



Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifai) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso

Eric OUEDRAOGO¹ et Edmond HIEN^{2*}

¹Université de Ouagadougou, UFR/SVT, 03 BP7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

²Université de Ouagadougou, UFR/SVT, LMI-IESOL, IRD 03 BP7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

*Auteur correspondant ; E-mail : edmond.hien@ird.fr

RESUME

L'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs majeurs dans le sol à travers l'enrichissement de compost par des spores de *Trichoderma harzianum* peut être une alternative d'intensification écologique pour l'augmentation des rendements agricoles. L'objectif de cette étude était de tester l'influence de l'enrichissement de compost par des spores de *T. harzianum* I-1236 sur la productivité du sol. La méthodologie a consisté à tester sous serre en vases de végétation six (6) traitements : Témoin (T), Compost seul (C), Compost+*T. harzianum* (C+Th), NPK seul (NPK), Compost+NPK (C+NPK) et Compost+NPK+*T. harzianum* (C+NPK+Th). Chaque traitement a été répété six (6) fois. Le niébé et le maïs ont été cultivés. Les paramètres tels que le diamètre et la hauteur des plants, les biomasses aériennes et racinaires, la nodulation du niébé ont été mesurés. Les teneurs en N et P de la biomasse aérienne ont été déterminées. Les résultats ont montré que les traitements combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+Th) ou la fumure minérale seule (NPK) ont donné les meilleures croissances et les biomasses les plus importantes. La nodulation du niébé a été influencée par l'utilisation du compost et du *T. harzianum*. Le nombre de nodules a varié de 35.5 ± 1.9 pour le témoin à 27.7 ± 2.2 pour le traitement C+Th. Cela justifie l'intérêt d'utiliser du compost et du *T. harzianum* dans une perspective d'intensification écologique dans les agrosystèmes dégradés.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Compost, enrichissement, *Trichoderma harzianum*, nodulation, niébé, maïs.

INTRODUCTION

L'agriculture burkinabè est essentiellement une agriculture de subsistance basée sur les cultures vivrières (sorgho, mil, maïs, riz, niébé et fonio) avec des rendements moyens inférieurs à $850 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (DPSAA, 2011). Cette agriculture extensive dominée par de petites exploitations familiales de 3 à 6 hectares (ha) en moyenne, fait face à d'importantes contraintes limitant ses performances (MARH, 2008). Elle est aussi caractérisée par la mauvaise gestion des terres

agricoles et l'inadéquation entre le prix des intrants et celui des cultures vivrières. Ces deux facteurs constituent les éléments importants de la dégradation continue des sols. Dans un tel contexte, l'utilisation d'engrais minéraux pourrait constituer une solution à cette faible productivité. Cependant, de nombreuses études ont montré leurs effets négatifs à long terme sur la dégradation chimique des sols, entraînant de ce fait une réduction de rendement (Koulibaly et al., 2010; Bationo et al., 2012). Face à cette

situation, l'agriculture conventionnelle doit s'orienter vers des systèmes de cultures plus durables à faibles intrants et les processus naturels doivent être exploités. A ce titre, les champignons mycorhiziens apparaissent comme des organismes telluriques les plus importants à prendre en compte.

En effet, la plupart des plantes terrestres vivent en symbiose avec des champignons du sol qui sont susceptibles de conférer à leur hôte, une meilleure croissance grâce à l'amélioration de la nutrition minérale, en particulier la nutrition phosphatée et par conséquent un meilleur rendement (Egli et Brunner, 2002). La recherche scientifique a préconisé des stratégies basées sur l'utilisation d'engrais organiques combinés à certains microorganismes tels que les champignons du genre *Trichoderma*, en utilisant très peu d'engrais minéraux. Au Burkina Faso, certaines organisations non gouvernementales (ONGs) œuvrant pour la promotion de l'agro-écologie utilisent les spores de *T. harzianum* comme inoculum pour l'enrichissement du compost. L'étude a été conduite en formulant l'hypothèse qu'une gestion intégrée des fumures minérales et organiques, associée aux spores de *Trichoderma* permettrait d'améliorer la nutrition minérale et hydrique des plantes.

Dans cette étude, il s'agissait de tester sous serre, l'influence de l'enrichissement de compost par des spores de *T. harzianum* sur les paramètres de rendement du niébé et du maïs.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

L'essai en vases de végétation a été mené sous abris dans l'enceinte du centre IRD sis à Ouagadougou (12°22'11'' N, 1°30'46''W avec une altitude de 303 m).

