

Effet de doses croissantes du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* sur la productivité d'une association de culture sorgho - niébé en zone nord soudanienne, Burkina Faso

Jacques SAWADOGO^{1,2*}, Wendsid Noma Axelle Elsa SIMPORE³, Sogo Bassirou SANON¹, Ulrich Somlawendé ZABSONRE³, Foussemi SOMA² et Emilie Mireille Wend-denda NANA³

¹ Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Département de Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Productions, Laboratoire des Ressources Naturelles et Innovations Agricoles (LARENIA), 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

² Université Norbert ZONGO, Laboratoire de Chimie Analytique, de Physique Spatiale et Énergétique (L@CAPSE), Avenue Maurice Yaméogo, Koudougou BP 376, Burkina Faso

³ Université Saint Thomas d'Aquin (USTA), Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, 06 BP 10212 Ouagadougou 06, Burkina Faso

(Reçu le 18 Mai 2025 ; Accepté le 25 Juin 2025)

* Correspondance, courriel : jacques.sawadogo@inera.bf

Résumé

Le *Trichoderma harzianum* qui est un champignon filamenteux largement étudié est reconnu pour ses propriétés bénéfiques, notamment dans la stimulation de la croissance des plantes, l'amélioration de la fertilité des sols, et la lutte biologique contre les pathogènes. L'objectif de cette étude est de tester l'effet des produits issus du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* sur les paramètres agronomiques de l'association de culture sorgho - niébé pour l'atteinte de la sécurité alimentaire au Burkina Faso. Elle a été conduite selon le dispositif en blocs de Fisher complètement randomisé comportant sept (07) traitements en trois répétitions. Les traitements étaient constitués de témoin absolu (T0), NPK + Urée (T1), 5 t/ha de Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (T2), T3 (2T2), T4 (2,5T2), T5 (3T2) et T6 (4T2). Les rendements ainsi que leurs analyses financières ont été observés. L'analyse des résultats de l'association de culture montre que le traitement T3 a permis d'avoir les meilleurs rendements grain tandis que les meilleures biomasses ont été obtenues avec le traitement T6 dans le cas du sorgho et le traitement T3 dans le cas du niébé. Le Land Équivalent Ratio est supérieur à 1 sur tous les traitements, l'association peut être considérée alors comme bénéfique comparativement aux monocultures. L'analyse financière montre également que le traitement T3 offre aussi un excellent équilibre entre coûts des rendements, bénéfices nets et indicateurs de rentabilité financière.

Mots-clés : *compost, Trichoderma harzianum, association de culture, indice d'acceptabilité, ratio valeur coût, ratio équivalence de terre, Burkina Faso.*

Abstract

Effect of increasing doses of compost enriched with *Trichoderma harzianum* on the productivity of a sorghum-cowpea crop association in the northern Sudanian zone, Burkina Faso

Trichoderma harzianum, which is a widely studied filamentous fungus, is recognized for its beneficial properties, particularly in stimulating plant growth, improving soil fertility, and biological control of pathogens. The objective of our study is to test the effect of products from compost enriched with *Trichoderma harzianum* on the agronomic parameters of the crop association in the case of cowpea and sorghum. It was conducted according to the completely randomized Fisher block design comprising seven (07) treatments in three repetitions. The treatments consisted of control (T0), NPK + Urea (T1), 5 t.ha⁻¹ of compost enriched with *Trichoderma harzianum* (T2), T3 (2T2) T4 (2.5T2), T5 (3T2) and T6 (4T2). The returns and their financial analyses were observed. The analysis of the results of the crop combination shows that the T3 treatment allowed to have the best grain yield while the best biomass was obtained with the T6 treatment in the case of sorghum, with the T3 treatment in the case of cowpea. The Land Equivalent Ratio greater than 1 on all treatments, the combination is then very beneficial compared to monocultures. The financial analysis also shows that T3 also offers an excellent balance between cost of returns, net profit and financial profitability indicators.

Keywords : *compost, trichoderma harzianum, cultural association, acceptability index, cost-value ratio, land equivalent ratio, Burkina Faso.*

1. Introduction

En Afrique de l'Ouest, plus de la moitié de la population est rurale et vit essentiellement de l'agriculture vivrière. Au Burkina Faso, cette agriculture est essentiellement basée sur les cultures majeures comme les céréales (sorgho) et les légumineuses (niébé), dont l'activité occupe plus de la moitié des superficies cultivées et 80 % de la population active [1 - 3]. L'agriculture durable repose sur des techniques respectueuses de l'environnement et des sols, tout en garantissant une production agricole optimale. Dans ce contexte, l'utilisation de compost enrichi en agents biologiques, tels que *Trichoderma harzianum*, suscite un intérêt croissant des acteurs du monde rural. *Trichoderma harzianum*, un champignon filamenteux largement étudié, est reconnu pour ses propriétés bénéfiques, notamment dans la stimulation de la croissance des plantes, l'amélioration de la fertilité des sols, et la lutte biologique contre les pathogènes. En effet, l'action antagoniste du *Trichoderma* a été rapportée pour la première fois par Kraft [4]. Ce n'est cependant qu'en 1971 que Dennis et Webster ont réussi à clarifier les différents mécanismes d'action de ce champignon antagoniste, principalement le mycoparasitisme, l'antibiose ainsi que la compétition pour les nutriments et l'espace [5 - 7]. Depuis lors, les études consacrées à ce champignon se sont intensifiées [4, 8]. Les champignons du genre *Trichoderma* ont donc été employés comme agents de lutte biologique contre un vaste éventail de pathogènes, qu'ils soient telluriques [9, 10] ou foliaires [11, 12]. Le sorgho représentait 34 % de la production céréalière tandis que le niébé représentait environ 50 % de la production légumineuse sur le plan national ; ces deux spéculations sont généralement cultivées en association dans les petites exploitations agricoles pour leur grain à but essentiellement alimentaire [13]. Ces associations sont adaptées aux agroécosystèmes semi-arides des régions tropicales en raison de sa rusticité et de ses modérés en eau [13, 14]. C'est une pratique culturale ancienne qui couvre annuellement 93 % des superficies emblavées dans la zone et offre des avantages tels que l'amélioration de l'utilisation de ressources et la résilience des systèmes agricoles [15, 16]. Cependant, l'impact du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* sur la productivité de l'association sorgho-niébé reste à explorer. Dans la perspective d'une meilleure prise en compte de l'effet du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* dans l'amélioration des systèmes de culture dans la région du Centre du Burkina Faso que cette étude a été initiée. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet des produits issus compost enrichi au *Trichoderma harzianum* sur les paramètres agronomiques et la rentabilité financière d'une association de culture afin d'améliorer sa production. Ce compost pourrait être rentable dans les systèmes de cultures (associations) où les producteurs sont autonomes dans la fabrication du compost.

