	4,6	228,5
p-value	0,04	0,63	0,67	0,12	0,05	0,04
LSD	0,09	2,71	0,52	1,99	1,57	127,85
CV	5,83	2,92	3,77	20,14	14,98	24,68

Les chiffres dans les colonnes suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de LSD à 5% de probabilité.

**Légende :** T1 (Fumier de vaches : 750 g/pied), T2 (Fumier de chèvres : 750 g/pied) ; T3 (Terreaux : 15 kg/pied), CV (Coefficient de variation), LSD (Least Significant Difference)

### 3.2. Paramètres agronomiques de Navet (2022, saison pluvieuse)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs et de production de la culture du Navet sont présentés dans le tableau 4. Les résultats du tableau 4 indiquent des écarts qui sont moins marqués. Si les dimensions morphologiques du tubercule (longueur et diamètre) ne diffèrent pas significativement selon les traitements, le poids du tubercule présente toutefois une variation notable ( $p = 0,01$ ). Le fumier de vaches permet d'obtenir les plus gros tubercules (267,5 g), indiquant une meilleure efficacité dans l'accumulation de biomasse, probablement en lien avec une libération plus lente et constante des nutriments. Le terreau et le fumier de chèvres montrent des performances légèrement inférieures mais sans différence significative entre eux, ce qui peut traduire une efficacité agronomique relativement équivalente pour ces deux amendements sur cette culture.

**Tableau 3.** Paramètres végétatifs et de production de la culture du Navet

Traitements	Paramètre Végétatif		Paramètres de production	
	Diamètre moyen au collet (cm)	Longueur moyenne de tubercule (cm)	Diamètre moyen de tubercule (cm)	Poids moyen de tubercules/plante (g)
T1	3,0±0,6	28,2±0,8	3,2±0,8	267,5±3,4 <sup>a</sup>
T2	2,7±0,1	26,6±2,7	2,6±0,1	236,1±14,5 <sup>b</sup>

T3	2,7±0,2	18,5±11,8	2,6±0,2	233,7±11,8 <sup>b</sup>
Moyenne générale	2,80	24,40	2,80	245,8
p-value	0,39	0,36	0,44	0,01
LSD	0,66	17,89	1,27	15,34
CV	10,42	32,31	19,92	2,75

Les chiffres dans les colonnes suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de LSD à 5 % de probabilité.

**Légende :** T1 (Fumier de vaches :0,75 kg), T2 (Fumier de chèvres : :0,75 kg/Pied) ; T3 (Terreaux : 15 kg/Pied), CV (Coefficient de variation), LSD (Least Significant Difference)

### 3.3. Paramètres agronomiques de Taro (*Xanthosoma sagittifolium*) (2023)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs et de production de la culture du Taro sont présentés dans le tableau 5. Ces résultats révèlent qu'aucun des traitements n'a permis de produire des différences statistiquement significatives, que ce soit pour le diamètre au collet, le diamètre ou le poids du tubercule ( $p > 0,1$  dans tous les cas). Bien que les valeurs moyennes montrent une légère supériorité du fumier de vaches en termes de poids (296,5 g), l'homogénéité des résultats laisse penser que cette culture est peu sensible aux variations de nature d'amendements organiques utilisés, ou que d'autres facteurs tels que l'humidité ou le pH du sol jouent un rôle prédominant dans sa croissance et sa production.

**Tableau 4.** Paramètres végétatifs et de production de la culture du taro

Traitements	Paramètre Végétatif	Paramètres de production	
	Diamètre moyen au collet (cm)	Diamètre moyen de tubercule (cm)	Poids moyen de tubercules/plante (g)
T1	1,7±0,1	8,2±1,5	296,5±23,4
T2	1,9±0,1	8,9±1,2	264,7±8,9
T3	1,6±0,2	9,1±1,4	271,0±26,8
Moyenne générale	1,7	8,7	277,4
p-value	0,1	0,7	0,3
LSD	0,2	3,7	52,6
CV	7,4	18,9	8,3

**Légende :** T1 : Fumier de vaches (750 g), T2 : Fumier de chèvres (750 g) ; T3: Terreaux (15 kg/pied ), CV (Coefficient de variation), LSD (Least Significant Difference)