Prélèvement et préparation des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés dans l'horizon de surface (0-10 cm) dans un champ paysan conventionnel (sans

fertilisation chimique et organique) à Fada N'gourma à 220 km à l'est de Ouagadougou. Un transect a été tracé dans une parcelle ayant une pédogénèse, des états de surface et une topographie homogènes. Cinq placettes de 20 m X 20 m (400 m²) ont été délimitées le long de ce transect. Les prélèvements élémentaires ont été ensuite mélangés pour former un échantillon composite. Au laboratoire, les échantillons de sol ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm. Des fractions de terre (aliquotes) ont été prélevées puis broyées à 0.5 mm pour les différents dosages.

Essai en pot sous serre

Pour la mise en place de l'essai, des pots en plastiques (diamètres supérieur : 14 cm, diamètre inférieur : 10.5 cm et 11.5 cm de profondeur soit un volume moyen de 1354.7cm³) ont été utilisés. La quantité de terre fine ayant servi pour le remplissage des pots est de 1 kg.

Matériel biologique

Des spores de la souche de *Trichoderma harzianum* (déposée à la CNCM de l'Institut Pasteur sous le numéro I-1236) (Besnard et al., 1993), ont été utilisées avec une concentration de 10⁹ unités formant des colonies (UFC) par gramme de substrat sec. La variété K VX 414-22-2 de niébé et la variété Massongo de Maïs ont été utilisées comme végétaux.

Fumure organique et minérale

Un compost produit à partir du mélange de 30% de résidus de panse des animaux (abattoir), 30% de résidus de cuisine et 40% de feuilles de *Khaya senegalensis* a été utilisé comme fumure organique.

Le NPK (14-23-14) a été utilisé comme fumure minérale à raison de 50 kg. ha⁻¹ (micro-dose) soit 1.6 g par pot pour chaque culture.

Dispositif expérimental

Un dispositif expérimental avec randomisation totale a été utilisé. Six (6)

traitements avec six (6) répétitions pour chaque culture ont été mis en place soit 36 pots au total. Les traitements suivants ont donc été mis en place :

- **T** : témoin absolu (sans apport de compost, de NPK ni spores de *T. harzianum*) ;
- **C** : compost en raison de 3 t.ha⁻¹ soit (62.5 g par pot) ;
- **C+Th** : Compost+ *T. harzianum* (62.5 g de compost et 60 g de support de culture avec une concentration de 10⁹ spores viables par gramme) ;
- **NPK** : NPK en raison de 50 kg.ha⁻¹ soit 1.6 g par pot;
- **C+NPK** : 62.5 g de compost et 1.6 g de NPK par pot;
- **C+NPK+Th** : compost + NPK + *T. harzianum* en raison de 62.5 g de compost, 1.6 g de NPK et 60 g de support de culture par pot).

Une quantité de 1 kg de terre fine a été mise dans chaque pot, puis humectée à la capacité au champ (150 ml) ; le semis est intervenu 24 heures après à raison de 5 graines par pot.

Paramètres mesurés

- La hauteur des plants, le nombre et le poids des nodules, la biomasse aérienne et racinaire, ont été mesurés chez le niébé.
- La hauteur et le diamètre des plants, la biomasse aérienne et racinaire ont été mesurés chez le maïs.

Analyses chimiques du matériel végétal

Le dosage de l'azote total et du phosphore total des plantes ont été effectués au laboratoire d'analyse de sol-eau-plante du Bureau National des sols.

Analyses statistiques

L'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée avec le logiciel XLSTAT PRO 7.5.2. Version 2012. Le test de Student-Newman

Keuls a servi à la séparation des moyennes présentant des différences significatives au seuil de 5%.

