

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE
MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE
Présenté en vue de l'obtention
du Diplôme de Master en Science du Sol

Spécialité : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

THEME :

**EFFET DE COMPOST ENRICHI PAR DES SPORES DE
TRICHODERMA HARZIANUM (Rifaï) SUR LES PROPRIETES
CHIMIQUES DU SOL ET LE RENDEMENT DU NIEBE ET DU
MAÏS**

Par :
Eric OUEDRAOGO

Maître de stage : Pr Edmond HIEN
Directeur de mémoire : Dr Bernard BACYE

N°:.....2013/MASTER.GIFS

OCTOBRE 2013

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	vi
AVANT PROPOS.....	vii
REMERCIEMENTS.....	viii
SIGLES ET ABBREVIATIONS	ix
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	x
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES PHOTOS	x
LISTE DES TABLEAUX	x
RESUME	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1. La matière organique	4
1.1.1. Définition	4
1.1.2. Source et composition	4
1.1.3. Décomposition et évolution des différents constituants.....	5
1.1.4. Rôle de la matière organique et des engrais minéraux dans le sol.....	6
1.2. Généralités sur le compost.....	7
1.2.1. Définition du compost.....	7
1.2.2. Effets du compost sur les propriétés physiques du sol.....	7
1.2.3. Effets du compost sur les propriétés chimiques du sol	8
1.2.4. Effets du compost sur les propriétés biologiques du sol	10
1.3. Généralités sur les champignons du genre <i>Trichoderma</i>	11
1.3.1. Historique et taxonomie	11
1.3.2. Morphologie	13

1.3.3.	Ecologie.....	13
1.3.4.	Production de métabolites	14
1.3.5.	<i>Trichoderma</i> et l'homme.....	15
1.4.	<i>Trichoderma harzianum</i>	15
1.4.1.	Description morphologique.....	15
1.4.2.	Biologie	17
1.4.3.	Source de carbone et d'azote.....	17
1.4.4.	Dégradation de la matière organique.....	18
1.4.5.	<i>Trichoderma harzianum</i> et amélioration de la nutrition des plantes.....	19
1.4.6.	Pouvoir antagoniste	21
1.5.	Généralités sur le niébé et le maïs	22
1.5.1.	Le niébé	22
1.5.1.1.	Description, origine et classification.....	22
1.5.1.2.	Ecologie	22
1.5.1.3.	Importance de la production du niébé.....	23
1.5.2.	Le Maïs.....	24
1.5.2.1.	Description, origine et classification.....	24
1.5.2.2.	Ecologie	25
1.5.2.3.	Importance de la production du maïs.....	25
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....		27
2.1.	Matériels	27
2.1.1.	Site de l'étude.....	27
2.1.2.	Prélèvement et préparation des échantillons de sol.....	27
2.1.3.	Essai en pot sous serre.....	28
2.1.4.	Matériel biologique	28
2.1.5.	Fumure organique et minéral	29
2.2.	Méthodes	29

2.2.1.	Dispositif expérimental	29
2.2.2.	Condition de culture	30
2.2.3.	Paramètres mesurés.	30
2.2.3.1.	Chez le niébé.....	30
2.2.3.2.	Chez le maïs	31
2.2.4.	Analyses des paramètres chimiques du sol et du matériel végétal.....	32
2.2.4.1.	Analyse du sol.....	32
2.2.4.2.	Analyse du matériel végétal.....	33
2.2.5.	Estimation du maintien des spores dans les pots.....	33
2.2.6.	Analyses statistiques	34
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....		35
3.1.	Effet de l'enrichissement du compost sur les paramètres agronomiques du niébé et du maïs.....	35
3.1.1.	Résultats	35
3.1.1.1.	Effet sur la croissance et la biomasse du niébé.....	35
3.1.1.2.	Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé.....	36
3.1.1.3.	Effet sur la croissance, le diamètre et la production en biomasse du maïs.....	36
3.1.1.4.	Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du maïs.....	37
3.1.2.	Discussion	38
3.2.	Effet de l'enrichissement sur la nodulation du niébé.....	39
3.2.1.	Résultats	39
3.2.1.1.	Effet sur le nombre et le poids sec des nodules	39
3.2.1.2.	Corrélation entre le poids et le nombre de nodules et entre le nombre de nodules et les biomasses du niébé.	40
3.2.2.	Discussion	41
3.3.	Effet de l'enrichissement du compost sur les teneurs en éléments minéraux du sol et de la biomasse aérienne du niébé et du maïs	42

3.3.1. Résultats	42
3.3.1.1. Effet sur les teneurs en éléments minéraux du sol sous niébé	42
3.3.1.2. Effet sur les teneurs en éléments minéraux du sol sous maïs	44
3.3.1.3. Effet de l'enrichissement sur les teneurs en azote et Phosphore total de la biomasse aérienne du niébé	46
3.3.1.4. Effet de l'enrichissement sur les teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs	47
3.3.1.5. Maintien des spores dans les pots	47
3.3.2. Discussion	48
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	53
ANNEXE :	A

DEDICACE

- A mon défunt père **Nongobzanga Albert OUEDRAOGO** qui m'a inculqué les valeurs de la vie et de l'abnégation au travail, que le seigneur lui accorde sa grâce infinie ;
- A ma mère **Madeleine OUEDRAOGO** celle qui a su supporter mes caprices d'enfance et pour qui je dois mon éducation et mon instruction
- A mon épouse **Antoinette OUEDRAOGO** qui m'a encouragé et soutenu pendant les moments difficiles de la formation, à ma fille **Inès Estella**

Je dédie ce mémoire

AVANT PROPOS

Le présent mémoire est l'achèvement d'une formation réalisée grâce à la collaboration entre l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso (UPB) et l'Alliance pour une Révolution Verte en Afrique (AGRA) à travers son programme santé du sol. Ce partenariat s'inscrit dans le cadre d'un programme de renforcement des capacités en science du sol de professionnels agronomes et pédologues de trois pays sahéliens que sont Le Burkina Faso, le Mali et le Niger. La formation de master en science du sol dont la spécialité était la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) a été financée par AGRA et conduite par l'Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (IDR/UPB) avec ses partenaires venant des différents pays (Burkina Faso, Cote d'Ivoire, Mali et Niger).

Nous voulons à travers ce mémoire exprimer notre profonde gratitude à l'endroit des autorités de l'UPB, à toute l'équipe du programme santé du sol de AGRA, au personnel d'encadrement de l'IDR et aux différents intervenants extérieurs pour l'effort déployé à la réussite de cette formation.

REMERCIEMENTS

Au terme de notre stage, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, apporté leur contribution à la réalisation de ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent particulièrement :

- à la représentation de l'IRD au Burkina Faso, pour nous avoir reçu et facilité l'accès aux ressources dans le cadre de la réalisation de ce stage ;
- au Pr Edmond HIEN, notre maître de stage, pour sa franche collaboration, sa disponibilité ainsi que ses sages conseils et suggestions pour l'amélioration de la qualité scientifique du mémoire. Nous lui réitérons nos remerciements pour son soutien sans faille et ses multiples gestes de sympathie à notre endroit ;
- au Dr Bernard BACYE, notre directeur de mémoire pour ses critiques et sa rigueur scientifique ;
- à tout le corps enseignant de l'IDR et plus particulièrement ceux du master, pour la qualité de la formation reçue. Et les encouragements pour les prochains défis à relever dans le domaine de la GIFS ;
- à tous les étudiants de la deuxième promotion du mater GIFS pour la cohésion et la fraternité vécue pendant tout le temps passé ensemble ;
- aux collègues stagiaires de l'IRD, Assita DEMBELE, Salomon BOUDA, Fidèle ZONGO, Arnaud SOME, Issouf DABRE, Mohamed TRAORE pour tous ces moments d'ambiance passés pendant ce stage ;
- aux techniciens de l'UMR Eco&sols du centre IRD de Ouagadougou, Messieurs Moussa BARRY et Prosper SAWADOGO pour leur franche collaboration ;
- à mes frères et sœurs Désiré, Honorine, Hervé, Jonas, Emma, Joël, Marina Arsène, Franck, Inès pour leur patience et encouragement pendant la formation ;
- à tous mes amis et connaissances dont j'ai omis de citer les noms pour leurs soutiens multiples. Je suis profondément reconnaissant à Victor NIAKARA, Brahim SORGHOU, Tongnoma ZONGO et Issiaka BENIN pour leur soutien et leur humanisme.

SIGLES ET ABREVIATIONS

AGRA	: Alliance for a Green Revolution in Africa
ANOVA	: Analysis of variance
ARFA	: Association pour la Recherche et la Formation en Agro-Ecologie
BUNASOLS	: Bureau National des Sols
CE	: Conductivité Electrique
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CIMMYT	: International Maize and Wheat Improvement Center
DGPER	: Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale
DPSAA	: Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires
Eco&sols	: Ecologie fonctionnelle et biogéochimie des Sols et des agroécosystèmes
FAO	: Food and Agriculture Organization
IDR	: Institut du Développement Rural
INERA	: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
JAS	: Jours Après Semis
MAFAP/SPAAA	: Monitoring African Food and Agricultural Policies/ Suivi des Politiques Agricoles et Alimentaires en Afrique
MOS	: Matière Organique du Sol
MARH	: Ministère de l'Agriculture et des Ressources Halieutiques
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
PRESAO	: Programme de Renforcement et de Recherche sur la Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest
UFC	: Unité Formant des Colonies
UMR	: Unité Mixte de Recherche
UPB	: Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aspect morphologique d'un conidiospore de <i>Trichoderma sp.</i>	13
Figure 2 : Couleur d'une colonie de <i>T.harzianum</i>	16
Figure 3 : morphologie des conidiospores de <i>Trichoderma harzianum</i>	17
Figure 4 : Évolution de la superficie et de la production de niébé au Burkina Fas.....	24
Figure 5 : Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé.....	36
Figure 6 : Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du maïs.....	37
Figure 7a : Corrélation entre le poids et le nombre de nodule du niébé.....	40
Figure 7b : Corrélation entre la biomasse aérienne et le nombre de nodule du niébé.....	40
Figure 7c : Corrélation entre la biomasse racinaire et le nombre de nodule du niébé.....	40
Figure 8a : Teneurs en carbone du sol sous niébé par traitement	42
Figure 8b : Teneurs en azote du sol sous niébé par traitement.....	42
Figure 8c : Teneurs en phosphore assimilable du sol sous niébé par traitement.....	43
Figure 8d : Rapport C/N du sol sous niébé par traitement.....	43
Figure 9a : Teneurs en carbone du sol sous maïs par traitement.....	44
Figure 9b : Teneurs en azote du sol sous maïs par traitement.....	44
Figure 9c : Teneurs en phosphore assimilable du sol sous maïs par traitement.....	45
Figure 9d : Rapport C/N du sol sous maïs par traitement.....	45
Figure 10 : Teneur en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du niébé.....	46
Figure 11 : Teneur en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs.....	47

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Serre de l'essai IRD.....	27
Photo 2 : Vue d'ensemble de l'essai trois semaines après semis.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques analytiques du sol utilisé.....	28
Tableau II : Caractéristiques analytiques du compost utilisé.....	29
Tableau III : Effets des traitements sur la croissance et la biomasse du niébé.....	35
Tableau IV : Effets des traitements sur la croissance, le diamètre et la biomasse du maïs.....	37
Tableau V : Effets de l'enrichissement sur le nombre et le poids des nodules.....	39
Tableau VI : Maintien des spores dans les traitements enrichis par culture.....	46

RESUME

Le faible niveau de fertilité de la plupart des sols au Burkina Faso se caractérise principalement par un faible taux de matière organique et une carence en azote et phosphore assimilable et constitue une contrainte pour l'accroissement de la productivité des sols. Améliorer la disponibilité de ces sols en éléments nutritifs à travers l'enrichissement de compost par des spores de *Trichoderma harzianum* est une alternative pour l'augmentation des rendements agricoles. Dans cette étude conduite sous serre à l'IRD Ougadougou, notre objectif était de tester l'influence de l'enrichissement de compost par des spores de *Trichoderma harzianum* sur les nutriments du sol et les rendements du niébé et du maïs. Pour chaque culture, la méthodologie a consisté à tester en vases de végétation six(6) traitements Témoin (T), Compost seul (C), Compost+*Trichoderma harzianum* (C+T), NPK seul (NPK), Compost+NPK (C+NPK) et Compost+NPK+*Trichoderma harzianum* (C+NPK+T). Chaque traitement a été répété six (6) fois.

Le diamètre du maïs, la hauteur des plants, la biomasse, la nodulation du niébé, les teneurs en C, N, P du sol et N, P de la biomasse aérienne ainsi que le maintien des spores ont été déterminés.

Les résultats ont montré que les traitements combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+T) ou la fumure minérale seule (NPK) ont donné les meilleures croissances et les biomasses les plus importantes. La nodulation du niébé a été de $35,5 \pm 1,87$ pour le témoin et $27,66 \pm 2,16$ pour le traitement C+T. Toutes les corrélations étudiées ont été significatives. Les traitements combinant la fumure organo-minérale ont amélioré les teneurs en C, N et P des sols sous niébé et maïs de même que les teneurs en N, P de la biomasse aérienne. L'estimation du maintien des spores a montré une tendance en faveur du traitement C+T. Le nombre de spore sous culture du niébé a été moins élevé que sous culture du maïs. Notre étude n'a pas montré une amélioration conséquente des paramètres de rendement avec la souche de *Trichoderma harzianum* I-1236.

Mots clés : Compost, Enrichissement, spores de *Trichoderma harzianum*, Niébé, Maïs

ABSTRACT

The low fertility of most soils in Burkina Faso is mainly characterized by a low level of organic matter and nitrogen deficiency and available phosphorus which is a constraint for increasing soil productivity. Improve the availability of soil nutrients through the enrichment of compost with spores of *Trichoderma harzianum* is an alternative for increasing crop yields. In this study conducted in a greenhouse at IRD Ouagadougou, our goal was to test the influence of the enrichment of compost with spores of *Trichoderma harzianum* on soil nutrients and yield of crops such as maize and cowpea. The methodology was based on greenhouse experiment through completely randomized trials have been applied to each vase for each crop (cowpea and maize). Six (6) Witness treatments (T) compost alone (C), Compost + *Trichoderma harzianum* (C+T), only NPK (NPK), Compost+NPK (C+NPK) and Compost + NPK + *Trichoderma harzianum* (C+NPK+T) have been implemented. Each treatment was repeated six (6) times.

Plant growth, diameter, biomass, nodulation of cowpea, the contents of soil C, N, P and ground biomass N, P and the maintenance of spores were determined. The results showed that treatments combining organo-mineral fertilizer (C+NPK and C+NPK+T) or only mineral fertilizer (NPK) gave the best growth and the largest biomass. Nodulation of cowpea was $35,5 \pm 1,87$ for the control and $27,66 \pm 2,16$ for the treatment C+T. All correlations were considered significant. Treatments combining organo-mineral fertilizer improved the contents of soil C, N, P under maize and cowpea as well as the concentrations of aboveground biomass N, P. The assessment of the maintenance spores showed a trend in favor of treatment C+T. The number of spores in cowpea was lower than in maize. Our study did not show a significant improvement of performance parameters with *Trichoderma harzianum* strain I-1236.

Key words: Compost, Enrichment, spores of *Trichoderma harzianum*, Cowpea, Maize

INTRODUCTION

Le Burkina Faso à l'instar des autres pays de l'Afrique subsaharienne n'échappe pas à la perte progressive de la fertilité des terres. Il faut relever que le niveau de fertilité de la plupart des sols au Burkina Faso se caractérise par un faible taux de matière organique, une carence en azote, en phosphore notamment assimilable et en potassium, une pauvreté en bases échangeables avec une acidification par la mise en culture et une grande sensibilité à l'érosion (BUNASOLS, 1985 ; Bado *et al.*, 1997). En dépit de la pauvreté des sols, le Burkina Faso est un pays à économie agraire, l'agriculture emploie près de 90 % de la population active, contribue à plus du tiers (environ 40 %) du PIB et représente près de la moitié des exportations nationales (FAO, 2005). L'agriculture Burkinabè est essentiellement de subsistance et est basée sur les cultures vivrières (sorgho, mil, maïs, riz, niébé et fonio) avec des rendements moyens inférieurs à 850 kg.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 aspects constituent les éléments importants de la dégradation continue des sols (Sanchez *et al.*, 1997). Aussi, le taux de croissance de la production agricole a été de l'ordre de 4,3 % (1983-2007) et, selon Ngaido (2006), ce taux devrait être de 6,8 % pour l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement en matière de réduction de la faim. Ainsi, près de 46 % de la population totale sont exposés à l'insécurité alimentaire et on estimait en 2003 le niveau de couverture des besoins nutritionnels à 2283 kilocalories (kcal)/pers/jour contre 2500 kcal requis (DPSAA, 2011).