2. Méthodologie

2-1. Description du site de l'étude

Saaba, l'une des six communes rurales de la région du centre occupe une superficie de 446 km². Elle est entourée à l'Ouest par la commune de Ouagadougou, au Sud et au Sud-Est par Koubri, à l'Est par Nagréongo, et au nord par Loumbila. Le site de l'étude a pour coordonnées géographiques 1°24' de longitude Ouest et 12°19' de latitude Nord. Le climat est de type tropical nord-soudanien caractérisé par deux saisons contrastées : une saison sèche longue qui dure de novembre à avril et une saison pluvieuse courte qui s'étale de mai à octobre avec une pluviométrie annuelle qui varie de 750 à 900 mm. On rencontre quatre types de sol à savoir des sols hydromorphes, des sols peu évolués, des sols minéraux bruts, des vertisols et paravertisols.

2-2. Caractérisations chimiques des fertilisants

Les fertilisants utilisés sont constitués de compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH), de l'engrais NPK (14-23-14 + 6S) et de l'urée (46 %). Selon l'analyse effectuée par le Bureau National des sols (BUASOLS), les caractéristiques chimiques du compost enrichi utilisé étaient les suivantes : pH-eau (7,9), carbone (16,20 %), Azote total (1,08 %), rapport Carbone - Azote (15), Phosphore total (10,44 g.kg⁻¹), Potassium total (11,42 g.kg⁻¹) [17].

2-3. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite suivant un dispositif expérimental en bloc de Fisher complètement randomisé avec trois (03) répétitions et sept (07) traitements. La parcelle élémentaire était une planche de 3.0 m de long sur 2.0 m de large soit une superficie de 6 m². Trois répétitions ont été effectuées soient 21 parcelles élémentaires (7 x 3) au total. L'écartement était est de 1.0 m entre les parcelles et 1.0 m entre les blocs. La superficie totale était de 247 m² (19 m x 13 m) pour une superficie utile de 108 m² (6 m x 6 x 3m). Les semis ont été effectués suivant les écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les plants (80 cm x 40 cm) dans chaque parcelle élémentaire. Trois sarclages manuels ont été effectués respectivement à 3, 6 et 8 semaines après semis. Les traitements ont été constitués de manière à comparer des doses variées du compost enrichi. Sept (07) traitements ont été comparés, à savoir : T0 : témoin absolu (sans fertilisant), T1 : 150 kg.ha⁻¹ de NPK (14-25-14+6S) + 50 kg.ha⁻¹ d'urée (46 %), T2 : 5 t.ha⁻¹ de compost enrichi (CETH), T3 : 2T2; T4 : 2,5T2, T5 : 3T2 et T6 : 4T2.

2-4. Production du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH)

La méthode de production du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* est celle décrite par [17].

2-5. Paramètres agronomiques collectés

Les paramètres agronomiques tels que la hauteur des plantes, le diamètre au collet, le poids de 100 grains (niébé), le poids de 1000 grains (sorgho) le rendement et la biomasse ont été collectés. La hauteur (HAU) et diamètre des (Diam) plantes ont été collecté dans un carré de rendement posé dans chaque parcelle élémentaire et contenant six plantes de sorgho et de niébé. La hauteur a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban depuis le collet jusqu'à l'extrémité du bourgeon terminal ; tandis que le diamètre au collet a été déterminé à 2 cm du dessus du sol à l'aide d'un pied à coulisse électronique (BT114900 150 mm). Toutes les mesures ont été effectuées manuellement deux (02) semaines après semi, à 20, 35, 50, 65 et 75 jours après semi (JAS) pour le sorgho et à 14, 21, 28, 35 et 42^{ème} JAS pour le niébé. Le poids des 1000 grains de sorgho et de 100 grains pour le niébé ont été comptés numériquement et leurs poids pesés à l'aide d'une balance électronique de précision 10⁻⁴ près. En effet, le poids est un indicateur utilisé pour évaluer la taille moyenne des graines et permet de connaître la quantité de semence pour une superficie donnée pour un producteur.

Le rendement grain a été évalué dans la parcelle utile de chaque traitement à la récolte. L'estimation a été faite par extrapolation à l'hectare à l'aide de la **Formule 1** :

$$\text{Rendement grain (kg.ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Poids grain obtenu par parcelle utile (kg)}}{\text{Surface utile (m}^2\text{)}} \times 10000 \quad (1)$$

La biomasse totale (tiges, feuilles, gousses) a été récoltée dans le carré de rendement. Puis a été mis au séchage au soleil pendant 10 jours puis pesé pour l'obtention du poids sec. Ensuite, elle a été calculée à partir de la **Formule 2** :

$$\text{Biomasse totale (kg.ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Poids des tiges (kg)} \times 10000}{S \text{ (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

L'indice de récolte (IDR), exprimé en pourcentage est un paramètre de caractérisation de la quantité de grain. Il a été déterminé en faisant le rapport du rendement grain sur la biomasse à travers la **Formule 3** :

$$\text{IR (\%)} = \frac{\text{Rendement grain}}{\text{Biomasse totale}} \times 100 \quad (3)$$

Cet indice sans dimension a une valeur comprise entre 0 et 1.

Le Land Équivalent Ratio (LER) a été calculé pour la comparaison des productions de sorgho et de niébé en culture associée et pure. Selon plusieurs auteurs [18 - 20], le LER est égal à la superficie nécessaire pour obtenir en culture pure la même production que sur un hectare de cultures associées. Il est donc calculé sur la base des rendements obtenus par des cultures pures et associées traduisant l'efficacité d'utilisation de la terre en association par rapport à la culture pure. Il a été calculé selon la **Formule 4** :

$$\text{LER} = \frac{\text{Rdt niébé dans l'association}}{\text{rendement du niébé pure}} + \frac{\text{Rdt sorgho dans l'association}}{\text{rendement sorgho pure}} \quad (4)$$

Selon [21], (i) si le LER = 1, il n'y a aucune différence de rendement entre les deux cultures ; (ii) si le LER < 1, il y'a une perte de rendement en association ; (iii) si le LER est supérieur à 1, cela signifie que l'association présente un avantage par surface par rapport aux cultures pures au point de vue du rendement.