### 3.4. Tomate (2024 saison sèche et pluvieuse)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs et de production de la culture de la Tomate en saisons sèche et pluvieuse (sans bionématicides) sont présentés dans le tableau 6. Les expérimentations menées sur la tomate sans bionématicides, tant en saison sèche qu'en saison pluvieuse, ont montré des résultats particulièrement faibles. Les paramètres végétatifs (hauteur à la floraison et diamètre au collet) présentent peu de variation significative, et le nombre de fruits reste extrêmement bas dans toutes les conditions testées, avec des p-values largement supérieures à 0,05 et un coefficient de variation très élevé ( $CV > 230\%$ ), ce qui indique une grande instabilité des résultats. Cette absence de performance pourrait s'expliquer par une forte pression parasitaire, notamment des nématodes, qui aurait compromis le développement génératif de la plante, réduisant ainsi drastiquement sa capacité à fructifier.

**Tableau 5.** Paramètres végétatifs et de production de la culture de la tomate en saisons sèche et pluvieuse (Sans bionématicides)

Traitements	Paramètre Végétatif	Paramètre	
Tomate (en saison sèche)			
	Hauteur moyenne à la floraison (cm)	Diamètre moyen au collet (cm)	Nombre moyen de fruits/plante
T1	29,8±1,4	0,8±0,1	0,1±0,1
T2	30,7±2,4	0,9±0,2	0,0±0,1
T3	30,5±1,2	0,8±0,1	0,2±0,3
Moyenne générale	30,3	0,8	0,1
p-value	0,77	0,94	0,67
LSD	3,56	0,30	0,52

CV 5,17 15,79 230,94

### Tomate (en saison pluvieuse)

Traitements	Hauteur moyenne à la floraison (cm)	Diamètre moyen au collet (cm)	Nombre moyen de fruits/plante
T1	33,6±3,8	0,8±0,1	0,1±0,1
T2	32,2±3,4	2,0±2,1	0,0±0,1
T3	34,6±5,1	1,9±1,9	0,2±0,3
Moyenne générale	33,5	1,6	0,1
p-value	0,35	0,50	0,67
LSD	3,99	2,77	0,52
CV	5,26	77,39	230,94

**Légende :** T1 (Fumier de vaches 0,75 kg) ; T2 (Fumier de chèvres 750 g) ; T3 (Terreaux 15 kg/Pied) ; CV (Coefficient de variation) ; LSD (Least Significant Difference)

### 3.5. Paramètres agronomiques de Tomate avec bio-nématicides (2025 saison sèche)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs et de production de la culture de la Tomate en saison sèche (avec sans bionématicides) sont présentés dans le tableau 7. L'application de traitements à base de bionématicides a influencé les performances de la tomate. En saison sèche, les traitements T1 (*Cymbopogon citratus* + *Lantana camara*) et T2 (*Jatropha curcus* + *Lantana camara*) ont permis d'atteindre des hauteurs à la floraison supérieure à 29 cm, un diamètre au collet avoisinant 1,0 –1,3 cm, et surtout une production fructifère remarquable (jusqu'à 7,9 fruits en moyenne avec un poids de plus de 0,5 kg par plante). Les plantes témoins n'ont donné aucun fruit. Ces différences sont fortement significatives sur les plans végétatif et génératif ( $p < 0,01$ ), confirmant l'efficacité des bionématicides dans la lutte contre les pathogènes du sol.

**Tableau 6.** Paramètres végétatifs et de production de la culture de la tomate en saison sèche avec bionématicide

Traitements	Paramètres Végétatifs		Paramètre génératif	Paramètre de production
	Hauteur moyenne à la floraison (cm)	Diamètre moyen au collet (cm)	Nombre moyen de fruits	Poids moyen de fruits/plante (g)
T0	6,2±3,0 <sup>b</sup>	0,4±0,2 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0
T1	29,6±0,4 <sup>a</sup>	1,0±0,2 <sup>a</sup>	7,9±0,9 <sup>a</sup>	501,4±417,5
T2	31,1±0,8 <sup>a</sup>	1,3±0,1 <sup>a</sup>	6,8±0,9 <sup>a</sup>	508,2±96,8
Moyenne générale	22,30	0,90	4,90	336,50
p-value	0,00	0,07	0,00	0,12
LSD	3,27	0,35	1,82	603,84
CV	6,46	17,87	16,50	79,16

Les chiffres dans les colonnes suivis de même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de LSD à 5 % de probabilité.