Dans un tel contexte, l'apport d'engrais pourrait constituer une solution à cette faible production. Cependant, l'utilisation des engrais et des pesticides a atteint ses limites : pollution et perte de biodiversité dans les régions d'agriculture intensive, dégradation des systèmes agricoles les plus fragiles et coûts prohibitifs pour les producteurs les plus pauvres (Plenchette *et al.*, 2005). Aussi, en Afrique où la majorité des producteurs sont parmi les plus pauvres, les engrais peuvent coûter six fois plus qu'en Europe ou en Amérique (Sanchez, 2002). 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 ; à 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). C'est pour cela que la recherche scientifique a préconisé des stratégies basées sur l'utilisation des engrais organiques mettant en jeu la matière organique et certains microorganismes tels que les champignons en utilisant très peu d'engrais minéraux (Döbereiner, 1994). C'est ainsi que plusieurs champignons ont été utilisés pour faciliter la dégradation de la matière organique et l'amélioration de la nutrition minérale des plantes à travers l'enrichissement du compost dans les pays à agriculture intensive. Parmi ces champignons, les espèces du genre *Trichoderma* sont les plus fréquemment utilisées pour l'hydrolyse de la cellulose et des produits ligno-cellulosiques (Ghose *et al.*, 1979). Au Burkina Faso, certaines organisations non gouvernementales (ONGs) œuvrant pour la promotion de l'agro-écologie utilisent *Trichoderma harzianum* comme inoculum. Des études conduites en milieu paysan en 2011 et 2012 dans la région de l'Est à Fada N'gourma, par l'Association pour la Recherche et la Formation en Agro-écologie (ARFA) sembleraient montrées des améliorations dans les rendements des cultures comme le maïs et surtout le niébé lorsque le compost utilisé était enrichi avec des spores de *Trichoderma harzianum* en l'absence d'apport d'engrais NPK. Il est donc nécessaire que des études soient entreprises dans ce sens en milieu contrôlé pour comprendre l'ensemble des mécanismes concernés afin d'optimiser cette technique. C'est dans cette optique que ce travail a été effectué en pot et sous serre à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Ouagadougou.

L'objectif général de cette étude était de tester sous serre l'influence de l'enrichissement de compost par des spores de *Trichoderma harzianum* sur les nutriments du sol et les paramètres agronomiques du niébé et du maïs.

Les objectifs spécifiques de cette étude étaient les suivants :

- évaluer l'effet de l'enrichissement sur la croissance et la biomasse du niébé et du maïs ;
- évaluer l'effet de l'enrichissement sur la nodulation du niébé ;
- évaluer les teneurs en éléments minéraux du sol et des plantes cultivées en vases de végétation après enrichissement du compost.

Pour mener à bien cette étude, notre approche a été construite autour des hypothèses de travail suivantes :

- l'enrichissement du compost améliore la croissance et les biomasses aériennes et racinaires du niébé et du maïs ;
- l'enrichissement du compost influence la nodulation du niébé ;
- l'enrichissement du compost améliore la teneur en éléments minéraux du sol notamment la solubilité du phosphore et le prélèvement des nutriments par des plantes comme le niébé et le maïs en vases de végétation.

Le présent mémoire fait la synthèse des travaux réalisés et présente les principaux résultats obtenus. Il est structuré en trois chapitres : Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique, le deuxième chapitre présente les matériels et les méthodes utilisés. Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats et la discussion. Enfin une conclusion et des perspectives de recherche clôturent ce document.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. La matière organique

1.1.1. Définition

Selon Sopher et Baird (1978), la matière organique peut se définir comme étant un mélange de résidus de plantes et d'animaux à différents degrés de décomposition. Cette substance est dite «organique» parce qu'elle est constituée de la combinaison de trois éléments principaux : carbone, hydrogène, oxygène auxquels viennent s'ajouter l'azote, le soufre et le phosphore. La matière organique est un constituant normal des sols où elle subit une série de transformations par décomposition pour donner de l'humus, puis se minéralise sous l'action des micro-organismes et sous l'influence du milieu (Falisse et Lambert, 1994). Les matières organiques utilisées dans la fertilisation des sols sont de nature et de forme variées (Diallo, 2002). Elles sont composées du compost, de fumier, de résidus de cultures, de déchets et d'engrais vert etc. Suivant leur stade d'évolution, on distingue: les matières organiques libres fraîches, les produits transitoires et l'humus (Delville, 1996 ; Pousset, 2000).

1.1.2. Source et composition

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, pailles, fruits, résidus de récolte, branches et troncs d'arbre tombant au sol et ceux se trouvant préalablement dans le sol (racines, exsudats racinaires, etc.) constituent la principale source de la matière organique du sol (Demolon, 1952). A ceux-là, il faut ajouter le terreau, le fumier, le compost, les résidus industriels, les algues marines (Duthil, 1973), la gadoue et les boues urbaines (Gamrasin, 1979). Les matières organiques d'origine végétale sont essentiellement constituées de celluloses, hémicelluloses, lignines, pectines, poly-phénols qui composent les parois des végétaux ; ce sont des sucres complexes c'est-à-dire plus ou moins aisément décomposables par les organismes vivants du sol.

Les matières organiques d'origine animale du sol sont constituées d'animaux morts (carcasse d'animaux, microfaune et macrofaune du sol, la biomasse microbienne vivante ou morte, etc.). La matière organique non décomposée comporte quatre principaux constituants : les hydrates de carbone, la lignine, les protéines et les tanins (Sopher et Baird, 1978).

1.1.3. Décomposition et évolution des différents constituants

Elle résulte du processus biologique faisant appel à plusieurs organismes en particulier :

- les insectes, les acariens, les crustacés, les myriapodes et les termites qui facilitent l'humification sans la provoquer en divisant les résidus végétaux (Odou-toudonou, 1988) ;
- les nématodes, les annélides et les arthropodes participent à la transformation de la matière organique en réduisant la dimension des constituants organiques (Richards, 1974) ;
- les bactéries, les champignons et les protozoaires interviennent directement dans le processus de l'humification (Dommergues et Mangenot, 1970) ;
- les matières végétales enfouies dans le sol et les racines des plantes vont se décomposer sous l'action de ces microorganismes pour donner des éléments minéraux solubles et de l'humus en suivant deux processus (Duchaufour, 1977) ;
- la minéralisation (dite primaire), où ces matières sont décomposées par les microorganismes pour donner des composés minéraux comme le gaz carbonique, l'ammoniaque, les nitrates, etc.
- l'humification, où les composés qui échappent à la minéralisation sont réorganisés en substances de nature colloïdale appelées humus (au sens strict). Ces composés humiques, qui contractent des liens plus ou moins étroits avec les composés minéraux (argiles et oxydes), se minéralisent à leur tour (minéralisation secondaire), mais de manière beaucoup plus lente que les matières fraîches (1,5 à 2 % en climat tempéré et 4 à 12 % en climat tropical par an). En ce qui concerne l'évolution des différents constituants de la matière organique, la lignine sous l'action des champignons, se décompose très lentement pour donner des composés phénoliques plus ou moins polymérisés selon les conditions du milieu ; la cellulose sous l'action des bactéries se transforme en produits solubles ou gazeux également selon les conditions du milieu ; les protéines sous l'action des champignons en milieu peu acide et aéré se transforment respectivement en polypeptides, en acides aminés puis en amides. En milieu acide, la décomposition des matières azotées est incomplète et ne dépasse jamais le stade ammoniac.

Plusieurs facteurs affectent le processus d'accumulation de l'humus dans les sols. Il s'agit du climat (température et humidité), du sol (pH et nature) et de la végétation (Donahue, 1990).

1.1.4. Rôle de la matière organique et des engrais minéraux dans le sol

La matière organique joue un rôle déterminant dans le fonctionnement du sol. Elle a un rôle crucial dans la fertilité des sols tropicaux (Mustin, 1987). Elle est le paramètre fondamental de la fertilité chimique à court et à long terme. A court terme, elle est la source quasi exclusive du flux de nutriments qui conditionne le développement des plantes ; à long terme, elle constitue une véritable réserve d'éléments nutritifs pour les plantes (Nacro, 1997). En raison de la faible teneur en argile de nos sols et de la capacité d'échange limitée, la matière organique contrôle fortement les caractéristiques de la fertilité physique (structure, porosité, etc.) et biologique (activité des microorganismes) du sol (Feller *et al.*, 1991). Selon Bacyé (1993), l'incorporation des matières organiques permet une augmentation du stock de carbone organique, azote minéral et azote total des sols. Il conclut que l'amélioration et le maintien de la fertilité chimique et biologique des sols passent par un relèvement de leur niveau organique.

Les matières organiques contribuent aussi à l'amélioration des propriétés biologiques, physiques, chimiques et hydriques du sol. Elles se caractérisent par leur rapport C/N qui traduit le degré de richesse ou de disponibilité azotée et la teneur en lignine (Bado, 1994 ; Falisse *et al.*, 1994; Pousset, 2000). 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). Tout comme les engrais minéraux, les matières organiques fournissent beaucoup d'éléments nutritifs à la plante (Pieri, 1989 ; FAO, 1997). Les matières organiques, en particulier l'humus, augmentent la capacité du sol à fixer les éléments minéraux, ils améliorent la capacité de rétention de l'eau (hydrophile à l'état humide) et accroissent la capacité d'échange cationique.

Par ailleurs, en plus de la matière organique les engrais minéraux constituent des apports externes d'éléments minéraux contribuant ainsi à améliorer leur disponibilité dans le sol et à la nutrition minérale des plantes. Au Burkina Faso, de nombreuses études ont été menées depuis l'introduction des engrais chimiques, dans le but d'adapter l'utilisation des engrais aux exigences des cultures en éléments nutritifs au regard de la valeur nutritive des sols. Les travaux de Pichot *et al.* (1981) et de Bado *et al.* (1991) sur l'efficacité des engrais minéraux ont montré que l'azote et le phosphore sont les deux premiers facteurs limitant les rendements, mais pour une courte période de trois (3) ans maximum. En effet, l'engrais minéral est indisponible mais n'est pas recommandé pour une production à long terme. Il peut à long

terme entraîner une acidification des sols d'où des risques de toxicité aluminique (Sedogo, 1993 ; Bado, 1994 ; Hien, 2004). Les fumures organo-minérales permettent l'obtention du meilleur bilan azoté, un bilan positif en calcium et une stabilité ou une augmentation du taux de matière organique et de la capacité d'échange cationique (CEC) (Kambiré, 1994). La fumure organo-minérale est celle qui donne un bilan positif, avec un excédant d'azote de 5,76 kg.ha⁻¹.an⁻¹ restant théoriquement dans le sol (Sedogo, 1993).

En conclusion, 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. Cela est dû à des interactions positives et complémentaires entre ces deux types de fertilisants (Vanlauwe *et al.*, 2001).

1.2. Généralités sur le compost

1.2.1. Définition du compost

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost (Kaiser, 1981 ; de Bertoldi *et al.*, 1983 ; Leclerc, 2001).

Pour Gobat *et al.* (2003), le compostage est un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui met en œuvre des processus biologiques aérobies de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes.

Les matières premières du compostage sont composées principalement de restes de végétaux et relativement peu de restes d'animaux ou de substance minérales (Fuchs *et al.*, 2001). Les composts qui en résultent ont une double nature : amendement, car ils renferment des composés organiques précurseurs de l'humus et de l'engrais, par leurs teneurs en éléments fertilisants (Gobat *et al.*, 2003). Ils permettent donc de combler le déficit des sols surexploités et d'en améliorer la fertilité à long terme.

1.2.2. Effets du compost sur les propriétés physiques du sol

Le changement des propriétés chimiques et microbiologiques du sol suite à l'amendement du compost est souvent associé à un changement direct ou indirect des propriétés physiques. Ainsi, l'augmentation de la matière organique, l'élévation du pH, du contenu en calcium, ainsi que de la biomasse microbienne et de son activité, s'accompagnent aussi de la formation

d'agrégats plus gros et plus stables (Gerzabek *et al.*, 1995). L'application de compost a généralement des effets positifs sur la stabilité des agrégats à court-terme. Cependant, ces effets se maintiennent lors d'applications répétées. L'utilisation de composts mûrs améliore nettement la stabilité des agrégats comparée à celle de "composts jeunes" (Hartmann, 2003 ; Petersen et Stöppler-Zimmer, 1999). La stabilité des agrégats et l'amélioration de la structure du sol qui y sont liées conduisent à une augmentation de la porosité et une diminution de la densité (Asche *et al.*, 1994 ; Giusquiani *et al.*, 1995 ; Asche, 1997 ; Timmermann *et al.*, 1999 ; Hartmann, 2003). On observe également une augmentation de la capacité de rétention de l'eau. Cet effet semble cependant n'apparaître qu'après un certain temps (Avnimelech *et al.*, 1993 ; Kahle et Belau, 1998 ; Hartmann, 2003), comme le montrent les recherches d'Evanylo et Sherony (2002) qui n'ont trouvé aucune augmentation de la capacité de rétention de l'eau après 2 ans d'application de compost. L'augmentation de la stabilité des agrégats et de la porosité favorise aussi l'infiltration de l'eau dans le sol. Comme les autres effets positifs concernant les caractéristiques physiques des sols, cet effet sur l'infiltration de l'eau n'est observable qu'après quelques années d'utilisation de composts (Gilley et Eghball, 1998 ; Evanylo et Sherony, 2002 ; Landes *et al.*, 2002).

De manière générale, l'augmentation de la stabilité des agrégats et l'amélioration de l'infiltration de l'eau ont également des conséquences positives quant à la problématique de l'érosion des sols. Ainsi, différentes études ont pu montrer une augmentation de la résistance tant à l'érosion hydrique (Bazzoffi *et al.*, 1998 ; Landes *et al.*, 2002) qu'éolienne (Hartmann, 2003).

1.2.3. Effets du compost sur les propriétés chimiques du sol

Dans la plupart des essais, l'application de compost en agriculture ou en horticulture a conduit à une augmentation de la teneur en carbone organique (Corg) et de l'azote total (Ntot) dans l'horizon supérieur du sol. Cette augmentation est observable pendant de nombreuses décennies, jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. A l'exception des analyses effectuées par Hartmann (2003), l'accroissement de Corg était associé avec celui de Ntot (Werner *et al.*, 1988 ; Diez et Krauss, 1997 ; Landes *et al.*, 2002). Une augmentation significative de la teneur en Corg suite à des apports réguliers de composts s'observe à court terme (Landes *et al.*, 2002 ; Hartmann, 2003). L'épandage d'une grande quantité de compost en une seule fois (100 t de matière fraîche.ha⁻¹) peut également contribuer à une augmentation durable de la teneur en Corg et Ntot dans le sol (Kahle et Belau, 1998). Le niveau d'équilibre des teneurs en Corg et

Ntot est essentiellement influencé par des facteurs locaux (sol, climat), les modes d'exploitation (travail du sol, assolement), la quantité de compost épandue, ainsi que par la qualité de ce dernier. En général, une étroite corrélation a été observée entre la quantité de matières organiques apportée par le compost et l'accroissement de la teneur en Corg dans le sol (Giusquiani *et al.*, 1995). Cependant, la même quantité de matières organiques augmente de manière plus conséquente la teneur en Corg dans un sol lourd et riche en argile que dans un sol léger et sableux (Gutser et Ebertseder, 2002). La composition et les caractéristiques de la matière organique du compost diffèrent de celles du sol dans presque tous ses paramètres (Joergensen *et al.*, 1996 ; Leifeld *et al.*, 2002). Le processus de compostage conduit à la formation de composés organiques stables et à la mise en place de matières humiques. Joergensen *et al.* (1996) ont comparé, lors d'un essai d'incubation, les paramètres chimiques du sol et ceux du compost. Ils ont constaté que les composts de déchets de jardin et de cuisine avaient des valeurs nettement plus élevées que le sol pour tous les paramètres tels que Corg, Ntot, le pH, les carbonates, la capacité d'échange cationique (CEC), la salinité, les chlorures et les sulfates. Leifeld *et al.* (2002) ont aussi trouvé des valeurs nettement plus élevées pour les paramètres Corg, Ntot, C/N, lignine et pH de composts de jardin (compost de déchets verts) de maturités différentes que le sol. Dans un essai en plein champ, Gigliotti *et al.* (1999) ont observé que les acides fulviques de composts de jardins avaient une grande proportion de groupes aliphatiques et carboxyliques et une faible proportion de polysaccharides par rapport au sol. Il est donc facile de comprendre que l'application de substances organiques stabilisées a pour conséquence une modification de la composition de la matière organique du sol, et que celle-ci dépendra de la qualité du compost et du lieu de l'application. Leifeld *et al.* (2002) ont pu montrer que des apports de composts n'ont pas seulement conduit à une augmentation de Corg et Norg, mais également de la teneur en carbones aromatiques et en lignine.