2-6. Analyses de la rentabilité financière des traitements

La rentabilité financière a été évaluée à travers le ratio valeur coût (RVC), l'indice d'acceptabilité (IA) et le taux d'accroissement de revenus (Tar). Pour l'évaluation des bénéfices de la production, les charges suivantes ont été prises en considération dans chaque étude : l'achat des fertilisants et pesticides biologiques, l'achat des semences, la récolte des grains de céréales, le transport et l'incorporation des fertilisants dans le sol. Le coût du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* est de 5000 FCFA/50 kg. Le prix moyen de vente des grains de niébé est environ 1500 FCFA/kg contre 350 FCFA/kg pour les grains sorgho dans les marchés au Burkina Faso. Tandis que le prix de vente moyen des fanes et des tiges de sorgho est respectivement de 150 FCFA et 100 FCFA le kg. Le bénéfice net sera obtenu avec une marge de 2 % de perte du bénéfice brut dû aux pertes postes récoltes.

2-6-1. Ration valeur coût (RVC)

Le ratio valeur coût (RVC) a été calculé pour identifier le meilleur traitement facilement adoptable par les cultivateurs [22]. C'est le rapport entre le gain monétaire brut et les coûts totaux des fertilisants calculés suivant la **Formule 5** :

$$RVC = \frac{\text{Bénéfice net du Traitement} - \text{Bénéfice net du Traitement témoin}}{\text{Coûts Variables Totaux}} \quad (5)$$

Selon [22, 23], une technique est rentable et est facilement adoptée par les producteurs lorsque la valeur du RVC est supérieure à 2 ; elle permet non seulement de couvrir les dépenses, mais aussi de dégager des bénéfices. Si la valeur du RVC est égale à 2, la technologie n'est pas rentable et il n'y a pas de perte. Le gain de rendement permet de couvrir les dépenses effectuées pour l'achat des fertilisants. La technologie n'est pas rentable et au contraire une perte d'argent est enregistrée lorsque la valeur RVC est inférieure à 2.

2-6-2. Indice d'Acceptabilité (IA)

L'IA a été calculé pour identifier le meilleur traitement facilement adoptable par les productions. Cet indice compare la rentabilité des nouveaux traitements au traitement de référence bien connu par les paysans. C'est donc le rapport des bénéfices des deux traitements suivant la **Formule 6** :

$$IA = \frac{\text{Bénéfice net du traitement}}{\text{Bénéfice net du témoin}} \quad (6)$$

Selon [24], une technologie ne peut être facilement adoptée que si la valeur de l'IA est supérieure ou égale à 2. L'adoption se fait avec réticence si sa valeur est comprise entre 1,5 et 2 et en dessous de 1,5 il y'a alors rejet.

2-6-3. Taux d'accroissement de revenu (Tar)

Le Taux d'accroissement du revenu est le rapport entre gain monétaire d'un traitement et le gain monétaire du témoin ou du témoin de référence. Il se calcule selon la **Formule** de [25] :

$$Tar = \frac{\text{Revenu du traitement} - \text{Revenu du témoin}}{\text{Revenu du témoin}} \times 100 \quad (7)$$

2-7. Analyses statistiques des données collectées

Les données collectées ont été soumises à des tests statistiques à l'aide du logiciel RStudio couplé à R Version 2024 avec le package R-Commander. Une analyse de variance de variance (ANOVA à un facteur) a permis d'évaluer les effets des traitements sur les paramètres de croissance d'une part et ceux des paramètres de rendement d'autre part. En cas de différence significative entre les traitements, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 5 % ($p < 0,05$) a été utilisé pour les classer en groupes homogènes.

3. Résultats

3-1. Efficacité des traitements fertilisants sur la croissance du sorgho – niébé

Les effets des traitements sur la croissance des plantes de sorgho et de niébé sont présentés sur les **Figures 1 et 2**. Comparée au traitement témoin (sans fertilisant), la hauteur des plantes est très affectée ($P < 0,001$) par les différents traitements. La hauteur de la tige principale a varié significativement en fonction des traitements de compost enrichi au *Trichoderma harzianum*. Les traitements (T3 et T6) ont induit une croissance en hauteur des plantes les plus élevées que celle du témoin sans fertilisants (T0). Aussi, les traitements T3 (10 t. ha⁻¹ de CETH) et T6 (20 t. ha⁻¹ de CETH) ont influé significativement sur le diamètre au collet des plantes avec respectivement $13,83 \pm 0,22$ mm et $14,98 \pm 0,48$ mm pour le sorgho. Concernant le diamètre au collet des plantes de niébé, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les traitements. Mais, les mêmes traitements (T3 et T6) ont amélioré les diamètres avec respectivement $5,62 \pm 0,45$ mm et $5,36 \pm 0,81$ mm au 42 JAS (niébé) et 75 JAS (Sorgho) (**Figure 2**).

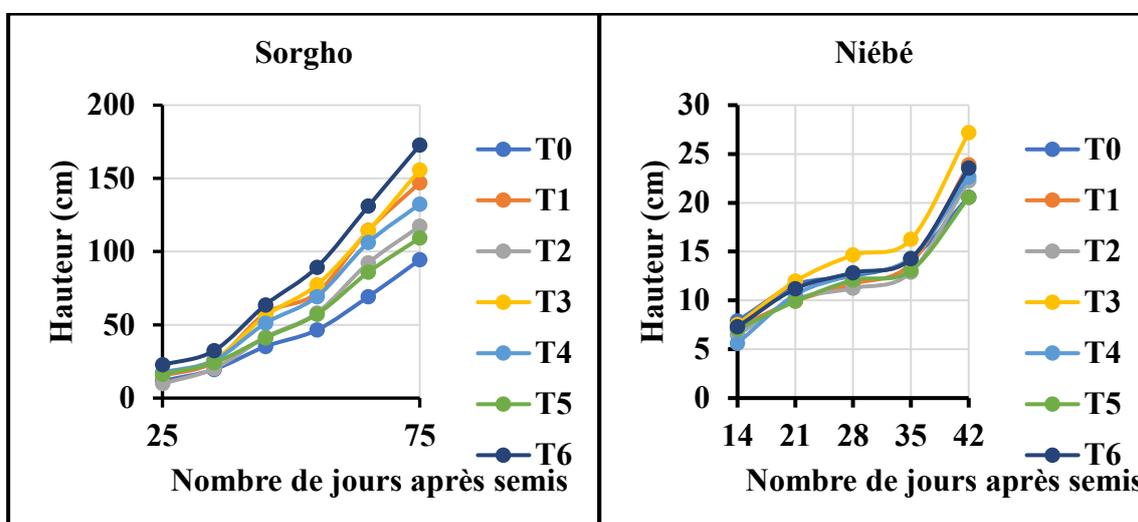


Figure 1 : Évolution de la hauteur de plantes de sorgho - niébé en fonction des traitements appliqués