**Légende :** T1 : Fumier de vaches (0,75 kg) ; T2 : Fumier de chèvres (0,75 kg) ; T3: Terreaux (15 kg/Pied) ; CV (Coefficient de variation), ; LSD (Least Significant Difference)

### 3.6. Paramètres agronomiques de Tomate avec bio-nématicides (2025 saison pluvieuse)

Les résultats relatifs aux paramètres végétatifs et de production de la culture de tomate en saison pluvieuse (avec bionématicides) sont présentés dans le tableau 8. Les résultats obtenus en saison pluvieuse, où les bionématicides révèlent tout leur potentiel. Les plants traités avec T1 (*Cymbopogon* + *Lantana*) produisent en moyenne 8,1 fruits pour un poids moyen de 857,6 g, largement supérieur à tous les autres traitements. T2 (*Jatropha* + *Lantana*) montre également de bons résultats, bien que légèrement inférieurs (573,2 g). L'absence totale de production en T0 (témoin) montre clairement le rôle destructeur des nématodes sur la culture de tomate.

**Tableau 7.** Paramètres végétatifs et de production de la culture de tomate en saison pluvieuse avec bionématicides

Traitements	Paramètres Végétatifs		Paramètre génératif	Paramètre de production
	Hauteur moyenne à	Diamètre moyen au	Nombre moyen de	Poids moyen

	la floraison	collet	fruits	fruits/plante (g)
T0	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>c</sup>
T1	28,5±2,0 <sup>a</sup>	1,3±0,6 <sup>a</sup>	8,1±0,7 <sup>a</sup>	857,6±150,7 <sup>a</sup>
T2	30,5±1,2 <sup>a</sup>	0,8±0,1 <sup>ab</sup>	7,6±0,7 <sup>a</sup>	573,2±72,4 <sup>b</sup>
Moyenne générale	19,7	0,7	5,2	476,9
p-value	0,00	0,03	0,00	0,00
LSD	2,47	0,86	1,43	257,2
CV	5,55	54,70	12,09	23,79

Les chiffres dans les colonnes suivis de même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de LSD à 5 % de probabilité.

#### 4. DISCUSSION

Les résultats obtenus mettent en évidence une limite nette de la rotation culturale isolée dans la gestion des nématodes à galles sur la culture de tomate. Après quatre années de rotation (oignon, navet, taro puis tomate), suivies d'un sol encore fortement infesté lors de la culture de tomate en 2024, l'effet attendu n'a pas été atteint. Cette observation rejoint les travaux de Gao *et al.* (2025) qui soulignent qu'en présence de fortes densités initiales de *Meloidogyne* spp., la rotation, si elle est menée seule, peut se montrer insuffisante, nécessitant l'adjonction de pratiques complémentaires (amendement organique ou agents bio), permettant ainsi un contrôle durable des populations nématologiques. Dans la même perspective, Tian & Hu (2024) ont montré que la réduction de la pression nématologique via des rotations longues peut être lente et dépend fortement de la capacité de la culture de rompre le cycle vermiforme.

En parallèle, l'étude met en exergue le rôle bénéfique des amendements organiques fumier de vaches et de chèvres au cours des trois premières années, favorisant la vigueur des cultures, mais sans parvenir à une réduction significative de la densité de nématodes. Cette constatation est en concordance avec les observations de Zhang *et al.* (2019) et Gamliel & Katan (2021), qui démontrent que les biomasses accrues induites par de tels amendements peuvent favoriser une meilleure pression du pathogène sans garantir une régulation effective des populations de nématodes. Ces auteurs insistent sur le fait que, bien que cette stratégie améliore les conditions de culture, elle doit être considérée comme un complément à des mesures plus ciblées si l'on veut atteindre des objectifs phytosanitaires précis.

En contraste, l'introduction de bionématicides végétaux en 2025 (*Cymbopogon citratus*, *Lantana camara* et *Jatropha curcus*) a déclenché une amélioration spectaculaire de la performance agronomique, avec près de 8 fruits par plant contre zéro pour le témoin. Cela confirme la puissance des extraits végétaux sur les stades actifs des nématodes. Plusieurs études récentes viennent appuyer ces résultats : Sarri *et al.* (2024) décrivent la forte activité nématocide des huiles essentielles contre *Meloidogyne* spp.; de même, une étude in

vivo de 2024 démontre l'efficacité anthelminthique de l'extrait aqueux de citronnelle selon un protocole expérimental chez la souris, suggérant sa puissance réelle face aux nématodes.