La plupart des composts ont un pH relativement élevé (8). De ce fait, l'apport de compost conduit généralement à une élévation du pH des sols cultivés (Diez et Krauss, 1997 ; Kahle et Belau, 1998 ; Landes *et al.*, 2002). Cependant, cela ne se produit pas dans tous les cas (Avnimelech *et al.*, 1993 et 1994 ; Kremer, 2001). De manière générale, l'application de composts conduit à une stabilisation du pH du sol (Stamatiadis *et al.*, 1999). L'argile et les composés humiques constituent les parties essentielles qui déterminent la capacité d'adsorption d'un sol. Le complexe argilo-humique permet de stocker les éléments nutritifs et de les fournir aux plantes. La capacité d'échange cationique (CEC) est l'un des paramètres les plus importants caractérisant la capacité d'adsorption d'un sol. En général, la CEC de la matière organique décomposée d'un sol est nettement plus élevée que celle des minéraux

argileux (Sheffer et Schachtschabel, 1989). L'enrichissement en matière organique peut donc contribuer à une élévation significative de la CEC, surtout dans les sols légers à faible capacité d'adsorption. Ainsi, Hartl et Erhart (2002), tout comme Giusquiani *et al.* (1995) ont pu mettre en évidence une corrélation significative entre la quantité de compost appliquée et la teneur en Corg et la CEC dans le sol. On observe également une augmentation du taux de saturation basique (Ca, K, Na) en rapport avec l'élévation du pH et de la CEC (Kahle et Belau, 1998).

1.2.4. Effets du compost sur les propriétés biologiques du sol

A la fin du processus de décomposition (compostage), les composts mûrs renferment une communauté importante et diversifiée de microorganismes mésophiles (Gobat *et al.*, 2003). Ainsi, l'addition de compost dans un sol ne signifie pas seulement un apport de matières humifères contenant des composés minéraux, mais aussi un apport de microorganismes vivants. D'autre part, le compost peut également représenter une source nutritionnelle pour les organismes indigènes du sol (Dick et McCoy, 1993). Ainsi, l'apport de compost peut influencer l'activité microbienne aussi bien dans le sol (Perucci, 1990) qu'au niveau de la microflore (Pera *et al.*, 1983). D'un autre côté, la biomasse microbienne, fraction organique active, représente une source importante d'approvisionnement nutritionnel pour la plante (Smith et Paul, 1990), et l'augmentation de la biomasse microbienne par l'amendement de compost peut améliorer à long terme la fertilité du sol. Non seulement la quantité de microorganismes telluriques peut être influencée par un apport de compost, mais Perucci (1990) a également observé une augmentation significative de diverses activités enzymatiques (uréases, protéases, phosphatases, sulfatases). En améliorant le potentiel biologique et enzymatique des sols, le compost crée des conditions optimales pour la croissance des plantes, grâce à la minéralisation, l'humification et la disponibilité des éléments nutritifs.

Au vu des effets du compost sur le sol et le développement des plantes, des actions sont mises en œuvre avant ou après le processus de compostage pour l'amélioration de la qualité du compost à travers l'inoculation d'organismes biologiques tels que les champignons pour accélérer ou achever la dégradation des substrats en décomposition afin de rendre disponible les éléments nutritifs à la plante à court terme.

1.3. Généralités sur les champignons du genre *Trichoderma*

1.3.1. Historique et taxonomie

La division du genre *Trichoderma* en espèces a fait l'objet de nombreuses études et de beaucoup de polémiques. Dans le règne vivant les limites de «l'espèce» reposent sur la possibilité de croisement entre individus. Or, les champignons anamorphes du genre *Trichoderma*, en tant que tels, n'ont pas de reproduction sexuée connue, et ce caractère ne peut donc être utilisé pour leur systématique. On se base alors sur les aspects culturels et la morphologie des appareils sporogènes (Roquebert, 1996) ainsi que sur le matériel génétique en s'appuyant sur des techniques de biologie moléculaire (Gams et Bissett, 1998). Si on répertorie succinctement les dates les plus importantes qui ont marqué la systématique des *Trichoderma sp*, on se rend vite compte que leur positionnement taxonomique n'a pas été aisé.

En 1794, Persoon décrit le premier *Trichoderma sp.* et établit 4 espèces.

En 1821, Fries classa les *Trichoderma sp.* parmi les *Gastéromycètes*.

En 1860, débutent les controverses sur cette systématique, Tulasne contredit Fries puisqu'il ne trouve pas de forme téléomorphes (sexuées) à ce genre.

En 1871, devant le nombre croissant d'espèces rencontrées, Harz insiste sur l'importance des caractères morphologiques sous microscopie optique (surtout les phialides).

En 1916, Waksman décrit ce qu'il trouve être 6 nouvelles souches de *Trichoderma sp.* en utilisant des critères macroscopiques, différents de ceux préconisés par Harz.

En 1926, Abbot identifie 4 espèces de *Trichoderma* selon des critères une fois de plus différents des précédents. Jusqu'en 1939 le raisonnement d'Abbot reste en vigueur, mais aussi à côté d'identifications totalement indépendantes.

En 1939, Bisby tente de mettre de l'ordre dans ces systèmes en proposant une unique espèce : *Trichoderma viridae*. Durant 24 ans, toute espèce fongique à spores vertes était considérée comme étant un *Trichoderma sp.*

En 1963, les travaux de Gutter et Monbasher mettent fin au système précédent, en démontrant la variabilité des espèces de *Trichoderma* en fonction des conditions environnementales.

En 1969, conscient de toute cette polémique, Rifai propose une classification utilisable avec le concept d'« espèces agrégées », basée sur les caractères microscopiques. Une espèce agrégée est une entité composée de groupement d'espèces très similaires, difficiles à séparer. Neuf espèces agrégées sont créées (*T. aureoviridae* Rifai, *T. hamatum* Bain, *T. harzianum* Rifai, *T. koningii* Oudemans, *T. longibrachiatum* Rifai, *T. piluliferum*

Webster et Rifai, *T. polysporum* Rifai, *T. pseudokoningii* Rifai et *T. viridae* Gray), tout en tolérant une certaine variabilité au sein de chaque espèce agrégée (Rifai, 1969). En comparaison avec les nombreux précédents, ce système semble le plus facilement utilisable pour la communauté scientifique, d'autant plus qu'il a été amélioré par Bissett (1984, 1991).

En 1991, Bissett propose la notion de « section » pour faire face au nombre croissant d'espèces nouvelles de *Trichoderma* sp. sans rapport avec les espèces agrégées. Se basant sur la morphologie des conidiospores et des phialides, il regroupe les espèces agrégées dans 5 sections (*Trichoderma*, *Pachybasium*, *Hypocrea*, *Longibrachiatum* et *Saturnisporum*) (Leuchtmann *et al.*, 1996). Le système taxonomique de Bissett est aussi appuyé, entre autres, par des approches de biologie moléculaire, pour répondre au positionnement de nouvelles espèces de *Trichoderma* identifiées (dont les formes téléomorphes sont souvent non identifiées) et reste le plus fiable actuellement (Lillard-Roberts, 2004). Les espèces de *Trichoderma* ainsi que leurs rares formes téléomorphes observées sont classées parmi les *Ascomycètes*. Plus de 200 espèces du genre *Hypocrea* ont été identifiées, mais sont rarement cultivables, et de ce fait peu décrites en termes modernes (Gams and Bissett, 1998). Sous certaines conditions, méconnues, les *Hypocrea* sp. (téléomorphes) se transforment définitivement en *Trichoderma* sp. (anamorphes). On pense alors que l'évolution a conduit à la disparition du mode sexué pour l'établissement d'un genre à reproduction exclusivement asexuée (Roquebert, 1996). La biologie moléculaire nous révèle aujourd'hui que des espèces de *Trichoderma* génétiquement différentes, présentent des similitudes morphologiques spectaculaires et leurs caractéristiques se chevauchent ce qui, d'une part explique la longue controverse connue par ce genre auparavant et d'une autre part, montre que les seuls critères morphologiques ne suffisent plus pour une classification incontestable et rigoureuse des formes anamorphes de *Trichoderma* sp. (Cournut, 1984 ; Sugiyama, 1987). La taxonomie moderne des champignons a aboli l'embranchement des Deuteromycotina, auquel appartenait le genre *Trichoderma*. La position taxonomique actuelle des *Trichoderma* sp. se présente comme suit (Bissett, 2004):

- **Embranchement** : *Amastigomycota* et/ou *Eumycètes*
- **Sous embranchement** : *Ascomycotina*
- **Classe** : *Sordariomycètes*
- **Ordre** : *Hypocréales*
- **Famille** : *Hypocraceae*
- **Genre** : *Trichoderma*

1.3.2. Morphologie

L'aspect macroscopique des *Trichoderma sp.* est apprécié à partir de cultures sur géloses nutritives appropriées, réparties en boîtes de Pétri. Les colonies fongiques peuvent être légèrement floconneuses ou bien compactées en touffes. Entre ces deux extrêmes, existent des aspects intermédiaires. Les colonies sont colorées en fonction de la pigmentation des phialides. Cinq jours après sa germination, la conidie donne naissance à un mycélium d'abord blanc et stérile en forme de cercle. Deux jours plus tard, une couleur verte est visible sur les parties aériennes du mycélium, correspondant à la conidiogénèse. D'autres cercles concentriques réguliers se forment par la suite, et entre le 16^{ème} et le 20^{ème} jour un feutrage épais se superpose à la culture. Au microscope optique on peut observer un mycélium composé d'hyphes jaunes, septés, ramifiés à parois lisses. Les conidiospores ont une forme conique ou pyramidale. Très ramifiés, ils portent des phialides en forme de flasques ou de quilles. A leur tour, les phialides portent les spores (phialospores ou conidies) (Cournut, 1984 ; Landreau, 2001, Kubicek *et al.*, 2003). La figure 1 ci-après montre un aspect morphologique de conidiophore de *trichoderma.sp.*

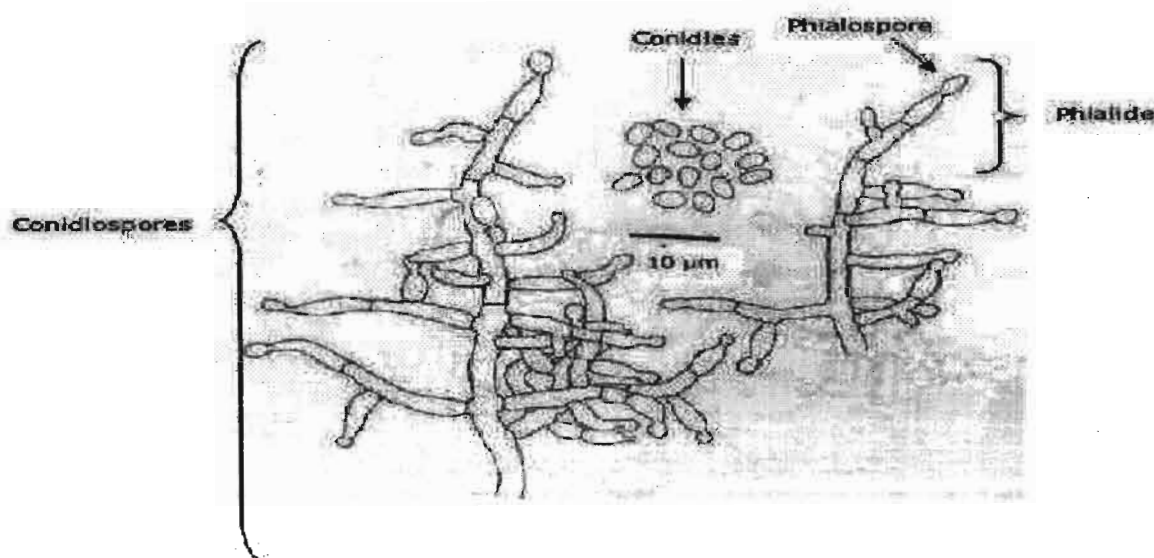


Figure 1 : Aspect morphologique d'un conidiospore de *Trichoderma sp.* (Samuels *et al.*, 1994).

1.3.3. Ecologie

Grâce à sa grande capacité d'adaptation aux différentes conditions climatiques, le genre *Trichoderma* est très répandu dans la nature, aussi bien en milieu terrestre que marin (Roquebert, 1996; Esposito et Silva, 1998).

En effet, les *Trichoderma sp.* sont remarquables pour leur croissance rapide et leur capacité à utiliser différents substrats et sont, par conséquent, l'élément majeur dans la mycoflore terrestre et marine (Widden et Abitrol, 1980 ; Kubicek *et al.*, 2003). Les *Trichoderma sp.* terrestres se développent quasiment dans tous les sols (forestiers ou cultivés) et sur les végétaux en décomposition. Ils contaminent fréquemment le compost produit, mais sont rarement parasites de plantes vivantes (Roquebert, 1996 ; Esposito et Silva, 1998). Dans la mer, les *Trichoderma sp.* sont marins facultatifs (Kohlmeyer *et al.*, 1979 ; Liberra et Lindequist, 1995). D'après l'étude de Shaumann (1993) sur la microfonge marine des profondeurs de la Mer du Nord et de l'Atlantique Nord, les *Trichoderma sp.* y ont été identifiés à tous les niveaux. Ils ont été également isolés à partir d'algues marines (*Rhodophyta sp.* et *Phaeophyta sp.*) prélevées de la côte atlantique et méditerranéenne ibériques (Genilloud *et al.*, 1994) ainsi qu'à partir de moules au Canada (Brewer *et al.*, 1993). Leur présence dans le tractus digestif et la surface de plusieurs espèces de « concombre des mers » (*Holothurioidea sp.* et *Echinodermata sp.*) reste insolite, puisque ces derniers biosynthétisent des glycosides triterpéniques aux fortes activités antifongiques et cytotoxiques (Pivkin, 2000). L'inventaire des souches fongiques marines du littoral atlantique effectué par Sallenave-Namont *et al.* (2000) montre que le genre *Trichoderma* est l'un des 3 prédominants. Il vient à la 3^{ème} position après les genres *Penicillium* et *Aspergillus* en importance numérique. La présence des *Trichoderma sp.* en milieu terrestre (6% du nombre total des espèces fongiques) semble comparable à celle en milieu marin (6,4% à 10,4%) (Landreau, 2001). L'abondance des *Trichoderma sp.* dans les écosystèmes est due à leur capacité à produire diverses substances bioactives et des enzymes. Ils sont de ce fait un maillon important dans les chaînes biologiques (Widden et Abitrol, 1980 ; Vining, 1990; Kubicek *et al.*, 2003).

1.3.4. Production de métabolites

La mise en évidence de la production de métabolites secondaires par les *Trichoderma sp.* a été rapportée pour la première fois par Weidling en 1934, concernant un antifongique (Papavizas, 1985). Depuis lors, les études successives ont démontré que ces micromycètes étaient virtuoses dans la biosynthèse de métabolites secondaires (Vizscaino *et al.*, 2005), processus régi par des interactions biochimiques extrêmement complexes et parfaitement coordonnées (Vining, 1990). La littérature cite que les métabolites importants de *Trichoderma sp.* sont principalement des enzymes et des molécules bioactives.

- Production des enzymes : La production des enzymes est variable d'une souche à

l'autre principalement les xylanases ou les cellulases (Sandgren *et al.*, 2005), exploités dans divers domaines biotechnologiques (Kubicek *et al.*, 2003).

- Production de substances bioactives : Métabolites volatils : 6 pentyl α pyrone, éthylène, cyanure d'hydrogène, alcools, aldéhydes (Vizcaino *et al.*, 2005). Métabolites non volatils diffusibles : poly-acétates (antifongiques, antibiotiques), trichotécènes (variété de toxines actives sur microorganismes et mammifères) notamment les trichodermines. Métabolites polypeptidiques ciclosporines immunosuppresseurs anti-inflammatoires et les peptaïbols qui sont généralement assimilés à des mycotoxines peptidiques (Landreau, 2001).

1.3.5. *Trichoderma* et l'homme

Les *Trichoderma sp.* peuvent être responsables d'infections chez les patients immunodéprimés, bien que l'Homme ne leur soit qu'un hôte accessoire (Roquebert, 1996). Sous certaines conditions, ils peuvent provoquer chez lui des infections opportunistes fatales (Munoz *et al.*, 1997). Il n'a été constaté que le développement des *Trichoderma sp.* chez l'Homme est souvent le fait de déficits immunitaires spontanés ou post-thérapeutiques, qui en favorise la survenue et en augmente la gravité (Ragnaud *et al.*, 1984). Ces infections invasives ou localisées peuvent engendrer des :

- mycétones (tumeurs inflammatoires) pulmonaires ;
- péritonites (Tanis *et al.*, 1995) ;
- hématomes péri-hépatiques ;
- abcès cérébraux (Seguin *et al.*, 1995) ;
- kératites fongiques ;
- septicémie ;
- infections épidermiques et subcutanées localisées, infections pré-trachéales, du muscle cardiaque et de l'estomac (Gutiérrez *et al.*, 1995).

Le traitement de ces mycoses est souvent chirurgical suivi de thérapie antifongique, mais les cas de décès sont fréquents (Munoz *et al.*, 1997).

1.4. *Trichoderma harzianum*

1.4.1. Description morphologique.

La croissance apicale du mycélium sur malt agar est de $1,25 \text{ mm.h}^{-1}$. Sur ce même milieu de culture les colonies de *T. harzianum* sont initialement blanches et deviennent vertes aux endroits où il y a des conidies. Sur boîte de Pétri inoculée, au centre on observe au cours de la

culture de *T. harzianum*, la formation de zones concentriques vertes typiques. De même en tubes de Ryan sur différents milieux de cultures il y a formation de zones frontales vertes induites par l'exposition de la culture à la lumière du jour (Roussos, 1985). Ce phénomène de formation de zones concentriques de sporulation a déjà été décrit pour *T. viride* (Ellison *et al.*, 1981). En milieu liquide agité il n'y a pas de palets. Le mycélium est mucilagineux. Aussi bien pour les cultures liquides qu'en cultures de surface, il y a production d'un arôme typique (odeur noix de coco). Plusieurs auteurs ont noté cette caractéristique en l'appelant arôme «coconut» (Rifai, 1969 ; Okouda *et al.*, 1982).