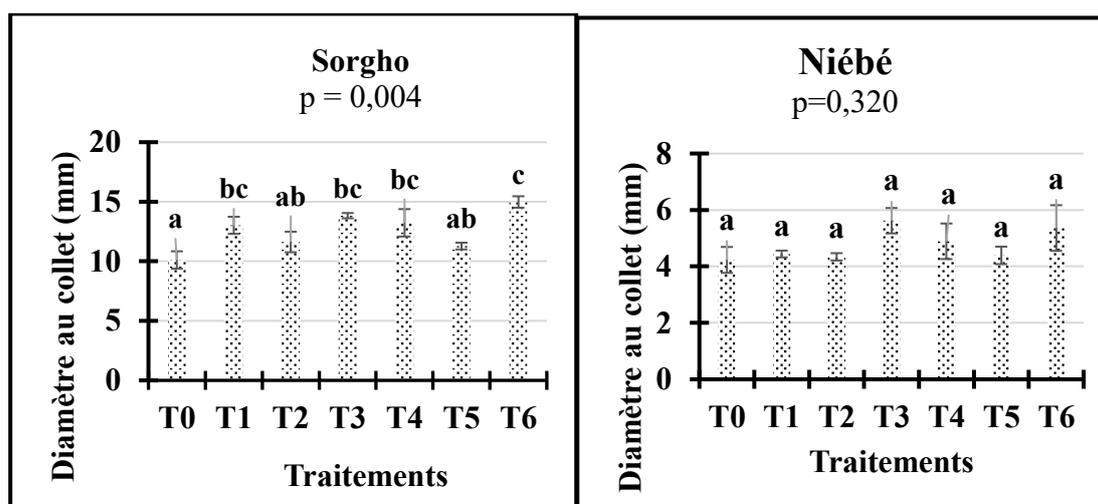


Figure 2 : Variation du diamètre au collet des plantes de sorgho - niébé en fonction des traitements appliqués

Légende : T0 = Témoin absolu, T1 = NPK (24-13-24) + Urée (46N %), T2 = 5 t.ha⁻¹ de Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH), T3 = 2T2, T4 = 2,5T2, T5 = 3T2, T6 = 4T2

3-2. Effet des traitements sur le poids des grains du sorgho-niébé

Les résultats de l'analyse du poids des 1000 grains (PMG) pour sorgho et 100 grains (PCG) pour le niébé sont représentés par la **Figure 3**. L'analyse statistique (ANOVA) des différents poids de grains ne montre aucune différence significative entre les traitements. En effet, pour le sorgho le traitement T6 (20 t. ha⁻¹ de CETH) a présenté le PMG plus élevé (60 g) ; tandis que le plus petit PMG a été observé avec le traitement T0 (33 g). Pour le niébé, le traitement T2 (5 t. ha⁻¹) a présenté le PCG plus élevé (66,67 g) ; tandis que le plus petit PCG a été observé avec le traitement T6 (60 g). Ces résultats montrent une efficacité des différentes doses de CETH appliquées.

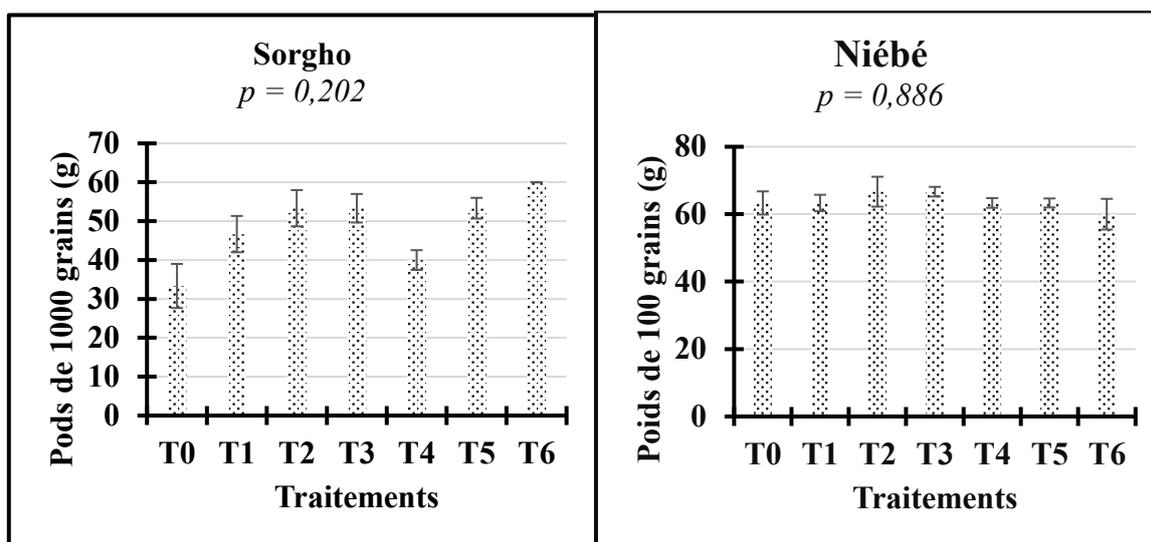


Figure 3 : Variation du poids des grains de sorgho - niébé en fonction des traitements appliqués

Légende : T0 = Témoin absolu, T1 = NPK (24-13-24) + Urée (46N %), T2 = 5 t/ha de Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH), T3 = 2T2, T4 = 2,5T2, T5 = 3T2, T6 = 4T2.