RESULTATS

Effet de l'enrichissement du compost sur les paramètres du rendement

Effet sur la croissance et la biomasse du niébé

Les résultats de l'effet des traitements sur la croissance et la production en biomasse du niébé sont consignés dans le Tableau 1. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements selon l'analyse de variance au seuil de 5% ($P > 0.05$). Cependant, la hauteur des plants de niébé ayant reçu le traitement C+NPK est de 30% plus élevée suivie de celui de C+NPK+Th avec 29% puis de 14% pour NPK par rapport au témoin. Ce traitement présente la plus faible hauteur moyenne de plants. Les résultats de la production en biomasse aérienne montrent que C+NPK et C+NPK+Th forment un groupe homogène statistiquement différent du groupe constitué par T et C ; les traitements C+Th et NPK étant des groupes intermédiaires. Les meilleures productions de biomasse aérienne sont obtenues avec les traitements C+NPK et C+NPK+Th qui sont respectivement de 52.5% et 52.3% plus élevées par rapport au témoin. Le traitement C+Th a entraîné la plus faible production avec une baisse de 21% par rapport au témoin. Quant à la biomasse racinaire, l'analyse de variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% avec ($P < 0.01$) nous révèlent deux groupes statistiquement très différents (Tableau 1) formés par (C+NPK+Th et NPK) et (C et C+Th) ; T et C+NPK forment des groupes intermédiaires. Le NPK seul a produit la plus forte biomasse racinaire suivi de C+NPK+Th (0.81 ± 0.15 et 0.78 ± 0.1).

Effet sur la croissance, le diamètre et la production en biomasse du maïs

Le Tableau 2 montre les différents résultats obtenus sur le maïs.

Les résultats sur la croissance du maïs indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements ($P > 0.05$). Néanmoins, Les traitements, C+NPK, C+NPK+Th et NPK ont entraîné une augmentation de la croissance du maïs par rapport au témoin qui sont de 65%, pour C+NPK, 63% pour C+NPK+Th et 45% pour NPK. La plus faible hauteur moyenne a été enregistrée au niveau du témoin avec 15.45 ± 7.35 cm.

Les résultats du diamètre moyen, des biomasses aériennes et racinaires des plants de maïs nous montrent deux groupes statistiquement différents en fonction des traitements. Pour ce qui concerne le diamètre moyen des plants, le traitement C+NPK+Th a favorisé la vigueur des plants par rapport au témoin avec une variation 79% du diamètre moyen ; les traitements C+NPK et NPK ont entraîné chacun une variation de 76%. La production en biomasse aérienne montre que le traitement C+NPK+Th a eu plus d'influence sur la production de biomasse aérienne avec une valeur moyenne de 20.6 ± 2.09 g. La plus faible biomasse a été obtenue avec le témoin soit 4.64 ± 0.54 g. Quant à la biomasse racinaire, le traitement C+NPK a permis d'avoir la forte biomasse avec 4.87 ± 0.87 g. La biomasse racinaire la plus faible est enregistrée au niveau du traitement C+Th soit 1.65 ± 0.28 g.

Effet de l'enrichissement sur la nodulation du niébé

Les résultats sur le nombre et le poids en matière sèche (MS) des nodules du niébé sont présentés dans le Tableau 3. Ceux-ci font ressortir deux groupes statistiquement très différents ($P < 0.01$) en fonction des traitements et pour les deux paramètres mesurés. Pour ce qui concerne le nombre de nodule, le témoin a donné le plus important

nombre de nodule par rapport aux autres traitements suivi du groupe constitué par les traitements C et C+Th et enfin des traitements NPK, C+NPK et C+NPK+Th. Les proportions d'augmentation sont de 396% pour le témoin, 286.3% pour C+Th, 232% pour C, 54% pour C+NPK+Th et 21% pour NPK par rapport à C+NPK, traitement ayant donné le plus faible nombre de nodules. Les résultats rapportés au poids des nodules montrent que les traitements T, C et C+Th sont statistiquement différents des traitements NPK et C+NPK. Le poids des nodules est proportionnel au nombre de nodule en dehors du traitement NPK. Le témoin a donné le poids le plus élevé avec 0.09 ± 0.05 g suivi du Compost seul avec 0.07 ± 0.04 g. Le plus faible poids a été enregistré par le traitement NPK seul.

Effet de l'enrichissement du compost sur les teneurs en éléments minéraux de la biomasse aérienne du niébé et du maïs

La Figure 1 présente les résultats des teneurs en azote et en phosphore total de la biomasse aérienne du niébé. Ces résultats indiquent des différences significatives et permet de classer les traitements par groupes selon l'analyse de variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% ($P < 0.05$).

La teneur en azote de la biomasse aérienne du niébé est présentée par la Figure 1a. Les traitements sont repartis en deux groupes statistiquement différents et un groupe intermédiaire. La teneur la plus élevée est obtenue avec le traitement C+Th (3.68%) et la plus faible teneur est observée avec le traitement C+NPK+Th (2.79%).

La Figure 1b montre la teneur en phosphore total de la biomasse aérienne du niébé et présente cinq groupes statistiquement différents. Les traitements NPK, CNPK et C+NPK+Th ont permis d'avoir des teneurs plus importantes que le témoin avec respectivement 123%, 63% et 40%. Seul le traitement comportant uniquement le compost présente des valeurs en baisse par rapport au témoin.