D'après les travaux de Roussos (1985), les conidiophores ne sont pas très élaborés, ils sont disposés en touffes sous forme pyramidale. Les phialides sont incurvés, leur taille est variable suivant leur disposition (5-8 X 3-4 μm). Les conidies sont globuleuses, légèrement ovoïdes (3 μm X 2.6 μm) pigmentées en vert. Leur surface est lisse ; d'ailleurs une des caractéristiques essentielles pour cette espèce de *Trichoderma viride* pour laquelle la surface des conidiospores est légèrement rugueuse. Les figures 2 et 3 présentent respectivement la couleur d'une colonie et la morphologie des conidiospores de *Trichoderma harzianum*



Figure 2 : Couleur d'une colonie de *T. harzianum*. (Source: www.sciencedaily.com)

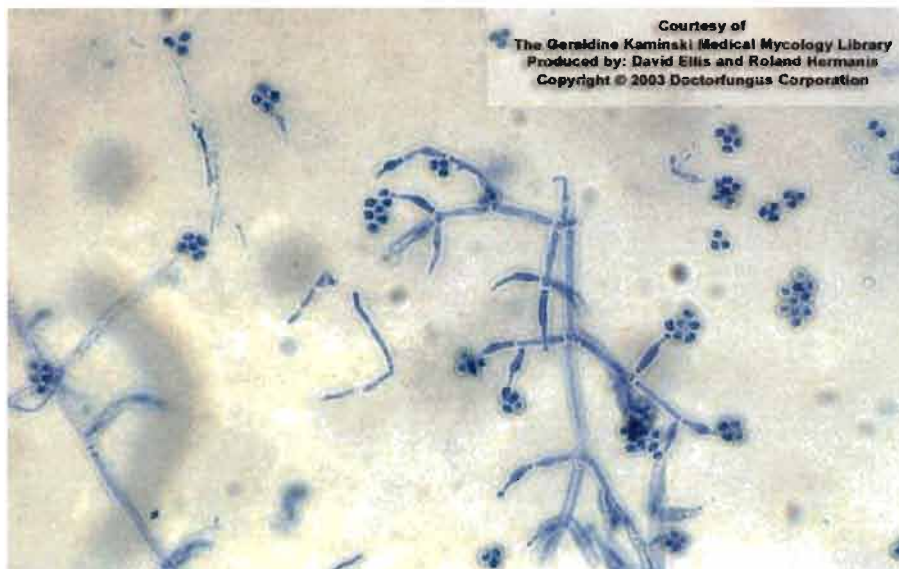


Figure 3 : Morphologie des conidiospores de *Trichoderma harzianum*.
(Source www.doctorfungus.org)

1.4.2. Biologie.

Trichoderma harzianum est un champignon filamenteux mésophile tolérant à de basses températures (voisines de 10°C) mais leur mycélium est très sensible à des températures supérieures à 30°C. Pour la production de cellulases, la température optimum de la fermentation dépend principalement de la souche utilisée. Elle est de 29-30°C pour *Trichoderma harzianum* (Roussos et Raimbault, 1982 ; Deschamps *et al.*, 1985). Ce microorganisme tolère des valeurs de pH compris entre 2 et 9, et des salinités élevées (0 à 80 g.l⁻¹ de NaCl) pour sa croissance.

Le métabolisme de croissance de *T.harzianum* conduit à une alcalinisation du milieu, ce qui n'est pas toujours le cas en particulier avec *Aspergillus niger* qui conduit à une acidification du milieu (Raimbault, 1980). Les principales étapes physiologiques de la croissance de *T. harzianum* sont la germination des conidiospores, la multiplication végétative du mycélium, la sporulation ou conidiogénèse et la dormance.

1.4.3. Source de carbone et d'azote

Le carbone est le bloc de construction des microorganismes. Lorsque dans un milieu de culture, la source de carbone est présente à une concentration moyenne (40 g.l⁻¹) et que dans ce milieu la concentration d'azote totale disponible est très faible, la conidiogénèse est inhibée pendant plusieurs semaines. L'azote disponible serait d'abord utilisé pour la croissance exclusive du mycélium et la conidiogénèse interviendrait très tardivement avec utilisation

d'une grande partie de l'azote assimilé par le mycélium (Roussos, 1985). Lorsque l'azote est fourni en quantité pléthorique dans le milieu de culture, la conidiogenèse n'est pas inhibée, par contre l'indice de sporulation maximum est atteint très rapidement. Les meilleurs indices de sporulation sont obtenus avec un rapport C/N proche de 14 (Roussos, 1985). Les sels minéraux en général (NaCl, KCl, et CaCl₂) à des concentrations élevées (20-70 g.l⁻¹) inhibent la sporulation, alors que pour des concentrations plus faibles on observe l'effet opposé. La quantité d'inoculum qui permet la germination de la totalité des conidiospores et pour laquelle la production de cellulases est optimale, se situe aux environs de 3.10⁷ spores.g⁻¹ de substrat poids sec (Roussos et Raimbault, 1982). Il y a une chute importante de la production de cellulases lorsque la concentration en sels minéraux diminue. La faible concentration en sels minéraux du milieu de culture affecte principalement la croissance active du mycélium (Roussos, 1985).

1.4.4. Dégradation de la matière organique

Parmi les moisissures cellulolytiques (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Myrothecium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Sporotrichum*), les espèces du genre *Trichoderma* sont les plus fréquemment utilisées pour l'hydrolyse de la cellulose et des produits lignocellulosiques (Ghose *et al.*, 1979). Au cours de leur croissance ces *Trichoderma* produisent des quantités importantes d'exoenzymes capables d'hydrolyser complètement la cellulose en glucose (Sternberg, 1976 ; Sternberg et Dorvals, 1978). Avec un système enzymatique complexe composé de trois enzymes :

- 1- Endo -1,4-β -D – glucan 4-glucanohydrolase, (E.C.3.2.1.4);
- 2- Exo -1,4-β -D – glucan cellobiohydrolase, (E.C.3.2.1.91);
- 3- β- glucosidase (E.C.3.2.1.21).

En effet, Les matières lignocellulosiques sont composées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. La cellulose peut être dégradée en hexoses simples (D-glucose) par hydrolyse acide (Man, 1979), ou par l'activité de cellulases. De nombreux champignons ont été utilisés pour la production de cellulases. Parmi ces espèces, le genre *Trichoderma spp.* était retrouvé (Szakacs et Tengerdy, 1996¹; Vintilă *et al.*, 2008 ; Folakemi *et al.*, 2008).

Aussi, les espèces du genre *Trichoderma spp.* ont la capacité de produire des cellulases complètes telles que la cellobiohydrolase, l'endoglucanase et des enzymes β-glucosidase (Shanmugaiah *et al.*, 2009). *T. harzianum* secrète un complexe d'enzymes cellulolytiques bien équilibrées, qui hydrolysent efficacement les substrats celluloses en

glucose monomère (Amouri et Gargouri, 2006). En raison de son activité cellulolytique élevée, *T. harzianum* a des potentialités considérables dans les applications de l'hydrolyse de la biomasse (Castro *et al.*, 2010). Cependant, les cellulases de *T. harzianum* sont moins étudiées et n'ont pas encore été caractérisées biophysiquement et biochimiquement (Colussi *et al.*, 2011). Aussi, les champignons du genre *Trichoderma spp.* sont largement connus pour leur capacité à dégrader les substrats lignocellulosiques, car ils sont filamenteux et ont la possibilité de produire des spores prolifiques qui peuvent envahir rapidement les substrats (Szakacs et Tengerdy, 1996). Diverses études ont montré que le compostage de matières ligno-cellulosiques pré-inoculées avec *Trichoderma spp.* peut réduire le temps de biodégradation (Rubeena *et al.*, 2013 ; Sun *et al.*, 2010). C'est ainsi que *T. harzianum* a été utilisé comme inoculum pour améliorer le compostage de la paille de riz et des mauvaises herbes. Ruiz-Duenas et Martínez (2009) ont déclaré que le genre *Trichoderma spp.* contribuait à la décomposition totale du carbone par leurs systèmes enzymatiques lignocellulolytiques.

Toutefois, différentes mesures ont été testées afin d'augmenter le potentiel suppressif du compost et/ou d'en garantir une qualité stable. Chung *et al.*, (1988) ainsi que Hoitink et Grebus (1994), considéraient que les antagonistes, exceptés *Bacillus spp.*, étaient tués pendant la phase chaude de compostage et devaient recoloniser le compost pendant la phase de maturation. Afin de garantir la qualité des composts produits, ces auteurs ont procédé avec succès à l'inoculation ciblée d'antagonistes sélectionnés comme *Trichoderma harzianum*, après la phase chaude (Nelson *et al.*, 1983 ; Chung et Hoitink, 1990). Cette inoculation peut toutefois s'avérer difficile si la microflore indigène du compost est trop concurrentielle (Chung et Hoitink, 1990).

1.4.5. *Trichoderma harzianum* et amélioration de la nutrition des plantes

Les champignons du genre *Trichoderma* et les rhizobactéries du genre *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Enterobacter* et d'autres ont développé de multiples mécanismes permettant d'améliorer la résistance aux maladies, la croissance et la productivité des plantes (Shoresh *et al.*, 2010). La production de certains acides organiques tels que l'acide citrique et gluconique et/ou fumarique par *trichoderma harzianum* réduit le pH du sol entraînant la solubilisation des phosphates (Vinale *et al.*, 2008). De même, ce métabolisme des Oligo-éléments et des minéraux tels que Fe, Mn et Mg ont un rôle important pour la croissance des plantes. Aussi, la sécrétion de métabolites diffusibles tels que les enzymes exogènes et les

sidrophores conduit à la solubilisation et l'augmentation de certains nutriments entraînant l'absorption des éléments nutritifs par la plante (Jalal *et al.*, 1987 ; Chet, 2001). Plusieurs travaux ont montré l'amélioration de la croissance des végétaux par certaines espèces du genre *Trichoderma spp* (Hoyos-Carvajal *et al.*, 2009 ; Harman *et al.*, 2004; Lo et Lin 2002 ; Babeendean *et al.*, 2000., Baker, 1988). D'autres travaux ont mis en évidence l'aptitude des espèces de *Trichoderma* à stimuler la croissance des plantes indépendamment de tout agent pathogène (Chang *et al.*, 1986 ; Kleifeld et Chet, 1992 ; Paulitz *et al.*, 1990 ; Windham *et al.*, 1986). Récemment, plusieurs tentatives ont été entreprises pour appliquer *Trichoderma spp.* comme bio-stimulants dans la mise en place des semis, l'amélioration de la croissance de la plante et l'induction de la défense des plantes (Shanmugaiah *et al.*, 2009 ; Celar et Valic, 2005). Des espèces de *Trichoderma* ont développé plusieurs mécanismes qui se traduisent par l'amélioration de la germination des graines, la vigueur des semis, l'amélioration de l'absorption des nutriments ainsi que l'amélioration du niveau de défense de la plante contre le stress biotique et/ou abiotique (Zheng et Shetty, 2000 ; Hoyos-Carvajal *et al.*, 2009 ; Mastouri *et al.*, 2010). Il devient de plus en plus clair que certaines souches ont également une influence directe considérable sur le développement des plantes et la productivité des cultures (Harman, 2006). L'amélioration de la croissance des plantes par des souches de *Trichoderma harzianum* telles que (T22, T39 et A6) ont été observées et cela pourrait être due à la production de métabolites secondaires qui peuvent agir comme auxine ou à une augmentation de la solubilité des substances nutritives végétales insolubles par *Trichoderma* (Vinale *et al.*, 2008 ; Kaya *et al.*, 2009). Les auxines sont des régulateurs importants impliqués dans de nombreux processus de croissance et de comportement, y compris celles activées par *Trichoderma spp.* (Contreras *et al.*, 2009). Hexon *et al.*, (2009) ont montré que *Trichoderma spp.* sécrète l'acide indole-3-acétique (AAI), qui favorise la formation de racines latérales. L'interaction de *Trichoderma* avec les racines végétales entraîne l'activation contrôlée de processus métaboliques glucidiques ainsi que l'amélioration de la photosynthèse (Duncan *et al.*, 2006).

Par ailleurs, la germination des graines de concombre a été améliorée par l'application de *Trichoderma*, qui peut être due à une sécrétion hormonale comme les gibbérélines, les auxines (Akhtar *et al.*, 2007). La teneur en protéines des pousses et des racines des plants de maïs traités avec *T. harzianum* T22 ont été augmentés, ces résultats peuvent être attribués à l'absorption des nitrates et d'autres ions (Harman, 2000).

De nombreuses études ont démontré que l'application de *Trichoderma* augmente la teneur en protéines du grain du pois chiche (Alfano *et al.*, 2007). *Trichoderma spp.* améliore

la fixation biologique de l'azote dans le sol et l'absorption d'azote par les plantes (Dordas et Sioulas, 2008).

1.4.6. Pouvoir antagoniste

Les champignons du genre *Trichoderma* spp. sont connus pour leur capacité dans le contrôle de plusieurs agents pathogènes des plantes (Verma *et al.*, 2007 ; Howell, 2003).

En outre, *Trichoderma* spp. induit une résistance localisée et systématique à plusieurs agents pathogènes des plantes ainsi que le contrôle indirect des racines par l'infestation des agents pathogènes (Harman *et al.*, 2004 ; Hoitink *et al.*, 2006 ; Honson et Howell, 2004 ; Yedida *et al.*, 1999). *Trichoderma harzianum* est un champignon filamenteux du sol connu comme un agent de lutte biologique efficace pour plusieurs champignons pathogènes des plantes (Viterbo *et al.*, 2001)

L'effet antagoniste de *Trichoderma harzianum* se manifeste par un enroulement des hyphes autour des filaments du champignon pathogène (Elad *et al.*, 1983), s'en suit une lyse grâce à la production d'enzymes, telles que la β -1,3-glucanase et la chitinase (De la Cruz *et al.*, 1995).

Pour ce faire, trois modes d'action sont principalement utilisés par *Trichoderma* dans la lutte contre les agents pathogènes (Whipps, 1992 ; Papavizas, 1985). A savoir:

- la compétition ;
- le mycoparasitisme ;
- l'antibiose.

Ces modes d'action peuvent par contre être utilisés en synergie. Les modes compétition et antibiose étant les plus communs. Ces modes d'action permettent à *Trichoderma* de s'installer prioritairement avant l'agent pathogène, ce qui facilite sa survie et sa conservation dans le milieu.

- Compétition et mycoparasitisme

La compétition permet à *Trichoderma* d'utiliser les ressources du milieu aux dépens de l'agent pathogène tandis que le parasitisme fait référence à l'altération ou à la destruction des hyphes de l'agent pathogène par des mécanismes de prédation et/ou de lyses enzymatiques (chitinasés et β (1,3) glucanases) (Harman et Björkman, 1998).

- Antibiose

L'antibiose se manifeste par un arrêt de la croissance mycélienne des deux champignons.

Ghisalberti et Sivasithamparam (1991) ont décrit une batterie de substances antibiotiques produites par *Trichoderma* qui serait responsable de leurs propriétés antagonistes. Bélanger *et al.*, (1995) ont démontré, dans l'interaction entre *Trichoderma* et *Botrytis*, que l'antibiose et le parasitisme par des enzymes pouvaient être impliqués simultanément ou séquentiellement.

En effet, *T. harzianum* assure une protection des feuilles de riz contre l'helminthosporiose due à *Helminthosporium oryzae* (Mouria *et al.*, 2003). L'enrobage des semences de tomate par *T. harzianum* réduit de 80% la fusariose des racines et du collet (Sivan et Harman, 1991). *T. harzianum* peut stimuler les mécanismes de défense des plantes traitées et augmenter ainsi leur protection (Hibar *et al.*, 2005 ; Meyer *et al.*, 1998 ; Windham *et al.*, 1986 ; Yedidia *et al.*, 1999).

1.5. Généralités sur le niébé et le maïs

1.5.1. Le niébé

1.5.1.1. Description, origine et classification

Le niébé est une herbacée annuelle à port semi érigé, érigé ou rampant (Garnotel, 2006). Les racines sont de type pivotant et présentent des nodules renfermant des bactéries fixatrices d'azote. Les tiges sont cylindriques, légèrement striées, cannelées ou volubiles et généralement glabres. Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., est originaire d'Afrique où il a été domestiqué au Néolithique (Vanderborght et Baudoin, 2001).