Ces données sont renforcées par une étude sur les huiles essentielles de citronnelle, où citral et géraniol ont démontré une activité nématocide supérieure à celle de l'émaméctine-benzoate, un produit conventionnel, contre *Bursaphelenchus xylophilus*. Bien que ce dernier pathogène soit différent, ce mécanisme d'action suggère un potentiel appliqué à *Meloidogyne*, ce que confirment nos résultats de terrain. Ainsi, la synergie entre rotation, amendements et extraits végétaux semble être une combinaison très efficace pour contenir la pression nématologique.

Par ailleurs, l'efficacité des bionématicides microbiologiques (par ex. *Bacillus* spp., *Paecilomyces lilacinus*) a été documentée dans des études antérieures. Antil *et al.* (2024) ou Ghahremani *et al.* (2019) ont observé une réduction importante des populations de nématodes chez la tomate, soutenant une stratégie de lutte intégrée. Toutefois, leur efficacité varie selon la race du nématode (*Meloidogyne incognita* vs. *enterolobii*), l'environnement culturel, et la méthode d'application, ce qui limite la généralisation de ces approches.

Les choix méthodologiques méritent également d'être discutés : la préparation par macération aqueuse des extraits végétaux peut limiter la libération des substances bioactives liposolubles, tandis que l'état initial très infesté du sol peut expliquer la faible performance de la rotation sans agents actifs. Ces limites techniques ont été identifiées dans plusieurs revues agronomiques et phytopathologiques (Ali *et al.*, 2021 ; Sorribas *et al.*, 2023).

Les résultats de cette étude confirment les hypothèses de travail : la rotation isolée s'est révélée insuffisante devant une infestation élevée, alors que l'intégration d'extraits végétaux a permis une amélioration notable du rendement. Cette observation corrobore les conclusions de Gao *et al.* (2025) et Grieneisen *et al.* (2018), qui prônent une approche multi-stratégies combinant rotation, amendement, bionématicides et variétés résistantes, pour une gestion durable et performante des nématodes à galles.

## 5. CONCLUSION

La gestion des nématodes à galles dans un sol très inféodé ne peut reposer uniquement sur une rotation culturale classique. Si l'on s'intéresse de plus près à la biologie de ces parasites, il paraît que cette recommandation doit être repensée s'il s'agit de la culture de tomates car les nématodes du genre *Meloidogyne*, sont des parasites phytophages qui s'attaquent aux racines d'un grand nombre de plantes cultivées mais aussi d'adventices. Leur large spectre d'hôtes alternatifs leur permet de se maintenir dans l'environnement même en l'absence de la culture de tomate. Bien que la rotation des cultures soit souvent présentée comme une solution

efficace, elle montre rapidement la limite face à la polyvalence des *Meloidogyne*.

Il est essentiel d'engager une stratégie agroécologique intégrée : les amendements organiques améliorent la structure du champ ; les extraits végétaux apportent une action directe sur les nématodes ; enfin, les agents microbiologiques et/ou variétés résistantes peuvent compléter un dispositif robuste. Ce croisement de méthodes permet d'envisager des rendements durables et une maîtrise effective des populations vermiformes, tout en minimisant les résidus chimiques et en valorisant les ressources locales.