Effet de l'enrichissement sur les teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs

Les résultats des teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs sont présentés dans la Figure 2. Ces résultats sont très différentes statistiquement entre les traitements ($P < 0.01$). La Figure 2a présente quatre groupes statistiquement différents. Les traitements C+NPK, NPK, C+NPK+Th, C+Th et C ont amélioré la teneur en azote de la biomasse aérienne du maïs à

des teneurs variées avec respectivement 97%, 90%, 72%, 59% et 28% par rapport au témoin.

Les résultats de la teneur en phosphore total de la biomasse aérienne du maïs sont illustrés par la Figure 2b. Ces résultats révèlent des différences significatives entre les traitements. Les traitements NPK, C+Th et C+NPK+Th ont entraîné une augmentation de la teneur en phosphore total respectivement de 142%, 54% et 41% par rapport au témoin qui a donné la plus faible teneur.

Tableau 1: Effets des traitements sur la croissance et la biomasse du niébé.

Traitements	H (cm)	B.A (g)	B.R (g)
T	15.95±5.04a	4.40±0.94c	0.58±0.16bc
C	17.80±7.07a	4.23±1.29c	0.49±0.14c
C+Th	17.05±6.76a	4.91±0.66bc	0.46±0.09c
NPK	18.18±7.94a	5.97±1.06ab	0.81±0.15a
C+NPK	20.75±9.93a	6.71±0.82a	0.68±0.13ab
C+NPK+Th	20.56±9.23a	6.70±1a	0.78±0.1a

NB : les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% ($p=0.05$). H : hauteur ; B.A : biomasse aérienne ; B.R : Biomasse racinaire ; a, ab, c, bc : regroupements par traitement.

Tableau 2: Effets des traitements sur la croissance, le diamètre et la biomasse du maïs.

Traitements	H (cm)	D (cm)	B.A (g)	B.R (g)
T	15.45± 7.35a	0.62±0.02b	6.4±0.54b	1.8±0.19b
C	21.73± 12,71a	0.69±0.01b	6.93±0.61b	2.08±0.22b
C+Th	20.09± 11.78a	0.65±0.02b	5.99±0.54b	1.65±0.28b
NPK	22.25± 15.31a	1.09±0.06a	18.06±1.63a	4.52±0.7a
C+NPK	25.47± 17.72a	1.09±0.05a	20.04±2.21a	4.87±0.87a
C+NPK+Th	25.11± 19.45a	1.11±0.07a	20.6±2.09a	4.28±1.04a

NB : les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%. H : hauteur ; D : diamètre ; B.A : biomasse aérienne ; B.R : Biomasse racinaire ;a,b : regroupements par traitement

Tableau 3: Effet de l'enrichissement sur le nombre et le poids des nodules.

Traitements	N. Nod	P. Nod (g)
T	35.50±1.87a	0.09±0.06a
C	23.83±2.13ab	0.07±0.04a
C+Th	27.66±2.16ab	0.06±0.04a
NPK	8.66±1.86b	0.008±0.01b
C+NPK	7.16±1.47b	0.013±0.01b
C+NPK+Th	11.00±1.54b	0.041±0.03ab

NB : Les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%). N. Nod : nombre de nodules ; P. Nod : poids des nodules, a, ab : regroupements par traitement

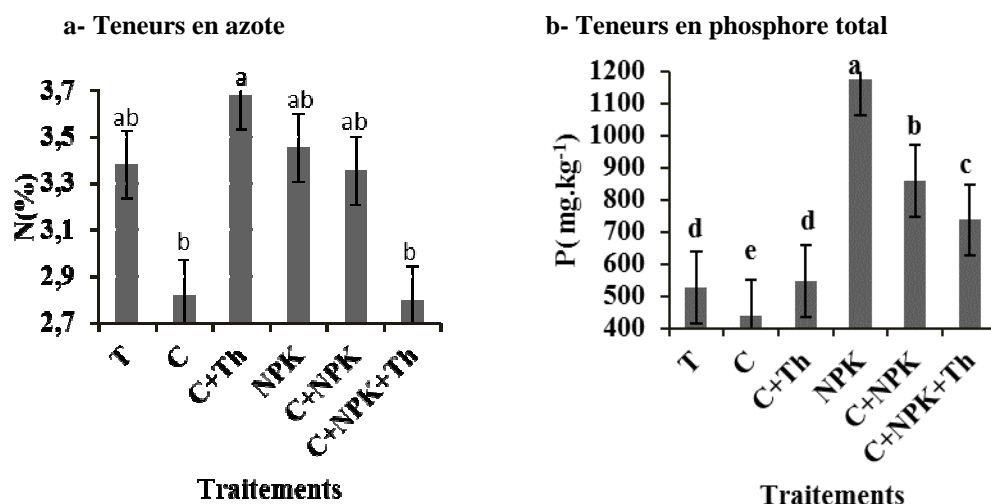


Figure 1: Teneur en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du niébé.