Le niébé qui est mentionné dès l'antiquité a été décrit par Linné à partir d'une forme cultivée provenant des Antilles sous le nom de *Dolichos unguiculata* qui deviendra *Vigna unguiculata* (Pasquet et Baudoin, 1997). L'Afrique méridionale et orientale constitue le centre primaire de diversité pour les formes sauvages. Selon les résultats des études publiés à ce jour, l'espèce a été domestiquée soit dans ces régions, soit en Afrique de l'Ouest plus précisément dans les zones de savane du Burkina Faso, du Ghana, du Togo, du Bénin, du Niger, du Nigeria et du Cameroun où l'on trouve la plus grande diversité génétique de niébé cultivé (Madamba *et al.*, 2006).

1.5.1.2. Ecologie

Le niébé exprime une remarquable adaptation à la sécheresse et aux températures élevées (Faloula, 2006). Il est cultivé normalement en hautes et basses altitudes, en région équatoriale et subtropicale (Ehlers et Hall, 1997). Une température d'au moins 8 à 11°C est nécessaire à tous les stades de développement, mais la température optimale se situe autour de

28°C (Craufurd *et al.*, 1997). Le niébé s'adapte à une large gamme de texture du sol, allant du sable à l'argile. Il tolère faiblement la salinité et préfère un sol à pH légèrement acide de 5 à 6,5 (Franco et Munns, 1982). La remarquable particularité du niébé par rapport à plusieurs cultures est qu'il est capable de croître et de produire sur des sols assez pauvres en nutriments. En effet, le niébé possède la double symbiose bactérienne et mycorhizienne (Ollivier *et al.*, 1982) qui améliore sa nutrition minérale et hydrique, lui permettant ainsi de s'adapter aux conditions difficiles.

1.5.1.3. Importance de la production du niébé

Le niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] est l'une des principales légumineuses mondiales. Sa production annuelle mondiale varie entre 3,1 et 3,3 millions de tonnes de graines sèches (FAOSTAT, 2004) ; la superficie annuelle cultivée dans le monde s'élève à plus de 12,5 millions d'ha, dont 9,8 millions sont réalisés en Afrique de l'Ouest, qui est la plus grande zone de production et de consommation du niébé dans le monde (Singh *et al.*, 1997).

Le Burkina Faso est classé quatrième pays africain producteur de niébé après le Nigeria, le Niger, et le Mali (Nkouannessi, 2005). Capable de supporter la sécheresse, le niébé constitue un élément important pour la sécurité et l'équilibre alimentaire en Afrique de l'Ouest car il est riche en protéines, ce qui en fait un bon complément des céréales. Grâce à sa teneur en protéine relativement élevée allant de 29 à 43 % (Nielsen *et al.*, 1997), le niébé a une valeur nutritionnelle supérieure aux céréales comme le mil, le maïs et le sorgho. Source de protéines moins coûteuse que celle d'origine animale (viande, poisson, œuf), le niébé peut contribuer de manière significative à la solution du problème de déficit protéique souvent constaté en Afrique. De plus, les fanes de niébé sont un aliment apprécié des animaux domestiques (Bambara *et al.*, 2008). Le niébé occupe de ce fait une place essentielle dans les agro-systèmes d'Afrique de l'Ouest en général et du Burkina Faso en particulier. L'évolution au Burkina de la superficie et de la production du niébé sur ces dix dernières années est illustrée par la **figure 4** ci après :

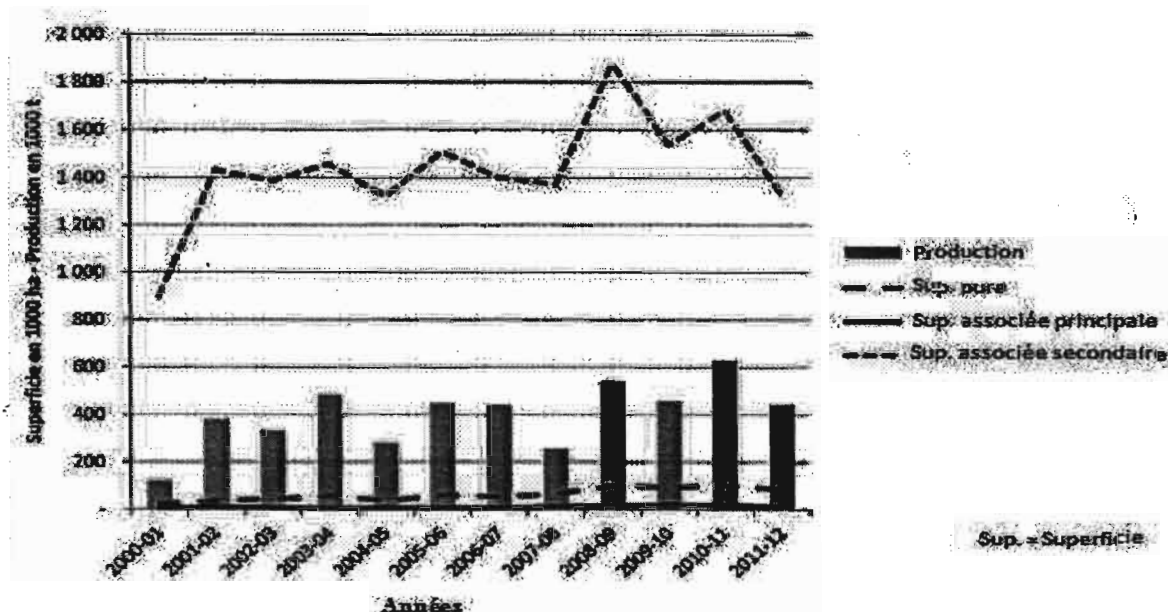


Figure 4 : Évolution de la superficie et de la production de niébé au Burkina Faso.

(Source: EPA pour la période 2000-2012 in Dabat *et al.*, 2012).

La production du niébé a trois principaux débouchés : la consommation en milieu rural (autoconsommation, échanges monétaires), la consommation urbaine (dans les centres urbains secondaires et dans la capitale) et les exportations vers les pays de l'Afrique de l'Ouest (Dabat *et al.*, 2012). Le revenu issu de la vente du niébé représentait 2,1 % du revenu monétaire agricole en 2010, qui lui-même (agriculture) représentait près de 31 % du PIB global du Burkina Faso. Cette contribution varie selon les régions et se situe à un niveau élevé, entre 7 et 10 %, pour les régions du Centre-Nord, du Plateau Central, du Nord et du Sahel (Dabat *et al.*, 2012). La culture de niébé, contrairement à d'autres cultures de rente, se rencontre sur une grande partie du territoire national avec une plus grande concentration des productions dans les régions du Centre-Nord, du Nord, de la Boucle du Mouhoun et du Centre-Ouest (Dabat *et al.*, 2012).

1.5.2. Le Maïs

1.5.2.1. Description, origine et classification

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante tropicale herbacée annuelle et monocotylédone de la grande famille des *Poaceae*. Il est classé dans la tribu des *Maydae* ou *Tripsaceae* et se répartit en huit genres. Cinq de ces genres (*Coix*, *Schleracine*, *Polytoca*, *Chionacme* et *Trilobachnie*) proviennent de l'Asie et les trois autres (*Euchlaena*, *Tripsacum*, *Zea*) sont originaires d'Amérique (Leconte, 1950). Le genre *Zea* est le plus important avec *Zea mays* la

forme cultivée. Le plant de maïs se compose d'une tige unique de gros diamètre pleine et formée de plusieurs entrenœuds d'une vingtaine de centimètres séparés par autant de nœuds. Le système racinaire comprend un très grand nombre de racines fasciculées qui peut atteindre une profondeur supérieure à un mètre (Ouattara, 2011).

L'origine du maïs reste toujours mal connue, mais la plupart des auteurs (Wilkie, 1979 ; Gay, 1984) attestent que le maïs est originaire d'Amérique centrale, car de nombreux échantillons témoignent de sa présence au Mexique à plus de 5000 ans avant Jésus-Christ.

1.5.2.2.Ecologie

Selon Ellis *et al.* (1992), la température optimum pour le développement du maïs tropical dans les basses terres et moyennes altitudes est d'environ 30 à 34°C. Elle est d'environ 21°C pour les hautes terres. Le maïs est classé parmi les plantes de jours courts. La photopériode peut affecter le temps nécessaire à la floraison du maïs. La floraison est retardée par des photopériodes supérieures à 12,5 heures (Kiniry *et al.*, 1983). La plupart des cultivars tropicaux sont photosensibles, mais le degré de sensibilité varie énormément (de 1 à 12 jours de retard). La culture du maïs peut se faire durant toute la saison à condition que l'eau soit disponible. En pratique, le maïs est normalement cultivé entre 750 à 1750 mm d'eau par an (Norman *et al.*, 1995). Le maïs peut pousser sur tous les sols, pourvu que ces sols soient sains et profonds. Il préfère les sols assez riches en éléments fins, humifères, frais et à capacité de rétention élevée. Il pousse sans inconvénient dans un sol de pH 5,5 à 7. Cependant, selon Sanchez *et al.* (1997) sa croissance sur la plupart des sols acides tropicaux est limitée par la toxicité de l'aluminium.

1.5.2.3.Importance de la production du maïs

Le maïs constitue la troisième culture la plus importante dans le monde, après le riz et le blé tendre, avec une production annuelle de plus de 700 millions de tonnes (FAO, 2007). Les pays en développement représentent 64% des zones maïsicoles mondiales et, 43% de la production mondiale de cette céréale (CIMMYT, 2000). En termes d'utilisation, le maïs est une denrée de consommation de base pour une partie importante de la population mondiale. Il constitue un complément alimentaire pour des millions d'autres personnes et est également réservé à l'usage industriel et aux aliments pour animaux (dans l'ensemble, 21% de la production mondiale totale de maïs est consommée en tant qu'aliment) (PRESAO, 2012).

Au Burkina Faso Le maïs occupe la troisième place parmi les céréales cultivées tant au niveau des superficies, de la production qu'au niveau de la consommation après le sorgho et le mil (DGPER, 2010). En effet, de 1985 à nos jours, les quantités de maïs produites sont passées de 9 % à plus de 17 % de la production céréalière totale du pays. Cette croissance est due à l'extension des surfaces et à la hausse des rendements. La production actuelle dépasse un million de tonnes avec des rendements moyens de 3,7 tonnes en culture irriguée et 1.5 tonne en culture pluviale (MAFAP/SPAAA, 2012).

Le maïs est produit principalement en pluvial avec un développement récent du maïs irrigué. Au niveau national, les résultats de la première phase du RGA ont montré que le maïs est pratiqué par 78,6 % des ménages agricoles en saison pluvieuse. Les principales régions à forte proportion de ménages agricoles producteurs de cette spéculation en saison pluvieuse sont le Sud-ouest (93,3 %), l'Est (91,7 %), le Centre Nord (89,2 %) et les cascades (89,2 %).

Par contre, les deux (2) régions à faibles proportions de ménages agricoles produisant le maïs en saison pluvieuse sont celles du Centre et du Sahel avec respectivement 42,9 % et 61,0 % (DGPER, 2010). En termes de production, les principales régions productrices sont les Hauts-Bassins, la Boucle du Mouhoun, les Cascades avec respectivement 346 500 tonnes, 199 000 tonnes, 123 188 tonnes sur une production totale de 1 200 000 tonnes (DGPER, 2010). La production de la saison sèche occupe seulement 0,8 % des ménages agricoles au niveau national. Les principales régions productrices de maïs irrigué sont la Boucle du Mouhoun, les Hauts-Bassins et les Cascades avec respectivement 7 482 tonnes, 2 488 tonnes et 1 894 sur une production totale de 13 430 tonnes (DGPER, 2010).

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

2.1.1. Site de l'étude.

L'essai en vases de végétation a été mené sous serre dans l'enceinte du centre IRD sis à Ouagadougou (12°22'11'' N, 1°30'46''W avec une altitude de 303 m). Les dimensions de la serre sont les suivantes (longueur 9,90 m et largeur 5,80 m). la serre a une structure métallique recouverte de grillage à mailles très fines et relativement soumise aux mêmes conditions climatiques que la ville de Ouagadougou dont le climat est de type soudano-sahélien avec une saison de pluies qui va de mai à septembre. La serre protège les cultures contre les attaques externes. La **photo 1** ci-dessous présente une vue de la serre utilisée.



Photo 1 : Serre de l'essai (IRD).

2.1.2. 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. Un transect a été tracé dans une parcelle ayant un état de surface sensiblement homogène. 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 libre puis tamisés à 2 mm. Des fractions de terre (aliquotes) ont été prélevées puis broyées à 0,5 mm pour les différents dosages.

2.1.3. 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) ont été utilisés. La quantité de terre fine ayant servi pour le remplissage des pots est de 1 kg. Les caractéristiques analytiques de ce sol déterminées au laboratoire de l'IRD et au BUNASOLS sont présentées dans le **Tableau 1** ci-dessous.

Tableau I : Caractéristiques analytiques du sol utilisé.

M.O	C	N	C/N	Pt	pHeau	pHkCl	C.E	Sable	limon	Argile
%		ppm						$\mu\text{s.cm}^{-1}$	%	
0,45	0,26	0,02	11	1281,96	6,9	6,1	183	56,15	20,49	23,36

2.1.4. Matériel biologique

Dans le cadre de cette étude, le matériel fongique utilisé a été le *Trichoderma harzianum* (Rifai) et du matériel végétal constitué de deux cultures (Niébé et Maïs) dont les caractéristiques sont les suivantes :

➤ *Trichoderma harzianum*

Des spores provenant de la souche I-1236 dont le nom commercial est (Solsain pour la forme liquide ou Fertisol pour la forme solide) ont été utilisés. Nous avons utilisé la forme solide venue du laboratoire de microbiologie de BIOPHITECH à Montpellier (France). Le substrat ayant servi pour l'inoculation avait une concentration de 10^9 unités formant des colonies (UFC) par gramme de substrat sec soit 10^9 spores viables par gramme de substrat sec.

➤ le Niébé

La variété K VX 414-22-2 a été utilisée. Le cycle semis maturité de cette variété est de 70 jours. C'est une variété semi-rampante non photosensible dont les graines sont de couleurs blanchâtre. Le rendement potentiel en grains est de 1500-2000 kg. ha⁻¹ ha en station et 800 kg .ha⁻¹ en milieu paysan.

➤ Le maïs :

La variété de maïs utilisée était le Massongo. Son cycle semis maturité est de 105-110 jours. Les graines sont de couleur blanche avec un rendement potentiel grains de 5 t.ha⁻¹ en station et 3-3,5 t.ha⁻¹ en milieu paysan.

2.1.5. Fumure organique et minérale

La fumure organique utilisée dans cette étude était du compost produit à partir d'un mélange de feuilles de *Khaya senegalensis*, de résidus de cuisine et de résidus de panse des animaux au Centre de Traitement et de Valorisation des Déchets Urbains (CTVD) de Ouagadougou. Les caractéristiques analytiques du compost déterminées au BUNASOLS sont représentées dans le **tableau II** ci-dessous.

Tableau II : Caractéristiques analytiques du compost utilisé

C	N	C/N	Pt	K
_____ % _____			_____ g.kg ⁻¹ _____	
37,97	3,09	12	1,84	14,38

Le NPK (14-23-14) comme fumure minérale à raison de 50 kg. ha⁻¹ (Micro-dose) soit 1,6 g par pot pour chaque culture.

2.2.Méthodes

2.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé dans cette étude était un essai avec randomisation totale. Six (6) traitements répétés six (6) fois pour chaque culture ont été mis en place soit 36 pots par culture. Les traitements sont les suivants :

- **T** : témoin absolu (sans apport de compost, de NPK ni de spores de *Trichoderma harzianum*) ;
- **C** : compost (apport de 62,5 g par pot soit 3 t.ha⁻¹) ;
- **C+T** : Compost+ *Trichoderma harzianum* (62,5 g de compost et apport de 60 g de substrat sec par pot dont la concentration est de 10⁹ spores viables par gramme de substrat) ;
- **NPK** : NPK (14-23-14) (apport de 1.6 g par pot soit la dose de 50 kg.ha⁻¹) ;
- **C+NPK** : compost+NPK (14-23-14) (apport de 62,5 g de compost et 1.6 g de NPK par pot) ;
- **C+NPK+T** : compost+ NPK (14-23-14) + *Trichoderma harzianum* (apport de 62,5 g de compost, 1,6 g de NPK et 60 g de substrat sec par pot).

2.2.2. Condition de culture

Une quantité de 1 kg de terre fine a été mise dans chaque pot. Le compost et les spores de *Trichoderma harzianum* ont été ajoutés ou pas selon le traitement. Les pots ont été humectés à la capacité au champ (150 ml). Et le semis est intervenu 24 heures après cette humectation à raison de 5 graines de maïs et de niébé préalablement mis en pré-germination pendant 24 heures également.

Le démariage a eu lieu 7 jours après semis (JAS). Les pots ont été arrosés en fonction des besoins en eau des plants et par observation visuelle de l'état hydrique du sol, à raison de 100 à 150 ml par pot. La fréquence moyenne est d'environ un arrosage par jour. L'expérimentation a été conduite du 25/04/2013 au 04/07/2013 soit dix (10) semaines de culture. Puis est intervenu le dépotage. La **photo 2** ci-dessous présente une vue d'ensemble de l'essai après trois semaines de culture.



Photo 2 : Vue d'ensemble de l'essai trois semaines après semis.