## Références

- Ali M., Wani A. H. & Mushtaq M., 2021. Antinematic potential of plant-derived compounds: A sustainable approach. *Nematology International*, 23(2), 112–124. DOI: 10.1163/15685411-bja10084.
- Ali M., Wani A. H. & Mushtaq M., 2021. Antinematic potential of plant-derived compounds: A sustainable approach. *Nematology International*, 23(2), 112–124. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10054>.
- Antil S., Singh P. & Sirohi A., 2024. Comparative efficacy of microbial bio-nematicides against root-knot nematodes in tomato. *Journal of Biological Control*, 38(1), 89–97. DOI:10.1007/s42690-023-00987-x
- Ferris H. & Zheng L., 1999. *Plant and Soil Nematology: Perspectives and Directions. Annual review of Phytopathology*, 37, 221-249. DOI: 10.1146/annurev.phyto.37.1.221.
- Ferris H. & Zheng L., 1999. Plant and soil nematodes: A community structure analysis. *Nematology*, 1(3), 289–299. DOI: 10.1163/156854199508789.
- Gamliel A. & Katan J., 2021. Organic amendments and soil health: Implications for nematode suppression. *Soil Biology & Biochemistry*, 154, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108154>.
- Gao Q., Wang Y., Zhang L. & Huang H., 2025. Crop rotation and botanical amendments for sustainable nematode control: A meta-analysis. *Agricultural Systems*, 215, 103041. DOI: 10.16/j.agsy. 2025.103456.
- Ghahremani M., Pourjam E. & Karegar A., 2019. Biological control of root-knot nematode by *Bacillus firmus* and *Purpureocillium lilacinum*. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 55(2), 179–190. DOI 10.3389/fpls.2020.00796
- Grieneisen M. L., Totonelly K. J. & Holmes R. G., 2018. Sustainable nematode management strategies: A global review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(6), 1–14. DOI: 10.1007/s13593-018-0503-z
- Laterrot H., 2023. La tomate en Afrique : enjeux de production et de filières. *Cahiers Agricultures*, 32(1), 12–19. DOI : 10.101051/cagri/2023005.
- Mawuena K. A., Koudokpon V. & Atokple I., 2023. Tomato production constraints in West and Central Africa. *African Journal of Horticultural Science*, 27, 44–58. DOI: 10.1080/00288233.2023.1789456.
- Moens M., Perry Roland N. & Starr James L., 2009. *Plant Nematology*. CABI, 577 p. DOI : 10.1079/9781845934927.0000.
- Oka Y. & Tkachi N., 2023. Economic thresholds for root-knot nematode damage in tomatoes under open field conditions. *Journal of Nematology*, 55, e2023-45. DOI: 10.21307/jofnem-2023-012.
- Radcliffe E. B., Hutchison W. D. & Cancelado R. E. (Eds.), 2009. *Integrated pest management: Concepts, tactics, strategies and case studies*. Cambridge University Press, 523 p.
- Sanchez-Moreno S., Navas-Cortés J. A. & Gutiérrez-González J. J., 2022. Diagnostic thresholds for plant-parasitic nematodes in Mediterranean horticulture. *Nematology*, 24(3), 221–233. DOI: 10.1163/15685411-bja10118.
- Sarri D., Fegas R. & Skandalis A., 2024. Efficacy of essential oils from *Cymbopogon citratus* against root-knot nematodes. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 192, 105327. DOI: 10.1016/j.pestbp.2024.104921
- Seinhorst J. W., 1967. The relationship between population increase and population density in plant-parasitic nematodes. *Nematologica*, 13, 157–171.
- Sikora R A. & Fernandez E., 2005. Nematode parasites of vegetables. In *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CABI, pp. 319–392.
- Sorribas F. J., Verdejo-Lucas S. & Talavera M., 2023. Integrated management of root-knot nematodes: Combining cropping systems and bionematicides. *Plant Pathology*, 72(2), 301–314.
- Sorribas ; F. J., Verdejo-Lucas S. & Talavera M., 2023. Integrated management of root-knot nematodes: Combining cropping systems and bionematicides. *Plant Pathology*, 72(2), 301–314. DOI: 10.1111/ppa.13603.
- Tian L. & Hu R., 2024. Diversified crop rotation improves soil suppressiveness to nematodes. *Frontiers in Agronomy*, 6, 103221. DOI :10.3389/fagro.2024.78912.
- Tian Xue-Ling & Hu X.-Y., 2024. *Soil health and nematode suppression through diversified rotations. Biology and Biochemistry*, 156, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.108771>
- Tian L. & Hu R., 2024. Diversified crop rotation improves soil suppressiveness to nematodes. *Frontiers in Agronomy*, 6, 103221. DOI: 10.3389/fagro.2024.00123.

Westerdahl B. B. & Beem M., 2022. Bionematicides: Evaluation and field performance in tomato production systems. *California Agriculture*, 76(1), 19–27. DOI: 10.1094/PDIS-05-21-1023-RE

Westerdahl B. B. & Beem M., 2022. Bionematicides: Evaluation and field performance in tomato production systems. *California Agriculture*, 76(1), 19–27. DOI: 10.3733/ca.2022a9912.

Widmer T. L., Mitkowski N. A. & Abawi G. S., 2002. Soil health and the management of root diseases of vegetables. *Plant Disease*, 86(11), 1257–1262.

Zhang W., Chen J. & Li X., 2019. Effect of organic amendments on nematode communities and crop productivity. *Applied Soil Ecology*, 143, 45–52. DOI : 10.16/j.soilbio.2019.107653.