3-3. La production de grains de sorgho et de graines de niébés

L'effet des traitements sur le rendement grain du sorgho et du niébé est présenté par le **Tableau 1**. Les résultats de l'analyse statistique (ANOVA) des rendements grains montrent qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les rendements grains des traitements de l'association culturale. En effet, le rendement grain le plus élevé a été obtenu avec le traitement T3 (3261 kg.ha⁻¹) et le plus bas avec le traitement T1 (674 kg.ha⁻¹) pour le niébé. Pour le sorgho, le rendement grain le plus élevé (8438 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec le traitement T3 et la plus faible valeur de rendement grain (1354 kg.ha⁻¹) a été obtenue avec le témoin (T0). A la fin de cette étude, le classement des traitements selon leur influence positive sur le rendement grain du niébé et pour le sorgho est le suivant : T3>T2>T5>T4>T0>T6>T1 ; T3>T4>T6>T2>T5>T1>T0 respectivement. Ces résultats permettent de montrer que la dose de 10 t. ha⁻¹ est bonne pour la production d'une association sorgho-niébé. Même le traitement T5 qui a reçu de compost enrichi au *Trichoderma harzianum* à la dose de 15 t.ha⁻¹ a produit un rendement comparable au traitement T1 (fertilisation minérale) pour la culture de sorgho tandis que pour le niébé c'est le traitement T6 à la dose de 20 t.ha⁻¹.

3-4. Effet des traitements appliqués sur les biomasses totales du sorgho-niébé et les indices de récoltes

L'effet des traitements sur la biomasse totale du sorgho et sur le niébé est présenté par le **Tableau 1**. Les résultats de l'analyse statistique de la biomasse totale montrent qu'il existe une différence hautement

significative ($P < 0,006$) entre les traitements du niébé. L'analyse de variance indiquait que le traitement T3 a eu une meilleure biomasse ($5469 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) et le traitement T1 (Fmv) a eu la plus faible biomasse ($3516 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Par contre, pour le sorgho, l'analyse révèle qu'il existe une différence significative entre les traitements ($P < 0,013$). Le traitement T6 ($20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a eu une meilleure biomasse ($20188 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) et que le traitement T0 avec $5042 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a eu la plus faible biomasse. Au regard de l'indice de récolte présenté dans le **Tableau 1**, une différence significative est révélée entre les traitements ($P = 0,017$). L'analyse de variance indiquait que le traitement T3 a le plus grand indice de récolte ($81,28\%$) tandis que le traitement T6 a présenté le plus petit indice ($22,20\%$) pour le sorgho. Contrairement au sorgho, le niébé au regard de l'indice de récolte révèle une différence très hautement significative entre les traitements ($P < 0,001$). Le traitement T3 a le plus grand indice de récolte ($59,98\%$) tandis que le traitement T1 présentait le plus petit indice ($19,17\%$).

Tableau 1 : Effet des traitements sur les composantes de rendement sorgho - niébé

Traitements	Rendement grain ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Biomasse totale ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Indice de récolte (%)	
	Sorgho	Niébé	Sorgho	Niébé	Sorgho	Niébé
Témoin absolu	$1354^c \pm 275,6$	$1060^{bde} \pm 175,2$	$5042^b \pm 1028$	$3608^b \pm 367,6$	$31,52^a \pm 13,1$	$29,15^c \pm 2,8$
Fmv (NPK + Urée)	$3750^b \pm 360,8$	$674^a \pm 38,3$	$12250^{abc} \pm 2474$	$3516^b \pm 109$	$32,56^a \pm 5,1$	$19,17^c \pm 0,8$
5 t/ha de CETH	$3958^b \pm 208,3$	$1543^b \pm 114$	$8104^a \pm 1126$	$3711^b \pm 193,8$	$51,24^{ab} \pm 9,1$	$41,50^b \pm 1,1$
10 t/ha de CETH	$8438^a \pm 180,4$	$3261^a \pm 136,1$	$10708^{ab} \pm 1238$	$5469^a \pm 369,6$	$81,28^c \pm 10,8$	$59,98^a \pm 3,1$
12,5 t/ha de CETH	$4688^b \pm 180,4$	$1195^{bcd} \pm 64,4$	$11292^{abc} \pm 4765$	$4352^b \pm 391$	$54,47^{ab} \pm 15,61$	$27,66^c \pm 1,1$
15 t/ha de CETH	$3750^b \pm 360,8$	$1522^{bc} \pm 146$	$8312^b \pm 791$	$3899^b \pm 228,5$	$46,14^{ab} \pm 6,5$	$39,52^b \pm 5,5$
20 t/ha de CETH	$4375^b \pm 356,8$	$905^{de} \pm 125,6$	$20188^a \pm 2292$	$4054^b \pm 322,1$	$22,20^a \pm 2,9$	$22,25^c \pm 2,4$
Cv (%)	11,5	14,6	37,5	12,7	37,8	14,5
Probabilité	<,001	<,001	0,013	0,006	0,017	<0,001
Significative	***	***	*	**	*	***

Légende : Cv : Coefficient de Variation, CETH : Compost enrichi au *Trichoderma harzianum*, *** : Très hautement significative, * : significative ; ** : hautement significative ; les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % dans une même colonne.

3-5. Land Equivalent Ratio

La **Figure 4** présente les Land Equivalent Ratio (LER) du sorgho et du niébé en association de culture et en cultures pures. Le LER moyen le plus élevé (4,08) est observé avec le mode d'association introduit et donne un avantage en rendement de l'association de 62 % comparativement à la culture pure de chacune des deux composantes. Ce qui signifie qu'il existe une symbiose entre les deux variétés associées sorgho et niébé. Les écarts relativement importants observés entre les minimas et les maximas aussi bien pour les rendements (grain et fourrage) témoignent la grande variabilité liée principalement aux facteurs édaphiques, aux pratiques culturales et à la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies.