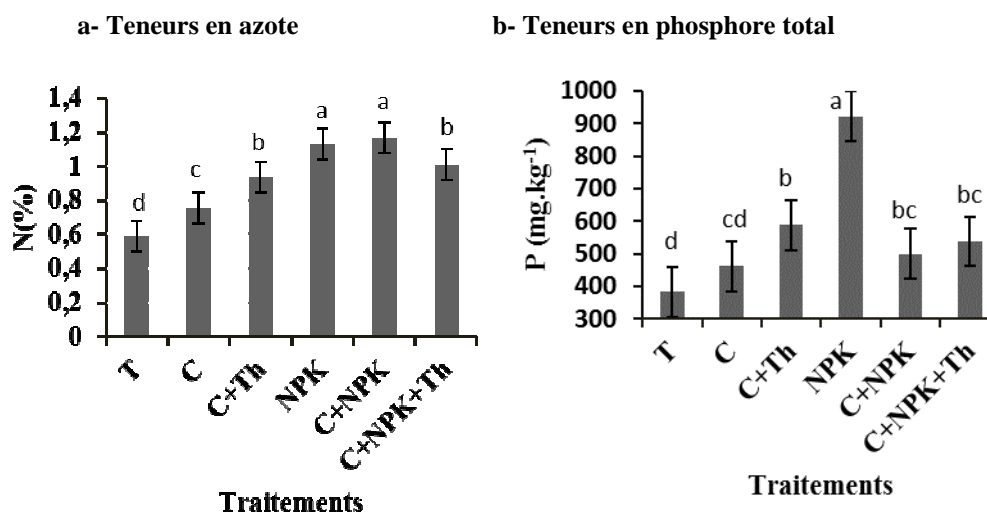


Figure 2: Teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs.

DISCUSSION

Effet de l'enrichissement du compost sur les paramètres de rendement du niébé et du maïs

L'analyse des résultats des effets de l'enrichissement sur les paramètres agronomiques (hauteur, biomasses et diamètre) du niébé et du maïs ont montré que les traitements combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+Th) ou la fumure minérale seule (NPK) ont permis

d'avoir les meilleures croissances et les biomasses les plus importantes. Cette amélioration de la croissance ou de la production de biomasse des cultures pourrait se justifier par la disponibilité en éléments nutritifs de la fumure organo-minérale ou minérale qui aurait servi à la nutrition minérale du niébé et du maïs. En effet, des auteurs ont rapporté que pour une gestion durable de la fertilité des sols, il est nécessaire de combiner les engrais minéraux, la fumure

organique et les systèmes de culture (Hamidou et al., 2014). Les engrais minéraux et les matières organiques fournissent beaucoup d'éléments nutritifs à la plante. En outre, au niveau des végétaux, l'humus ou plus largement la matière organique du sol favorise la croissance et la résistance des plantes par une bonne alimentation en éléments majeurs (N, P, K) et par une disponibilité suffisante en éléments secondaires et oligo-éléments ainsi qu'en divers activateurs (Soltner, 2003). Bien que certains auteurs (Babeendean et al., 2000 ; Lo et Lin, 2002 ; Harman et al., 2004 Hoyos-Carvajal et al., 2009) ; aient démontré l'effet de *T. harzianum* sur la croissance et le rendement en biomasse des plantes, notre étude a révélé que les traitements associant le champignon *T. harzianum* de la souche I-1236 n'a pas permis une amélioration nette des paramètres de rendements du niébé et du maïs. Cependant, nos résultats sont similaires à ceux obtenus par (Behzad, 2010) sur le maïs indiquant une diminution de la vigueur et le développement des plantules avec des souches de *T. harzianum* (T447 et T969). Ce même auteur a rapporté qu'une forte concentration en spores pouvait avoir des effets inhibiteurs sur la germination des graines et le développement de la plante. En effet, avec une dose de 10^6 et 10^7 spores.ml⁻¹, il a observé une inhibition de la germination des graines, l'élongation des radicelles et le développement des plants de maïs.