2.2.3. Paramètres mesurés

2.2.3.1. Chez le niébé

Les paramètres mesurés étaient:

- **La hauteur des plants.**

Ce paramètre a été mesuré toutes les semaines après le démariage à l'aide d'une règle graduée à partir du collet jusqu'à la dernière gaine foliaire de la tige principale.

- **Le nombre et le poids des nodules**

Le nombre de nodule a été obtenu après dépotage puis comptage par plant. A la suite du comptage les nodules sont détachés des racines puis emballés. Ils sont ensuite mis à l'étuve réglée à 70°C pendant 48 heures au laboratoire pour la détermination du poids sec. Ce dernier est mesuré à l'aide d'une balance de précision 0.1 gramme (marque Mettler AE 200), balance ayant servi également d'instrument de mesure pour les autres paramètres.

- **La biomasse aérienne et racinaire**

La biomasse aérienne a été collectée à la suite du dépotage par leur séparation avec les racines à l'aide d'une paire de ciseaux puis emballée dans du papier aluminium. Les racines ont été minutieusement collectées (après tamisage systématique et minutieux du contenu des pots afin d'éviter toute perte de sol), lavées abondamment à l'eau de robinet avant d'être emballées. Les biomasses ont été séchées à l'étuve réglée à 70°C pendant 48 heures pour la détermination du poids de la matière sèche. Une aliquote de cette biomasse a été broyée à 0,5 mm à l'aide d'un broyeur de marque Panasonic MX-J1G pour les différents dosages.

2.2.3.2. Chez le maïs

- **La hauteur et le diamètre des plants**

La hauteur des plants de maïs a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. Le diamètre a été obtenu par la mesure de la circonférence au collet après 10 semaines de croissance à l'aide d'un mètre-ruban puis calculé selon la formule suivante :

$$C = \pi \times D$$

C : circonférence en cm ;

D : Diamètre en cm et $\pi = 3,14$.

- **La biomasse aérienne et racinaire.**

Elles ont été mesurées dans les mêmes conditions que le niébé après dépotage, tamisage, lavage des racines puis séparation avec les parties aériennes. Les échantillons ont été séchés à l'étuve réglée à 70°C pendant 48 heures pour mesurer la biomasse sèche. La partie aérienne a été conservée, broyée puis tamisée à 0,5 mm pour les analyses.

2.2.4. Analyses des paramètres chimiques du sol et du matériel végétal

Les paramètres suivants du sol et de la biomasse aérienne du maïs et du niébé ont été analysés : carbone, azote, phosphore total et assimilable.

2.2.4.1. Analyse du sol

Les échantillons de sol analysés ont été prélevés dans les pots après 10 semaines de culture. Les analyses ont été faites sur douze échantillons composites (six par culture) obtenus après un mélange d'échantillons élémentaires de chaque traitement.

Détermination du carbone organique

La teneur en carbone organique a été déterminée selon la méthode de Walkley et Black (1934) qui consiste en une oxydation à froid du carbone du sol avec du bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 1N en présence de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. L'excès du bichromate est dosé par du sel de Mohr $Fe(SO_4)_2(NH_4)_2$ en présence d'indicateur coloré. La teneur en matière organique a été déterminée à partir de la teneur en carbone organique, en utilisant le coefficient multiplicateur de 1,724.

Détermination de l'azote total

La minéralisation de l'azote a été faite selon la méthode de Kjeldhal reprise par Novozansky *et al.* (1983). Il s'agit d'une attaque acide H_2SO_4 concentré en présence de catalyseur au sélénium et de l'eau oxygénée (H_2O_2), ce qui convertit l'azote organique en sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$. L'ion ammonium (NH_4^+) ainsi formé est dosé par colorimétrie automatique au SKALAR, dont le principe est fondé sur la réaction modifiée de Berthelot : l'ammonium est chloré en chlorure d'ammonium qui réagit avec le salicylate pour former le 5-amminosalicilate. Après oxydation par couplage, il se forme un complexe vert dont l'absorbance est mesurée à 660 nm.

Détermination du phosphore assimilable

La méthode a été utilisée par BRAY I (Bray et Kurtz, 1945) pour le dosage du phosphore assimilable. L'extraction a été effectuée à l'aide d'une solution mixte de fluorure d'ammonium (NH_4F) 0,03 M et d'acide chlorhydrique (HCl) 0,025 M. Cette méthode permet l'extraction du phosphore acido-soluble et une grande partie du phosphore lié au calcium.

2.2.4.2. Analyse du matériel végétal

Les échantillons de plantes de maïs et de niébé préalablement séchés ont été broyés pour les analyses chimiques. Ces analyses ont concerné :

Azote total

Déterminé par la méthode de Kjeldahl qui consiste en une digestion humide en présence d' l'acide sulfurique (H_2SO_4) et de sélénium. Après digestion, le substrat est recueilli dans des fioles de 200 ml. Un volume de 10 ml du substrat est prélevé pour être distillé. La distillation est faite par entraînement de la vapeur en présence de 20 ml de NaOH 1 N. Le distillat est recueilli dans un erlenmeyer qui contient 20 ml d'acide borique et 4 gouttes d'indicateur à base de rouge de méthyle. Le titrage est fait avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,1 N.

Phosphore total

Déterminé par la méthode de Duval consistant à la calcination de l'échantillon à 550°C pendant une nuit. La cendre est recueillie dans une solution de HNO_3 1N, l'ensemble est légèrement chauffé puis filtré dans une fiole. Le filtrat est coloré avec le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 660 nm.

2.2.5. Estimation du maintien des spores dans les pots

Le maintien des spores de *Trichoderma harzianum* dans les substrats enrichis est l'une des conditions pour assurer la dégradation et l'amélioration de la nutrition minérale des plantes. Pour cela nous avons prélevé des échantillons de sol dans les pots ayant reçu les spores du champignon après 10 semaines de cultures. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire de l'Association pour la Recherche et la Formation en Agro-écologie (ARFA) à Fada. L'estimation des spores a été faite en utilisant 5 g de sol et 40 ml d'eau distillée, la solution ainsi obtenue est agitée pour permettre le détachement des spores. Le filtrat obtenu est dilué 10 fois, et à l'aide d'un microscope optique (marque Nachet 300 191) le comptage des spores a été effectué à travers une cellule de Malassez. Le nombre de spores par gramme de sol est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Nombre de spores/g de sol} = [(\text{Nbre spores/cellule de Malassez}) \times V_t] / (P_s \times D \times V_c)$$

Avec : V_t : Volume totale de la solution ;

P_s : poids total du sol ;

D : facteur de dilution ; V_c : Volume de la cellule de Malassez.

2.2.6. Analyses statistiques

Le logiciel Microsoft Office Excel 2007 a été utilisé pour la saisie des données ainsi qu'à la réalisation des graphiques. L'analyse de variance (ANOVA) et Les corrélations linéaires de Pearson ($P \leq 5 \%$) ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT PRO 7.5.2. Version 2012. Le test de Student-Newman Keuls a servi à séparer les moyennes lorsque l'ANOVA révèle des différences significatives au seuil de 5 %.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Effet de l'enrichissement du compost sur les paramètres agronomiques du niébé et du maïs

3.1.1. Résultats

3.1.1.1. 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 III** ci-dessous. Ces résultats obtenus à partir de la mesure de croissance montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements selon l'analyse de variance au seuil de 5 %. Cependant, la hauteur des plants de niébé ayant reçu le traitement C+NPK est de 30 % plus élevée suivie de celui de C+NPK+T avec 29 % puis de 14 % pour NPK par rapport au témoin. Celui-ci ayant la plus faible hauteur moyenne de plants. Les résultats de la production en biomasse aérienne montrent que C+NPK et C+NPK+T forment un groupe homogène statistiquement différent du groupe constitué par T et C ; les traitements C+T et NPK étant des groupes intermédiaires. Les meilleures productions de biomasse aérienne sont obtenus avec les traitements C+NPK et C+NPK+T qui sont respectivement de 52,5 % et 52,3 % par rapport au témoin. Le traitement C+T a entraîné la plus faible production avec une baisse de 21 % par rapport au témoin. Quant à la biomasse racinaire l'analyse de variance (ANOVA) et le test de student-Newman-Keuls au seuil de 5 % nous révèlent deux groupes statistiquement différents (**tableau III**) formés par (C+NPK+T et NPK) et (C et C+T) ; T et C+NPK forment des groupes intermédiaires. Le NPK seul a produit la plus forte biomasse racinaire suivi de C+NPK+T (0,81±0,15 et 0,78±0,1).

Tableau III: 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+T	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+T	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% (ANQVA, Test de Student-Newman-Keuls)

H : hauteur ; B.A : biomasse aérienne ; B.R : Biomasse racinaire.

3.1.1.2. Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé

La figure 5 présente la corrélation linéaire entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé. Cette corrélation est significativement positive avec $r = 0,68$.

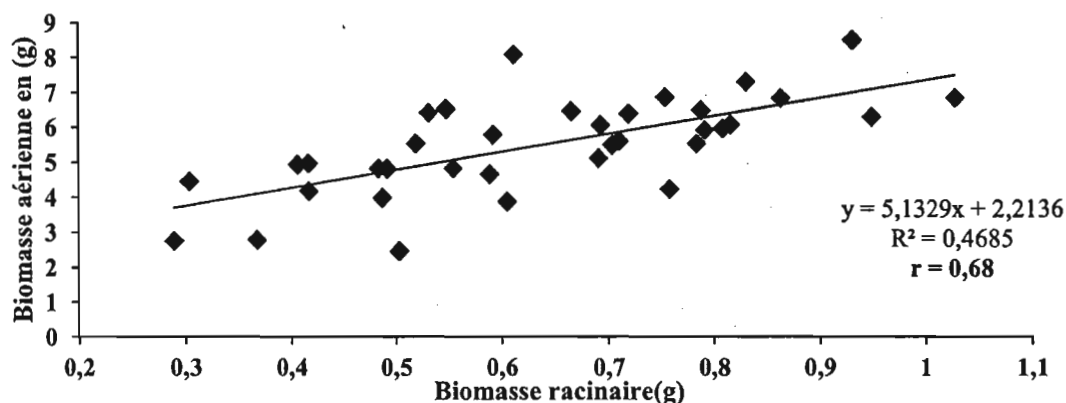


Figure 5 : Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé.

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

Le tableau IV montre les différents paramètres agronomiques mesurés sur le maïs.

Les résultats obtenus par la mesure de la croissance indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements selon l'analyse de la variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %. Néanmoins, Les traitements, C+NPK, C+NPK+T 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+T et 45 % pour NPK. La plus faible hauteur moyenne a été enregistrée au niveau du témoin.

Les résultats de la mesure du diamètre moyen, de la biomasse aérienne et racinaire 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+T a favorisé la vigueur des plants par rapport au témoin avec une variation 79 % du diamètre moyen et les traitements C+NPK et NPK ont entraîné chacun une variation de 76 %. La production en biomasse aérienne montre que le traitement C+NPK+T a eu plus d'influence sur la production de biomasse aérienne avec $20,6 \pm 2,09$ g. La plus faible biomasse a été obtenue avec le témoin soit $4,64 \pm 0,54$ g. Quant à la biomasse racinaire, le traitement C+NPK

a permis d’avoir la forte biomasse avec $4,87\pm0,87$ g. La biomasse racinaire la plus faible est enregistrée au niveau du traitement C+T soit $1,65\pm0,28$ g.

Tableau IV: 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+T	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+T	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% (ANOVA, Test de Student-Newman-Keuls).

H : hauteur ; D : diamètre ; B.A : biomasse aérienne ; B.R : Biomasse racinaire.

3.1.1.4. Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du maïs

La figure 6, nous présente la corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du maïs. Cette corrélation est significativement positive avec $r = 0,81$.

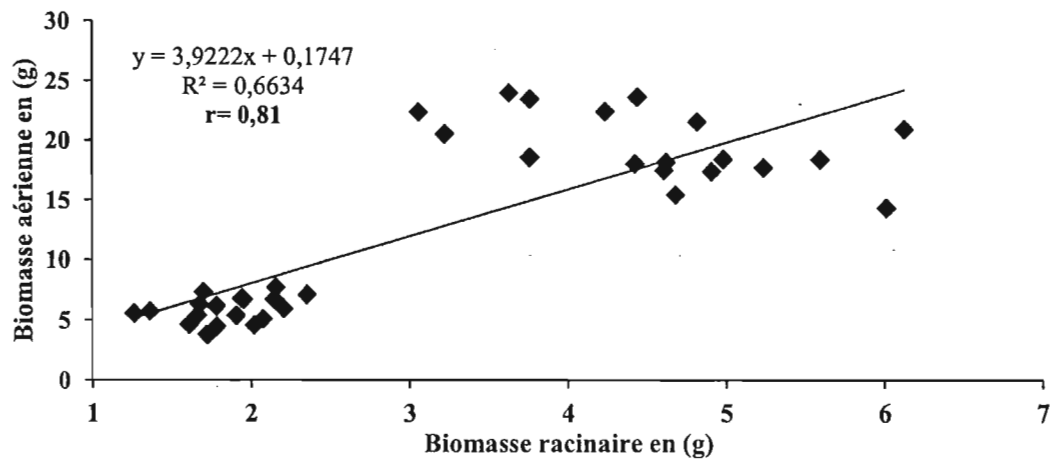


Figure 6: Corrélation entre la biomasse aérienne et racinaire du maïs

3.1.2. Discussion

Les résultats d'analyse 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+T) 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, de nombreux auteurs (Pieri, 1989 ; FAO, 1997) ont rapporté que 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 (Hoyos-Carvajal *et al.*, 2009 ; Harman *et al.*, 2004 ; Lo et Lin, 2002 ; Babeendean *et al.*, 2000 ; Baker, 1988) aient démontré l'effet de *Trichoderma hazianum* sur la croissance et le rendement en biomasse des plantes, notre étude a révélé que les traitements associant le champignon *Trichoderma hazianum* 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 *Trichoderma hazianum* (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 radicules et le développement des plants de maïs.

Nous avons obtenus des corrélations significatives et positives entre la biomasse aérienne et racinaire du niébé et du maïs ce qui explique qu'il existe une relation étroite entre le développement des racines et la partie aérienne des plants de niébé et de maïs dans notre cas.

3.2. Effet de l'enrichissement sur la nodulation du niébé

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Effet sur le nombre et le poids sec des nodules

Le tableau V nous présente les relations entre le nombre et le poids sec des nodules du niébé. Au vu de ces résultats, nous pouvons avancer qu'il y a deux groupes statistiquement différents et un groupe intermédiaire selon l'analyse de la variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 % 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+T et enfin des traitements NPK, C+NPK et C+NPK+T. Les proportions d'augmentation sont de 396 % pour le témoin, 286,3 % pour C+T, 232 % pour C, 54 % pour C+NPK+T et 21 % pour NPK par rapport à C+NPK, traitement ayant donné le plus faible nombre de nodule. Les résultats rapportés au poids des nodules montrent que les traitements T, C et C+T 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 $0,09 \pm 0,058$ g suivi du Compost seul avec $0,07 \pm 0,041$ g. Le plus faible poids a été enregistré par le traitement intégrant NPK seul.

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

Traitements	N. Nod	P. Nod(g)
T	$35,5 \pm 1,87a$	$0,09 \pm 0,058a$
C	$23,83 \pm 2,13ab$	$0,07 \pm 0,041a$
C+T	$27,66 \pm 2,16ab$	$0,06 \pm 0,037a$
NPK	$8,66 \pm 1,86b$	$0,008 \pm 0,01b$
C+NPK	$7,16 \pm 1,47b$	$0,013 \pm 0,01b$
C+NPK+T	$11 \pm 1,54b$	$0,041 \pm 0,03ab$

NB : les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (ANOVA, Test de Student-Newman-Keuls).

N.Nod : nombre de nodules ; P.Nod : poids des nodules.

3.2.1.2. Corrélation entre le poids et le nombre de nodules et entre le nombre de nodules et les biomasses du niébé.

Les figures 7a, 7b et 7c montrent les tests de corrélation linéaire de Pearson au seuil de 5%. La figure 7a montre une corrélation significativement positive entre le poids et le nombre de nodule. ($r = 0,70$). L'analyse des figures 7b et 7c indique des corrélations significativement négatives entre la biomasse aérienne et racinaire et le nombre de nodule qui sont respectivement ($r = -0,61$ et $r = -0,51$).

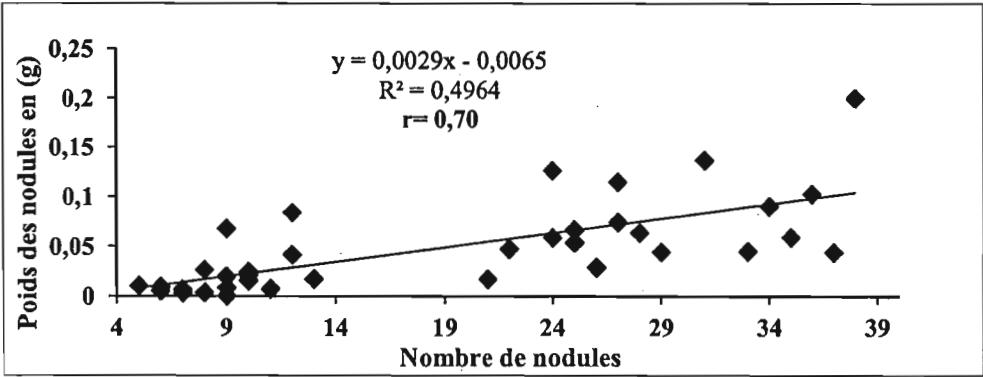


Figure 7a : Corrélation entre le poids et le nombre de nodules du niébé.