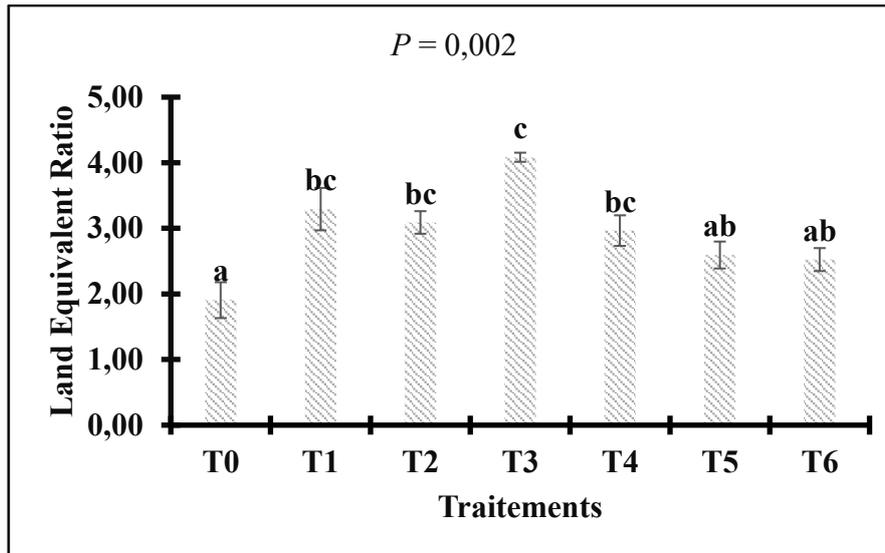


Figure 4 : Land Équivalent Ratio en fonction des traitements

Légende : T0 = Témoin absolu, T1 = NPK (24-13-24) + Urée (46N%), T2 = 5 t/ha de Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH), T3 = 2T2, T4 = 2,5T2, T5 = 3T2, T6 = 4T2 ; les histogrammes affectés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5% (test de Newman Keuls)

3-6. Analyses financières des traitements sur l'association de culture

Le **Tableau 2** présente l'analyse financière des traitements appliqués à l'association de culture sorgho-niébé en mettant en évidence plusieurs indicateurs tels que les coûts variables totaux, les rendements grains, le bénéfice net, l'Indice d'Acceptabilité (IA), le Ratio Valeur Coût (RVC) et le taux d'accroissement de revenu (Tar). Ce tableau révèle que les coûts variables augmentent progressivement du traitement témoin (311 054 FCFA/ha) au traitement T6 (2 167 580 FCFA/ha). Il en ressort de l'analyse du **Tableau 2** que le traitement T3 (10 t. ha⁻¹) génère le bénéfice net total le plus élevé (7 321 522 FCFA/ha) tandis que le traitement T5 (15 t. ha⁻¹) enregistre le bénéfice net total le plus faible (1 797 216 FCFA/ha). En faisant la comparaison des ratios valeurs coûts de production, le traitement T3 (RVC = 3,56 et IA = 2,9) est nettement supérieur aux autres traitements. Cela nous amène à conclure que le traitement T3 (10 t. ha⁻¹) avec un coût de production faible pourrait constituer une bonne alternative aux engrais minéraux qui ne sont d'ailleurs pas à la portée des producteurs. Cependant, sur le plan environnemental, la promotion de cette technologie devrait dépendre de la maîtrise de l'effet à tendance acidifiant de ce compost.

Tableau 2 : Analyse financière des traitements de l'association de culture

Traitements	CVT (FCFA/ha)	RdtGN (kg.ha ⁻¹)	RdtGS (kg.ha ⁻¹)	BnetT (FCFA/ha)	IA	RVC	Tar (%)
T0	311 054,0	1060	1354	2 558 892	1,0	-	-
T1	441 164,0	674	3750	3 630 272	1,4	2,43	41,87
T2	820 011,0	1543	3958	3 646 478	1,4	1,33	42,50
T3	1 338 189,0	3261	8438	7 321 522	2,9	3,56	186,12
T4	1 499 213,0	1195	4688	2 563 874	1,0	0,00	0,19
T5	1 717 492,0	1522	3750	1 797 216	0,7	0,44	-29,77
T6	2 167 580,0	905	4375	1 987 190	0,8	-0,26	-22,34

Légende : T0 = Témoin absolu, T1 = NPK (24-13-24) + Urée (46N%), T2 = 5 t/ha de Compost enrichi au *Trichoderma*, T3 = 2T2, T4 = 2,5T2, T5 = 3T2, T6 = 4T2. ; CVT : Coûts Variables totaux ; RdtGN : Rendement grain niébé ; RdtGS : Rendement grain sorgho ; BnetT : Bénéfice net total ; RVC : Ratio Valeur Coûts ; Tar : Taux d'accroissement de revenus ; IA : Indice d'Acceptabilité.

4. Discussion

Les traitements enrichis au *Trichoderma harzianum* ont eu une bonne croissance des plantes dans l'association de culture (sorgho-niébé) comparativement à celles cultivées avec l'engrais minéral et le témoin absolu. Cela confirme l'effet stimulant du compost enrichi au champignon, qui améliore la disponibilité des nutriments essentiels comme l'azote, le phosphore et le potassium pour une croissance plus vigoureuse des plantes. Il stimule également l'activité microbienne dans le sol, renforçant la santé des racines et l'assimilation des nutriments [26 - 28]. En effet, le traitement témoin (T0) n'ayant reçu aucun amendement organique ou minéral a montré des performances faibles, confirmant l'importance des apports nutritifs dans les sols pauvres du Burkina Faso [29, 30]. Pour le niébé, les faibles différences observées en termes de croissance (hauteur et diamètre) entre les traitements sont cohérentes avec les observations de certains auteurs [31, 32], qui ont souligné la spécificité des besoins nutritionnels des légumineuses. Le traitement T3 a présenté les meilleurs résultats en termes de hauteur et de diamètre. Mais, les traitements (T5 et T6) ayant des doses de compost enrichi au *Trichoderma harzianum* élevées ont provoqué des déséquilibres dans les relations symbiotiques avec les rhizobiums, limitant ainsi les avantages potentiels du compost enrichi [33, 34]. Ce constat montre l'avantage du compost à stocker des éléments minéraux nécessaires à la croissance des cultures. En effet, la matière organique améliore la croissance en équilibrant le pH de la rhizosphère, ce qui se traduit par une meilleure solubilisation des nutriments et une disponibilité élevée pour les plantes [17, 35]. Les résultats ont montré qu'en dehors de la fumure minérale vulgarisée (NPK + urée), les rendements de l'association de culture (sorgho-niébé) des autres traitements ont mis en évidence l'efficacité du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* par une augmentation de ceux-ci. Le traitement T3 à la dose de 10 t.ha⁻¹ a permis d'améliorer le rendement grain avec un indice de récolte très élevé, tandis que la meilleure biomasse a été obtenue avec le traitement T6 (20 t.ha⁻¹) pour la culture du sorgho et avec le traitement T3 pour du niébé.