Effet de l'enrichissement sur la nodulation du niébé

Le Tableau 3 présente les résultats concernant le nombre de nodules et le poids de matière sèche (MS). La nodulation du niébé a été plus importante au niveau du témoin, ce qui serait liée à la faible teneur en azote du sol. Par contre, le nombre de nodule s'est amenuisé en fonction de la richesse en éléments minéraux et surtout en azote des traitements. Ce qui nous permet de dire que l'azote joue un double rôle dans la production

de nodules. En effet, à fortes doses, il induit un effet dépressif sur la nodulation, mais à faibles doses, il joue un rôle de «starter» en favorisant l'initiation de la formation des nodules. Nos résultats sont similaires à ceux de (Peoples et al., 2002 ; Chu et al., 2004 ; Fan et al., 2006) qui ont rapporté que la fertilisation azotée peut aussi entraîner une réduction de la nodulation et de la fixation de l'azote atmosphérique.

Le traitement C+Th a occasionné la plus forte nodulation du niébé après le témoin. Cette action pourrait se justifier par la présence de *T. harzianum* qui aurait favorisé la fixation biologique de l'azote et/ou l'absorption d'azote et de phosphore par la plante d'où la production des nodules. Des résultats similaires ont été rapportés par (Dordas et Sioulas, 2008). Généralement, la colonisation racinaire des plantes par les mycorhizes favorise la nodulation et accroît le poids des nodules (Ngakou et al., 2003). Des études effectuées par Houngnandan et al. (2001) font ressortir des fortes corrélations entre les taux d'infection des mycorhizes et la nodulation respectivement chez le soja et le mucuna.

Effet de l'enrichissement du compost sur les teneurs en éléments minéraux de la biomasse aérienne du niébé et du maïs

Les teneurs en azote et en phosphore total de la biomasse aérienne varient entre les cultures et les traitements. Nous avons un taux de mobilisation plus important de l'azote au niveau du niébé. Cela serait lié à la capacité du niébé à mobiliser l'azote même à travers la fixation de l'azote atmosphérique. La plus forte teneur en azote de la biomasse aérienne du niébé obtenu par le traitement C+Th pourrait se justifier par l'amélioration de l'absorption ou de la fixation de l'azote par la plante. Nos résultats sont en accord avec ceux observés par (Alfano et al., 2007) sur l'augmentation de la teneur en protéines des grains de pois chiche par *Trichoderma spp.*

Les Travaux de Egberongbe et al. (2010) sur le soja ont montré que l'application de *T. harzianum* permettait d'augmenter le taux de protéine brute. Les faibles teneurs enregistrées par le compost seul s'expliqueraient par une immobilisation de l'azote par les microorganismes pour une éventuelle dégradation de la matière organique entraînant une « faim d'azote ». Quant au traitement C+NPK+Th, la faible teneur pourrait être liée à la présence de l'engrais qui aurait inhibé la mobilisation de l'azote. Selon Kahiluoto et al. (2000) la présence de l'engrais minéral à forte dose de phosphore inhibe la mobilisation des nutriments effectuée par les mycorhizes. Les fortes teneurs en phosphore total de la biomasse du niébé constatées au niveau des traitements NPK et C+NPK pourrait s'expliquer par la disponibilité en éléments minéraux qu'apporteraient les fumures minérales ou organo-minérales. Les résultats de la teneur en phosphore totale de la biomasse aérienne enregistré au niveau du témoin seraient liés à la carence du sol en cet élément. Nos résultats confirment ceux de (Compaoré et al., 2001) qui ont montré une carence en phosphore des sols au Burkina Faso ainsi que sa faible disponibilité pour les cultures. Le compost seul a permis d'avoir la plus faible teneur en phosphore total de la biomasse aérienne du niébé. Ce résultat se justifierait par le fait que le phosphore pourrait se trouver sous sa forme organique ou immobilisé par les microorganismes posant un problème de disponibilité pour la plante. Les traitements C+Th et C+NPK+Th ont entraîné un prélèvement moyen du phosphore par le niébé malgré la présence du *Trichoderma*. Cela s'expliquerait par la présence de l'engrais NPK pour le traitement concerné ou par l'acidification du sol rhizosphérique de la légumineuse en réponse à son activité fixatrice (excrétion de protons) selon Li et al., (2008) entraînant une solubilisation du

phosphore, ce qui aurait inhibé l'action de *Trichoderma*.