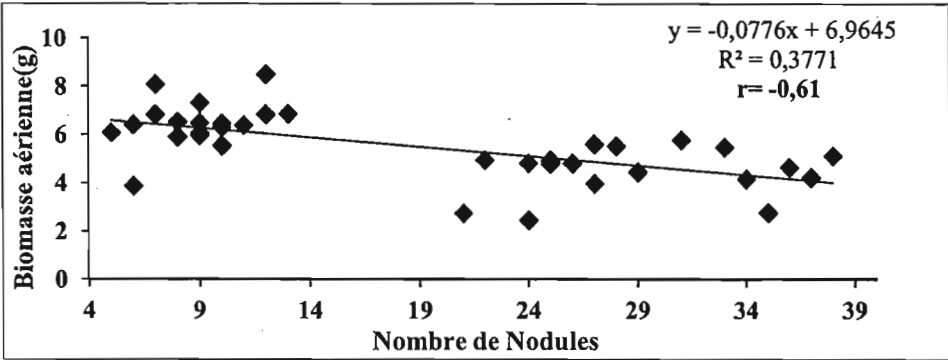


Figure 7b : Corrélation entre la biomasse aérienne et le nombre de nodules du niébé.

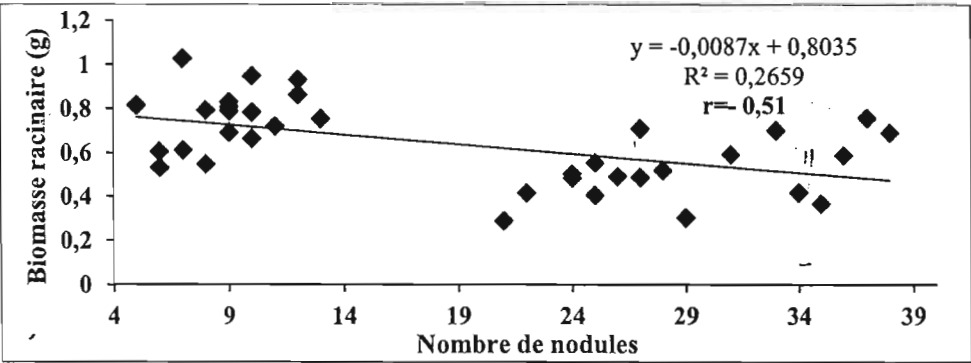


Figure 7c : Corrélation entre la biomasse racinaire et le nombre de nodules du niébé.

3.2.2. Discussion

Le tableau V présente les résultats concernant le nombre de nodules et leur poids sec. En effet, 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 d'avancer que l'azote joue un double rôle dans la production de nodules. A savoir que à fortes doses il induit un effet dépressif sur la nodulation (Dreyfus et Dommérgues, 1980 ; Picasso *et al.*, 1984) mais à faibles doses il joue un rôle de «starter» en favorisant l'initiation de la formation des nodules (Picasso *et al.*, 1984). 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+T a occasionné la plus forte nodulation du niébé après le témoin. Cette action pourrait se justifier par la présence de *Trichoderma 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. Ces résultats sont 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 Sanginga *et al.* (1999) et 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.

L'étude a révélé que le poids sec des nodules au niveau du témoin et du NPK a été supérieur aux autres traitements. Le nombre et la taille des nodules peuvent expliquer ce résultat. Les figures 7a, 7b et 7c ont montré les différents tests de corrélation entre le nombre de nodule et le poids des nodules d'une part et d'autre part entre le nombre de nodules et les biomasses (racinaire et aérienne) du niébé. Nous avons obtenu une corrélation significative et positive de coefficient ($r = +0,70$) entre le nombre et le poids des nodules. Certains auteurs, notamment N'Gbesso *et al.* (2013), ont également montré l'existence d'une corrélation significative et positive de coefficient ($r = + 0,44$) entre le nombre de nodules par plant avec le poids des nodules affectant les rendements du niébé. L'étude a également révélé une corrélation significative mais négative entre le nombre de nodule et le poids de matières sèches (MS) du niébé. En effet, selon Addam (1999), la nodulation provoque une croissance rapide des plants chez le niébé et agit aussi favorablement sur la production des graines. Par contre, nos résultats sont contraires à ceux trouvés par Berraho *et al.* (2003) indiquant une absence de corrélation entre le nombre de nodules et le poids de matière sèche du pois chiche.

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

3.3.1. Résultats

3.3.1.1. Effet sur les teneurs en éléments minéraux du sol sous niébé

Les figures 8a, 8b, 8c et 8d montrent les teneurs en carbone, azote, phosphore assimilable et le rapport C/N des échantillons composites des sols sous culture du niébé.

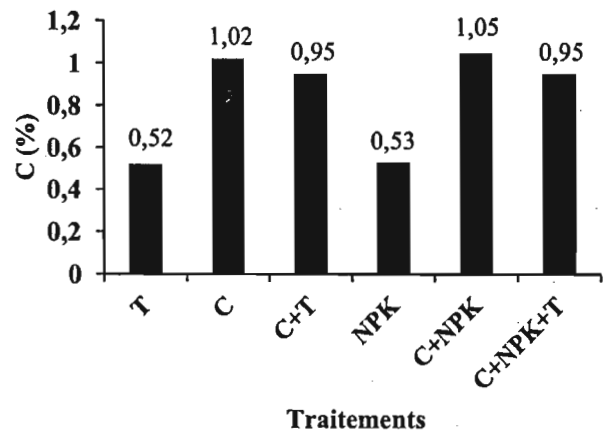


Figure 8a : Teneurs en carbone du sol sous niébé par traitement

La figure 8a qui présente la teneur en carbone montre une tendance de l'évolution du carbone après dix semaines de culture. Les traitements ayant reçu du compost ont eu une teneur plus élevée en carbone par rapport aux deux traitements sans compost (T et NPK). Les traitements C+T et C+NPK+T ont eu le même taux de carbone (0,95 %) se traduisant par une baisse de la teneur en carbone par rapport aux traitements C et C+NPK qui sont respectivement (1,02 % et 1,05 %).

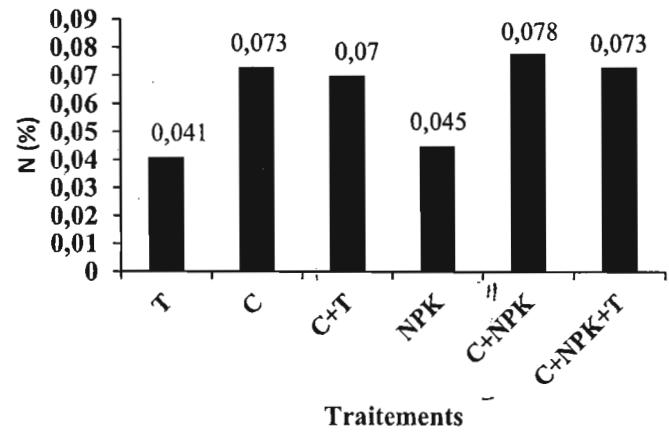


Figure 8b: Teneurs en azote du sol sous niébé par traitement

La figure 8b présente l'évolution de la teneur en azote par traitement. Il ressort de l'analyse que tous les traitements ayant reçus du compost ont entraîné une augmentation de la teneur en azote par rapport au témoin et au NPK seul. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des traitements C+NPK et C+NPK+T avec respectivement 90 % et 78 % par rapport au témoin.

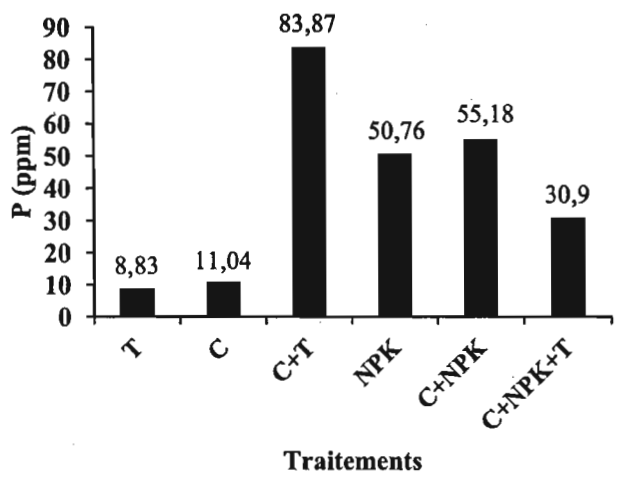


Figure 8c : Teneurs en phosphore assimilable du sol sous niébé par traitement

L'analyse des résultats de la figure 8c présente les teneurs en phosphore assimilable des sols. Il en ressort une teneur importante au niveau du traitement C+T qui est de 83,87 ppm suivi des traitements C+NPK, NPK et C+NPK+T qui sont respectivement de 55,18 ppm, 50,76 ppm et 30,9 ppm. La plus faible teneur est enregistrée avec le Témoin.

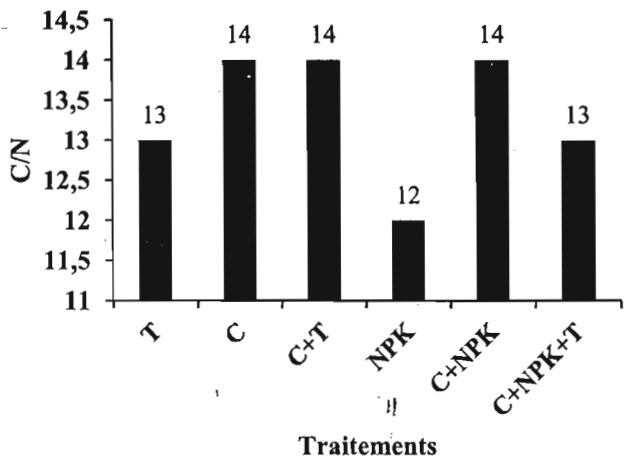


Figure 8d : Rapport C/N du sol sous niébé par traitement

La figure 8d nous présente le rapport C/N du sol en fonction des différents traitements. Le rapport C/N le plus bas est observé au niveau du NPK seul (12) les rapports C/N des traitements C, C+T et C+NPK sont identiques et les plus élevés (14).

3.3.1.2. Effet sur les teneurs en éléments minéraux du sol sous maïs

Les résultats des teneurs en carbone, azote, phosphore assimilable et le rapport C/N des sols sous culture du maïs sont illustrés par la figure 9a, 9b, 9c et 9d.

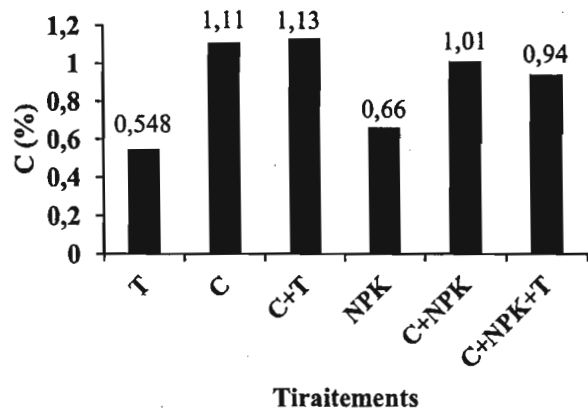


Figure 9a : Teneurs en carbone du sol sous maïs par traitement

La figure 9a présente la teneur en carbone. Ainsi, tous les traitements ayant reçu le compost ont eu une teneur plus importante en carbone par rapport au témoin et au NPK seul. Les traitements C+T et C ont donné les teneurs les plus élevées (1,13 % et 1,11 %) suivi des traitements C+NPK et C+NPK+T (1,01 % et 0,94 %). La plus faible teneur est obtenue avec le témoin (0,54 %).

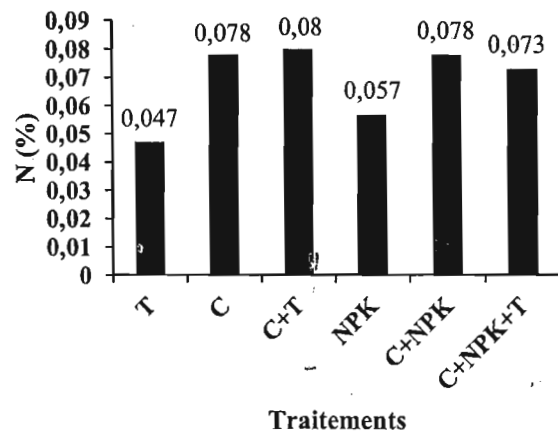


Figure 9b : Teneurs en azote du sol sous maïs par traitement

La teneur en azote des sols est présentée par la figure 9b. Tous les traitements ont entraîné une augmentation de la teneur en azote par rapport au témoin et le NPK seul. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des traitements C+T, C, C+NPK et C+NPK+T avec respectivement 67 %, 63 %, 60 %, 54 % par rapport au témoin.

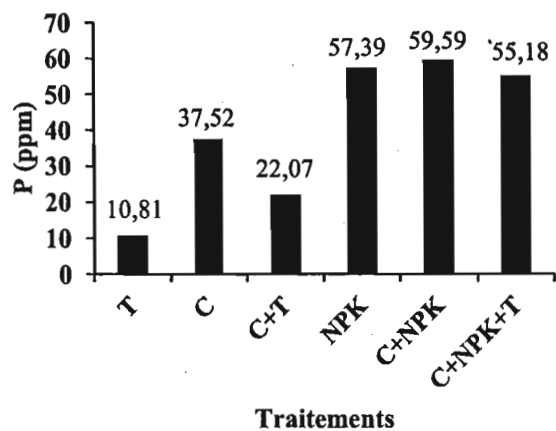


Figure 9c : Teneurs en phosphore assimilable du sol sous maïs par traitement

La figure 9c montre les teneurs en phosphore assimilable des sols. Les traitements C+NPK, NPK et C+NPK+T ont donné les teneurs les plus élevées en phosphore assimilable avec respectivement 59,59 ppm, 57,39 ppm et 55,19 ppm. La plus faible teneur est observée au niveau du témoin (11.81 ppm).

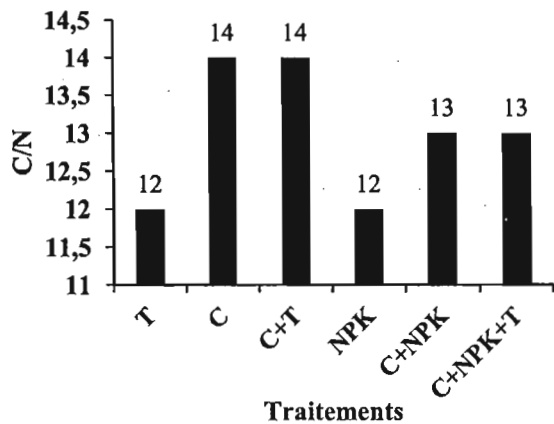


Figure 9d : Rapport C/N du sol sous maïs par traitement

La figure 9d nous présente le rapport C/N du sol en fonction des différents traitements. Le rapport C/N le plus bas est observé au niveau du témoin et du NPK seul (12) les traitements constitués par C, C+T ont eu des rapports C/N identiques et les plus élevés (14).

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

La figure 10 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 %.

La teneur en azote de la biomasse aérienne du niébé est présentée par la figure 10a. Les traitements sont repartis en deux groupes statistiquement différents et un groupe intermédiaire. La teneur la plus élevée est obtenue avec le traitement C+T (3,68 %) et la plus faible teneur est observée avec le traitement C+NPK+T (2,79 %).

La figure 10b 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+T ont permis d'avoir des teneurs plus importantes que le témoin avec respectivement 123 %, 63 % et 40 %. Seul le traitement comportant le compost seul est en baisse par rapport au témoin.

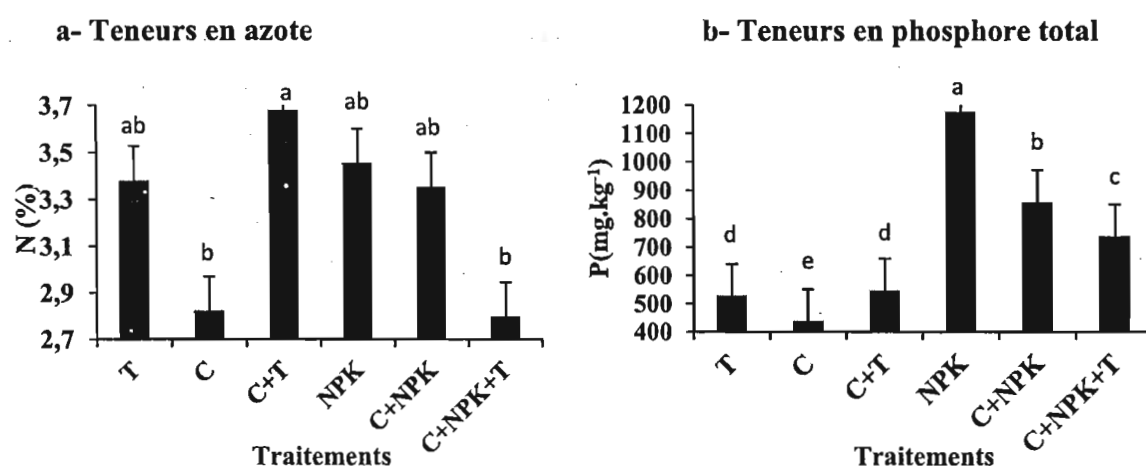


Figure 10 : Teneur en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du niébé.