Ces améliorations pourraient s'expliquer par le fait que l'application du compost a conduit à une disponibilité en éléments nutritifs qui aurait servi à une nutrition minérale des plantes dans cette association. Ces résultats démontrent alors l'efficacité du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH) dans la production d'une association de cultures à travers les différents traitements. En effet, des auteurs ont observé que le CETH fournit beaucoup d'éléments nutritifs comme le phosphore aux plantes [36, 37]. En plus, le compost enrichi au *Trichoderma harzianum* incorporé dans le sol semble donc avoir un taux de décomposition convenable qui a permis à la plante d'assimiler une grande proportion des nutriments libérés lors de la décomposition de la matière organique [38, 39]. Les résultats se sont traduits par une biomasse plus importante. L'augmentation de la biomasse a été observée non seulement dans la partie végétative aérienne des traitements T3 (niébé) et T6 (sorgho), mais aussi dans la partie souterraine. Ces résultats sont similaires à ceux de l'étude menée par Mouria [39] sur l'effet de diverses souches de *Trichoderma* sur la croissance d'une culture de tomate en serre. Aussi, le Land Équivalent Ratio (LER) démontre que les traitements contenant du CETH ont des valeurs toutes supérieures à 1. Le Traitement T3 (10 t.ha⁻¹) a le LER le plus élevé (4,08). Il ressort alors que l'association a été plus bénéfique par rapport à la monoculture du sorgho et du niébé. Diverses études révèlent aussi que le niébé fixe l'azote dans le sol, ce qui permet de conclure que le *Trichoderma harzianum* favorise une meilleure utilisation des ressources disponibles réduisant ainsi la compétition entre le sorgho-niébé dans l'association de culture [19, 40]. De ce fait, l'utilisation du CETH est une pratique prometteuse dans les systèmes agricoles en particulier les associations de cultures. L'évaluation financière des différents traitements appliqués en l'association culturale montre que le traitement T3 (IA = 2,9 et RVC = 3,56) avec un coût de production (1 388 189 FCFA/ha) peut être proposé aux producteurs avec plus de chance d'adoption. Ce traitement offre le meilleur taux d'accroissement de revenus (186 %) par rapport au traitement témoin, il est le plus acceptable financièrement. Ce résultat est en accord avec celui de [24] qui affirme que si $IA \geq 2$, la technologie est adoptable sans réticence. Aussi, le ratio valeur coût (RVC = 3,56) indique que chaque franc CFA investi rapporte 3,6 francs en valeur. Ces résultats sont en accord avec ceux de plusieurs auteurs qui affirment que si le $RVC \geq 2$, la technologie est véritablement attractive, considérée comme rentable et sera facilement adoptée par les producteurs [22, 41].

5. Conclusion

L'objectif de la présente étude était de tester l'efficacité des produits issus du compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH) dans la production d'une association de culture sorgho-niébé en Afrique de l'ouest plus précisément au Burkina Faso. Il ressort de cette étude que le CETH exerce un effet stimulateur sur le développement des organes du sorgho et du niébé. Ce qui provoque l'augmentation des rendements et des biomasses en culture associées. Les analyses ont montré une augmentation des rendements de 207,6 % (niébé) et de (523 %) pour le sorgho comparativement au témoin (sans fertilisants) en association de culture. De même qu'une amélioration du bénéfice net d'environ 186,1 % pour les deux spéculations est observée par rapport au témoin sans fertilisant. Les doses élevées (T4, T5, T6) ont entraîné des déséquilibres nutritionnels pour les deux cultures. La dose la plus faible (T2) et la fumure minérale vulgarisée (T1), n'ont pas apporté d'améliorations significatives. Le Land Équivalent Ratio de l'association sorgho-niébé a été positivement performant comparativement aux monocultures. Alors, le compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (CETH) à la dose de 10 t.ha⁻¹ est favorable et permet une bonne amélioration des plants en culture associée. D'autres études sont cependant nécessaires pour quantifier la durabilité de cet effet.

Remerciements

Les auteurs traduisent leur gratitude au centre de recherches environnementales, agricoles et de formation (CREAF) du Burkina Faso d'avoir facilité la mise en place de l'essai et la collecte des données. Ils rendent aussi hommage à feu Pr Jean Boukari LEGMA, pionnier scientifique de L'Université Joseph Ki-Zerbo et ex Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Saint Thomas d'Aquin du Burkina Faso.

Références

- [1] - A. A. MISSIHOUN, C. AGBANGLA, H. ADOUKONOU-SAGBADJA, C. AHANHANZO et R. VODOUHE, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (3) (2012) 1003 - 1018
- [2] - H. MACAULEY et T. RAMADJITA, *Africa Rice*, (2015) 25
- [3] - A. TOE, H. O. SANON, F. OBULBIGA et C. V. M. BOUGOUMA, *Journal of Animal & Plant Sciences*, 54 (1) (2022) 9808 - 9821
- [4] - K. LAMY et R. MF, *Cryptogamie Mycologie*, 2 (1) (1981) 137 - 151
- [5] - C. DENNIS et J. WEBSTER, *Transactions of the British Mycological Society*, 57 (1) (1971) 25 - IN23
- [6] - M. KUMAR, V. KUMAR, M. RANA et S. SRIVASTAVA, *Plant Archives*, 19 (1) (2019) 159 - 162
- [7] - C. DENNIS et J. WEBSTER, *Transactions de la British Mycological Society*, 23 (1) (1971) 607 - 616
- [8] - L. ZIDANE, Étude des groupements messicoles dominés par l'avoine stérile (*Avena sterilis* L. spp. *macrocarpa* Mo.) dans quelques régions du Maroc occidental et de la compétitivité de cette adventice vis-à-vis du blé dur, Thèse de doctorat : Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Kénitra (Maroc), (2004) 178
- [9] - A. OUZZANI-TOUHAMI, A. MOURIA, A. DOUIRA, R. BENKIRANE, A. MLAIKI et M. EL YACHIOUI, *Al Awamia*, 96 (1) (1997) 19 - 24
- [10] - F. BERBER, A. OUZZANI-TOUHAMI, A. BADOUC et A. DOUIRA, *Bulletin de la société de pharmacie de Borgeaux*, 148 (1) (2009) 93 - 114
- [11] - A. HMOUNI, M. MASSOUI et A. DOUIRA, *Al Awamia*, 99 (1) (1999) 75 - 92
- [12] - I. YEDIDIA, N. BENHAMOU et I. CHET, *Applied and environmental microbiology*, 65 (3) (1999) 1061 - 1070
- [13] - J. CHANTEREAU, J.-F. CRUZ, A. RATNADASS, G. TROUCHE et G. FLIEDEL, *Le sorgho : éditions Quae*, (2013) 264