Les résultats des Figures 2a et 2b ont montré les teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs. Les plus fortes teneurs en azote obtenues avec les traitements NPK et C+NPK seraient liées à la disponibilité en éléments minéraux qu'apporteraient les fumures minérales ou organo-minérales. La nécessité d'utiliser à la fois les fertilisants organiques et minéraux pour assurer la durabilité de la fertilité des sols et de la production agricole a été reconnue. Les résultats obtenus par (Vanlauwe et al., 2001) montrent qu'il existe des interactions positives et complémentaires entre ces deux types de fumures. Les traitements C+NPK+Th et C+Th ont permis d'avoir respectivement un gain de 72% et 59% de teneur en azote par rapport au témoin, ce qui pourrait s'expliquer par une amélioration de l'absorption des nitrates par *T. harzianum*. Nos résultats sont en conformité avec ceux obtenus par Harman, (2000) qui a observé une augmentation de la teneur en protéines de la biomasse aérienne et racinaires des plants de maïs traités avec *T. harzianum* T22. Néanmoins, nous avons observé une différence significative entre la teneur en azote du maïs avec le traitement C+NPK+Th par rapport à la teneur avec NPK et C+NPK. Cette dernière action serait liée à une compétition entre la plante et *T. harzianum* dans l'utilisation de l'azote entraînant une réduction de l'absorption de l'azote par le maïs.

La forte teneur de phosphore enregistrée au niveau du traitement NPK serait liée à la disponibilité d'éléments minéraux apportés par l'engrais. Quant aux traitements C+Th et C+NPK+Th leur apport serait lié à plusieurs mécanismes par lesquels *Trichoderma spp.* influence le développement des plantes, par la production d'hormones de croissance et de résistance (Medina et al., 2011), la solubilisation, l'augmentation de

l'absorption et la translocation des minéraux moins disponibles tel que le phosphore dans le sol (Oliveira et al 2012; Santiago et al., 2013).

Conclusion

Les traitements combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+Th) ont permis d'obtenir les meilleures croissances et les biomasses les plus importantes. Les résultats de cette étude montrent également une variation de teneurs en azote et en phosphore total de la biomasse entre les cultures et les traitements. Le traitement combinant le compost et *Trichoderma harzianum* (C+Th) a favorisé la nodulation du niébé. Ce résultat s'avère bénéfique pour la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et ouvre une voie à explorer pour une intensification écologique des agricultures paysannes en région subsaharienne.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre profonde gratitude à M. Arsène SAWADOGO, responsable de l'ONG Bioprotect qui a financé en partie cette étude ; nous tenons également à remercier M. René BILLAZ pour son aide dans la construction de ce travail.

REFERENCES

- Alfano G, Ivey ML, Cakir C, Bos JIB, Miller SA, Madden LV, Kamoun S, Hoitink HAJ. 2007. Systemic modulation of gene expression in tomato by *Trichoderma hamatum* 382. *Phytopathol.*, **97**: 429-437.
- Altomare C, Norvell WA, Bjorkman T, Harman GE. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**: 2926-2933.
- Babeandean N, Moot DJ, Jones EE, Stewart A. 2000. Inconsistent growth promotion of Cabbage and Lettuce from *Trichoderma* isolates. *New Zealand Plant Prot.*, **53**: 143-146.
- Bationo A, Waswa B, Abdou A, Bado BV, Bonzi M, Iwuafor E, Kibunja C, Kihara J, Mucheru M, Mugendi D, Mugwe J, Mwale C, Okeyo J, Olle A, Roing K, Sedogo M. 2012. *Overview of Long Term Experiments in Africa. In Lessons Learned from Long-Term Soil Fertility Management Experiments in Africa.* Eds Springer: New York; London; 1-26.
- Behzad H. 2010. Effects of some Iranian *Trichoderma* isolates on maize seed germination and seedling vigor. *African Journal of Biotechnology*, **9**(28): 432-434.
- Besnard O, Renard G, Davet P. 1993. Champignon *Trichoderma* produisant des alkyl-6-delta-lactones capables à la fois de stimuler la croissance des plantes et d'exercer une activité antifongique. Brevet INPI FR 2-700-542-A1, Page 5.
- Chu GX, Shen QR, Cao JL. 2004. Nitrogen fixation and N transfer from peanut to rice cultivated in aerobic soil in an intercropping system and its effect on soil N fertility. *Plant and Soil*, **263**: 17-27.
- Compaoré E, Fardeau JC, Morel JL, Sedogo MP. 2001. Le phosphore biodisponible des sols: Une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, **10**(2) : 8-15.
- Dordas C, Sioulas C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Ind. Crops Prod.*, **27**: 75-85.
- DPSAA. 2011. Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires: Articles de la Direction des PSAA à des conférences scientifiques, Burkina Faso, 211p.