- [14] - K. F. ZONGO, E. HIEN, B. T. MARE, D. GUEBRE, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (3) (2021) 987 - 1005
- [15] - S. OUEDRAOGO, Intensification de l'agriculture dans le Plateau Central du Burkina Faso : une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies, *Doctorat unique*, Centre for Development Studies, University of Groningen, (2005) 337
- [16] - K. F. ZONGO, E. HIEN, J.-J. DREVON, D. BLAVET, D. MASSE et C. CLERMONT-DAUPHIN, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (1) (2016) 290 - 312
- [17] - J. SAWADOGO, R. F. W.-P. KABORE, A. OUIYA, C. A. SAVADOGO, M. BOUGOUMA et J. B. LEGMA, *Afrique SCIENCE*, 25 (4) (2024) 15 - 24
- [18] - M. OBULBIGA, V. BOUGOUMA et H. SANON, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (3) (2015) 1431 - 1439
- [19] - L. BEDOUSSAC, E.-P. JOURNET, H. HAUGGAARD-NIELSEN, C. NAUDIN, G. CORRE-HELLOU, E.S. JENSEN, L. PRIEUR et E. JUSTES, *Agronomy for sustainable development*, 35 (1) (2015) 911 - 935
- [20] - R. WILLEY et D. OSIRU, *The Journal of Agricultural Science*, 79 (3) (1972) 517 - 529
- [21] - M. DARIUSH, M. AHAD et O. MEYSAM, *Journal of Central European Agriculture*, 7 (2) (2006) 359 - 364
- [22] - J. SAWADOGO, P. J. D. A. COULIBALY, B. TRAORE, M. S. D. BASSOLE, C. A. SAVADOGO, J. B. LEGMA, *Journal of Applied Biosciences*, 168 (1) (2021) 17375 - 17390
- [23] - J. SAWADOGO, P. COULIBALY, B. TRAORE, M. S. D. BASSOLE, A. KABORE et J. B. LEGMA, *Afrique SCIENCE*, 19 (4) (2021) 189 - 202
- [24] - F. KAHU, M. YEMEFACK, P. FEUJIO-TEGUEFOUET et J. TCHANTCHAOUANG, *Tropicultura*, 29 (1) (2011) 39 - 45
- [25] - I. NIGNAN, Effets de l'application de la micro-dose de NPK et d'Urée sur les rendements du maïs (*Zea mays* L.) et du soja (*Glycine max* (L.) Merr.) et sur le sol au Burkina Faso: Cas des provinces de la Sissili et du Nahouri, *Diplôme d'ingénieur de développement rural, option: Agronomie*, Université Nazi Boni, (2017) 61
- [26] - O. TRAORE, A. R. OUEDRAOGO, D. M. GUEBRE, I. WONNI et I. SOMDA, *Sciences Naturelles et Appliquées*, 42 (2 (1) (2023)) 167 - 178
- [27] - E. OUEDRAOGO et E. HIEN, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (3) (2015) 1330 - 1340
- [28] - K. F. ZONGO, K. DABIRE, S. A. KABORE, M. TONDE, D. GUEBRE, A. SANON et E. HIEN, *Revue internationale de l'environnement et du changement climatique*, 14 (9) (2024) 705 - 717
- [29] - A. I. DJINET, M. M. NGUINAMBAYE et F. GANON, *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 6 (4) (2023) 70 - 80
- [30] - L. HOYOS-CARVAJAL, S. ORDUZ et J. BISSETT, *Biological control*, 51 (3) (2009) 409 - 416
- [31] - A. O. EGESA, S. N. NJAGI et C. W. MUUI, *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 9 (1) (2016) 50 - 58
- [32] - G. E. HARMAN, *Phytopathology*, 96 (2) (2006) 190 - 194
- [33] - M. R. ARDAKANI, G. PIETSCH, A. MOGHADDAM, A. RAZA et J. K. FRIEDEL, *American journal of agricultural and biological sciences*, 4 (4) (2009) 266 - 277
- [34] - R. K. GOYAL, A. K. MATTOO et M. A. SCHMIDT, *Frontiers in Microbiology*, 12 (1) (2021) 1 - 14
- [35] - J. SAWADOGO, J.B. LEGMA, A. KABORE, P.J.D.A. COULIBALY, S.K. MOUTARI et M. BOUGOUMA, *Afrique Science*, 15 (2) (2019) 226 - 237
- [36] - O. CHOUDHARY, A. JOSAN, M. BAJWA et M. KAPUR, *Field crops research*, 87 (2-3) (2004) 103 - 116
- [37] - F. LAKHDARI, Effet d'un biostimulant à base de champignons (*Trichoderma* spp.) sur la croissance du maïs (*Zea mays* L.) dans la région de Touggourt, *Mémoire de master académique*, Université kasdi Merbah, Ouargla, (2019) 62
- [38] - J. SAWADOGO, P. J. D. A. COULIBALY, F. J. BAMBARA, A. C. SAVADOGO, E. COMPAORE et J. B. LEGMA, *Afrique Science*, 17 (6) (2020) 44 - 57
- [39] - B. MOURIA, A. OUAZZANI-TOUHAMI et A. DOUIRA, *Phytoprotection*, 88 (3) (2007) 103 - 110
- [40] - Y. YU, T.-J. STOMPH, D. MAKOWSKI et W. VAN DER WERF, *Field Crops Research*, 184 (2015) 133 - 144
- [41] - J. SAWADOGO, P. J. D. A. COULIBALY, M. BEOGO, C. A. SAVADOGO et J. B. LEGMA, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 35 (2) (2022) 249 - 259