- Egberongbe HO, Akintokun AK, Babalola OO, Bankole MO. 2010. The effect of *Glomus mosseae* and *Trichoderma harzianum* on proximate analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) seed grown in sterilized and unsterilized soil. *J. Agric. Extension Rural Dev.*, **2**(4): 54-58.
- Egli S, Brunner L. 2002. Les mycorhizes: une fascinante biocénose en forêt. WSL Birmensdorf. 8p.
- Fan FL, Zhang FS, Song YN, Sun JH, Bao XG, Guo TW, Li L. 2006. Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia- faba* L.) *Plant Soil*, **323**: 295–308.
- Hamidou Z, Sabiou M, Nacro HB, Bado, BV, Lompo F, Bationo A. 2014. Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(4): 1620-1632.
- Harman GE. 2000. Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22, *Plant Dis.*, **84**: 377-393.
- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev.*, **2**: 43-56.
- Houngnandan P, Sanginga N, Okogun A, Vanlauwe B, Merckx R., Van Cleemput O. 2001. Assessment of soil factors limiting growth and establishment of *Mucuna* in farmers' field in the derived savana of the Benin Republic. *Biol. Fertile Soils* **33**: 416-422.
- Hoyos-Carvajal L, Ordua S, Bissett J. 2009. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biol. Control.*, **51**: 409-416.
- Kahiluoto H, Ketoja E, Vestberg M. 2000. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced P fertilization 1. Bioassays in a growth chamber. *Plant and Soil*, **227**: 191-206.
- Koulibaly B, Traoré O, Dakuo D, Zombré PN, Bondé D. 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicicultura*, **28**: 184-189.
- Li L, Shen J, Zhang F, Clairotte M, Drevon JJ, Le Cadre E, Hinsinger P. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) grown in monocropping and intercropping systems. *Plant Soil*, **312**: 139-150.
- Lo CT, Lin CY. 2002. Screening strains of *Trichoderma spp* for plantgrowth enhancement in Taiwan. *Plant Pathol. Bull.*, **11**: 215-220.
- Lyasse O, Merckx R, Deckers J. 2001. Maize yield as affected by organic inputs and urea in the West African moist savanna. *Agronomy Journal*, **93**, 1191-1199.
- MARH. 2008. Evolution du secteur agricole et des conditions des ménages au Burkina Faso. Projet AI/CN-SISA. 92p.
- Medina AM, Roldan A, Albacete A, Pascual JA. 2011. The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants. *Physiological*, **72**: 223-229.
- Ngakou A, Nwanga D, Tamo M, Parh I. 2003. Influence de la double inoculation rhizobienne et mycorrhizienne sur la croissance et le rendement du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers] dans deux zones agroécologiques du Cameroun. Revue électronique internationale publiée par : Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Ngaoundéré (Cameroun), Laboratoire d'Etudes

- Physico-chimiques Brazzaville (Congo), Université de Masuku Franceville (Gabon) <http://spip.cm.refer.org/pba/spip.php?rubrique> 6
Visité le 15/09/2013.
- Oliveira AG, Junior AFC, Santos GR, Miller LO, Chagas LFB. 2012. Potential de solubilizacao de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. *Rev. Verde.*, **7**: 149-155.
- Peoples MB, Boddey RM, Herridge DF, 2002. Quantification of nitrogen fixation. In *Nitrogen Fixation at the Millennium*, Leigh GJ (ed). Elsevier: Brighton; 357–389.
- Santiago A, Lopez AMG, Quintero JM, Avilés M, Delgado A. 2013. Effect of *Trichoderma asperellum* strain T34 and glucose addition on iron nutrition in cucumber grown on calcareous soils. *Soil Biol. Biochem.*, **57**: 598-605.
- Soltner D. 2003. Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol et son alimentation. Collection Sciences et techniques agricoles. neédition, 472p.
- Vanlauwe B, Aihou K, Aman S, Iwuafor ENO, Tossah BK, Diels J, Saginga N, Windham MT, Elad Y, Baker R. 2001. A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, **76**(5): 518-521.