3.3.1.4. 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 11 ci-dessous. Ces résultats montrent des différences statistiques entre les traitements selon l'analyse de variance au seuil de 5 %. L'analyse de la figure 11a nous présente quatre groupes statistiquement différents. Les traitements C+NPK, NPK,

C+NPK+T, C+T 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 11b**. L'analyse de ces résultats nous révèle des différences significatives entre les traitements. Les traitements NPK, C+T et C+NPK+T 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.

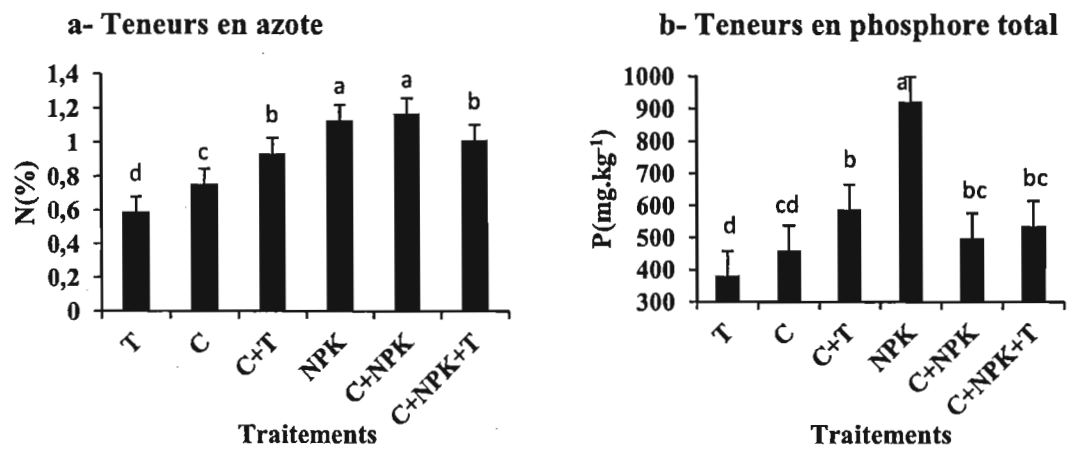


Figure 11: Teneurs en azote et phosphore total de la biomasse aérienne du maïs.

3.3.1.5. Maintien des spores dans les pots

Le **tableau VI** présente les résultats du maintien des spores de *Trichoderma harzianum* dans les pots contenant les traitements ayant été enrichis pour chaque culture (niébé et maïs). Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux traitements selon l'analyse de variance et le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %. Cependant, le traitement C+T a permis d'avoir une légère augmentation du nombre de spores par gramme de sol par rapport au traitement C+NPK+T avec 2,6 % pour le niébé et 7,3 % pour le maïs. La culture du maïs a légèrement favorisé la sporulation du *Trichoderma* par rapport au niébé.

Tableau VI : Maintien des spores dans les traitements enrichis par culture.

Traitements	Nbre Spores .g ⁻¹ .sol (niébé)	Nbre Spores .g ⁻¹ .sol (maïs)
C+T	1,94.10 ⁹ a	2,2.10 ⁹ a
C+NPK+T	1,89.10 ⁹ a	2,05.10 ⁹ a

NB : les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% (ANOVA, Test de Student-Newman-Keuls).

Nbre Spore. g⁻¹.sol (niébé): Nombre de spores par gramme de sol sous niébé.

Nbre Spore. g⁻¹.sol (maïs) : Nombre de spores par gramme de sol sous maïs.

3.3.2. Discussion

Les résultats d'analyse des échantillons de sol sous culture du niébé et du maïs ont montré que les traitements intégrant le compost (C, C+T, C+NPK et C+NPK+T) ont contribué de façon générale à l'amélioration des teneurs en carbone organique, en azote total et phosphore assimilable. Cette amélioration des paramètres chimiques pourrait s'expliquer par le fait que dans la plupart des essais, l'application de compost en agriculture ou en horticulture conduit à une augmentation de la teneur en carbone organique, en azote total et en phosphore assimilable. Bationo *et al.* (1998) considèrent que la matière organique du sol est comme une source et un réservoir de nutriments pour la plante car elle contient la quasi-totalité de l'azote et 20 à 80 % du phosphore du sol. Les travaux de Bacyé (1993) indiquent que l'incorporation des matières organiques permet une augmentation du stock de carbone organique, azote minéral et azote total des sols. 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. Cela est dû à des interactions positives et complémentaires entre ces deux types de fertilisants (Vanlauwe *et al.*, 2001). L'une des bases de cette complémentarité est que les fertilisants organiques améliorent les teneurs du sol en matières organiques et les aspects associés à la fertilité des sols, tandis que les fertilisants minéraux fournissent les nutriments limitants mais aussi l'amélioration des teneurs en matières organiques par la production de plus de biomasse, notamment la biomasse racinaire.

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+T 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 *Trichoderma 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+T, la faible teneur pourrait être liée à la présence de l'engrais qui aurait inhibée 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. Le résultat de la teneur en phosphore totale de la biomasse aérienne enregistré au niveau du témoin serait lié à la carence du sol en cet élément. Nos résultats confirment ceux de (Pallo *et al.*, 1989 ; Sedogo 1993 ; 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+T et C+NPK+T 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) (Li *et al.*, 2008) entraînant une solubilisation du phosphore, ce qui aurait inhibé l'action de *Trichoderma*.

Les résultats des figures 11a et 11b ont montré les résultats des 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. Les résultats obtenus par (Sedogo, 1993) montrent que la fumure organo-minérale est celle qui donne un bilan positif, avec un excédant d'azote de $5,76 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ restant théoriquement dans le sol. Les traitements C+NPK+T et C+T 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 *Trichoderma 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 *Trichoderma harzianum* T22. Néanmoins, nous avons observé une différence significative entre la teneur en azote du maïs avec le traitement C+NPK+T par rapport à la teneur avec NPK et C+NPK. Cette dernière action serait liée à une compétition entre la plante et *Trichoderma 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+T et C+NPK+T leur apport serait lié à plusieurs mécanismes par lesquels *Trichoderma spp.* influence le développement des plante, tels que la production d'hormones de croissance

(Windham *et al.*, 1986), la solubilisation des nutriments dans le sol (Altomare *et al.*, 1999.) et l'augmentation de l'absorption et la translocation des minéraux moins disponibles (Baker, 1989; Inbar *et al.*, 1994 ; Kleifeld et Chet, 1992).

Le **tableau VI** a montré les résultats du maintien des spores de *trichoderma* dans les pots sous niébé et maïs après dix semaines de cultures. Au vu de ces résultats, il ressort qu'il n'ya aucune différence significative entre le traitement C+T et C+NPK+T. Néanmoins, le Traitement C+T a permis d'avoir plus de spores que le traitement C+NPK+T dans les sols des deux cultures. Cela pourrait s'expliquer par la faible sporulation de *Trichoderma* en présence des engrais minéraux. Muthukumar et Udaiyan (2002) ont relié la variation du nombre de spores au changement des paramètres édaphiques tels que le pH et les teneurs en N, P et K du sol. Dans notre étude, le traitement C+NPK+T pourrait être riche en éléments minéraux d'où sa faible sporulation. Ce constat nous amène à penser que l'apparition et l'abondance des spores semblent être principalement influencées par les facteurs édaphiques et les besoins de la plante hôte.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de notre étude était de tester sous serre l'influence de l'enrichissement de compost par des spores de *Trichoderma harzianum* sur les nutriments du sol et les paramètres agronomiques du maïs et du niébé à travers six traitements qui étaient : le témoin (T), le compost seul (C), le compost plus les spores de *Trichoderma harzianum* I-1236 (C+T) , le NPK 14-23-14 seul (NPK) , le compost plus le NPK 14-23-14 (C+NPK) et le compost plus le NPK 14-23-14 plus les spores de *Trichoderma harzianum* I-1236 (C+NPK+T). La mesure de la croissance, de la biomasse , de la nodulation et de la teneur en éléments minéraux des échantillons de sols et de la biomasse aérienne du niébé et du maïs ont permis de tirer les conclusions suivants :

- les traitements combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+T) ou la fumure minérale seule (NPK) ont permis d'avoir les meilleures croissances et les biomasses les plus élevées. Cependant, notre étude n'a pas révélé une amélioration nette des paramètres de rendements du niébé et du maïs lorsque les traitements étaient combinés avec le champignon *Trichoderma harzianum* de la souche I-1236 ;
- en dehors du témoin, le traitement combinant le compost et *Trichoderma harzianum* (C+T) a favorisé la nodulation du niébé. Le poids secs des nodules le plus important a été obtenu par le témoin et le traitement NPK. Aussi, nous avons obtenu des corrélations significatives entre le nombre de nodule et le poids des nodules d'une part et entre le nombre de nodule et la biomasse du niébé d'autres parts ;
- les résultats d'analyse des échantillons de sol sous culture du niébé et du maïs ont montré que les traitements intégrant le compost (C, C+T, C+NPK et C+NPK+T) ont contribué de façon générale à l'augmentation des teneurs en carbone organique, en azote total et phosphore assimilable. Nous avons observé une variation de teneurs en azote et en phosphore total de la biomasse entre les cultures et les traitements. En effet, la plus forte teneur en azote de la biomasse aérienne du niébé a été obtenue par le traitement C+T. A contrario, le traitement C+NPK+T a permis d'avoir la plus faible teneur. Les traitements de fumures minérales ou organo-minérales (NPK et C+NPK) ont favorisé un prélèvement plus important du phosphore par rapport aux traitements C+T et C+NPK+T. Les mêmes résultats sont observés pour le maïs concernant le prélèvement de l'azote. Quant au prélèvement du phosphore par le maïs, en dehors du NPK les traitements C+T et C+NPK+T ont entraîné son amélioration.

- Les résultats du maintien des spores de *trichoderma harzianum* dans les sols sous niébé et maïs après dix semaines de culture ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre le traitement C+T et C+NPK+T mais une tendance en faveur du traitement C+T a été observée. Le nombre de spores sous culture du niébé a été moins élevé que sous culture du maïs.

En perspective pour l'approfondissement de cette étude, nous recommandons :

- l'inoculation des spores de *trichoderma harzianum* pendant la phase de refroidissement du compost pour permettre son installation précoce dans les substrats afin d'assurer la dégradation des composés résistants et l'amélioration de la qualité du compost ;
- la sélection de souches performantes et adaptées à notre contexte climatique ;
- la détermination de la dose optimum en spores et en engrais minéral capable d'assurer une bonne nutrition minérale du niébé et du maïs ;
- la reprise de l'essai sous serre en utilisant des pots plus gros ou en milieu réel pour affiner nos résultats.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Addam K.S., 1999.** Effet de l'azote et du phosphore sur la nutrition azotée des variétés de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) présélectionnées au Niger. DEA de physiologie végétale (Option agrophysiologie). UFR. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire 19 :65.
- Akhtar K., Akhtar M.W., Khalid A.M., 2007.** Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by *Trichoderma harzianum*. Water Res. 41:1366-1378.
- Alfano G., Ivey M.L., Cakir C., Bos J.I.B., Miller S.A., Madden L.V., Kamoun S., Hoitink H.A.J., 2007.** Systemic modulation of gene expression in tomato by *Trichoderma hamatum* 382. Phytopathol. 97:429-437.
- Altomare C., Norvell W.A., Bjorkman T and Harman G.E., 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.
- Amouri B., Gargouri A., 2006.** Characterization of a novel β -glucosidase from a *Stachybotrys* strain. Biochem. Eng. J. 32: 191-197.
- Asche E., 1997.** Einfluss Von bioabfallkomposten unterschiedlicher Reifegrade auf die Bodenfruchtbarkeit unter besonderer Berücksichtigung de N-Dynamik, Agrarwissenschaften. Giessen : Wissenschaftlicher Fachverlag. Ebertseder, T. 1997. Qualitätskriterien und Einsatzstrategien für Komposte aus Bioabfall auf landwirtschaftlich genutzten Flächen., Agrarwissenschaft. Aachen: Shaker Verlag.
- Asche E., Steffens D. and Mengel K., 1994.** Fertilizer action and soil structure effects of the application of biorefuse compost on agricultural crop areas. Düngewirkung und Bodenstruktureffekte durch den Einsatz von Bioabfallkompost auf landwirtschaftlichen Kulturflächen. Kongressband 106:321-324.
- Avnimelech Y., Cohen A. and Shkedy D., 1993.** Can we expect a consistent efficiency of municipal waste compost application? Compost Science and Utilization 1:7-14.
- Avnimelech Y., Shkedy D., Kochva M. and Yotal Y., 1994.** The use of compost for the reclamation of saline and alkaline soils. Compost Science and Utilization 2:6-11.
- Babeendean N., Moot D.J., Jones E.E., Stewart A., 2000.** Inconsistent growth promotion of Cabbage and Lettuce from *Trichoderma* isolates. New Zealand Plant Prpt. 53: 143-146.
- Bacyé B., 1993.** Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (province du yatenga, burkina faso), Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Economie et des Sciences, d'Aix-Marseille, France, 243 p.

Bado B.V., 1994. Modification chimique d'un sol ferrallitique sous l'effet de fertilisants minéraux et organique: conséquences sur les rendements d'une culture continue de maïs, 57p+annexes.

Bado B.V., Sedogo M.P., Cescas M.P., Lompo F., Bationo A., 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, Vol. 6 (6): 571-575.

Bado B.V., Sedogo P.M., Hien V. et Lompo F., 1991. Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière: l'expérience du Burkina. In A.U.MOKUWNYE (Ed.) *Alleviating Soil Fertility Constraints to increased Crop Production in West Africa*, 115123. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Baker R., 1988. *Trichoderma* spp. as plant stimulants. *CRC Crit. Rev. Biotechnol.* 7: 97-106.

Bambara D., Zoundi J. S. et Tiendrébéogo J. P., 2008. Association céréale/légumineuse et intégration agriculture-élevage en zone soudano-sahélienne ; *Cahiers Agricultures* vol. 17, n° 3, pp : 297-301.

Bationo A., Lompo F., Koala S., 1998. Research on nutrients flows and balances in West Africa: Agriculture, Ecosystems and Environment. 71. P 19-35.

Bazzoffi, P., Pellegrini S., Rocchini A., Morandi M. and Grasselli O., 1998. The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil and Tillage Research* 48:275-286.

Behzad H., 2010. Effects of some Iranian *Trichoderma* isolates on maize seed germination and seedling vigor. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(28), pp. 4342-4344.

Bélanger R.R., Dufour N., Caron J. and Benhamou N., 1995. Chronological events associated with antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea* : Indirect evidence for sequential role of antibiosis and parasitism. *Biocontrol Science and Technology* 5 : 41-53.

Berraho E.L., Maatallah J. et Filali-Maltouf A., 2003. Diversité des souches de *Rhizobium ciceri* isolées des régions arides du Maroc: infectivité, efficacité et tolérance à la salinité : in *Fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le bassin méditerranéen* (Drevon J.J. et Bouaziz S., eds).pp : 149-160.

Bissett J., 2004. http://www.Medicalglossary.org/fungi_mitosporic_fungi_definitions.html. consulté le 12/07/2013

Bissett, J., 1991(b). A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. *Can. J. Bot.*, 69 : 2357-2372.

- Bissett J., 1991(a). A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Pachybasium*. Can. J. Bot., 1, 69 : 2373-2417.
- Bissett J., 1984. A revision of the genus *Trichoderma*. L. Section *Longibrachiatum* Sect. Nov.Can. J. Bot., , 62 : 924-931.
- Bray R.H & Kurtz L.T., 1945. Détermination des formes totales, organiques, et disponibles de phosphore dans les sols. Soil Science, 59 (1945), pp 39-45.
- Brewer D., Greenwell M. & Taylor A., 1993. Studies of *Trichoderma* sp. isolates from *Mytilus eludis* collected on the shores of cape breton and Prince Edward islands. Proc. N. S. Inst. Sci., 40 (1) : 29-40.
- BUNASOLS., 1985. Guide pour le terrain. Septième réunion du Sous-comité Ouest et Centre africain de corrélation des sols d'évaluation des terres. Ouagadougou, Novembre 1985.
- Castro A.M., Pedro K.C., Cruz J.C., Ferreira M.C., Leite S.G. and Pereira N., 2010. *Trichoderma harzianum* IOC-4038: A promising strain for the production of a cel-lulolytic complex with significant β -glucosidase activity from sugarcane bagasse cellulignin. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162, 2111-2122.
- Celar F., Valic N., 2005. Effects of *Trichoderma spp* and *Glicladium roseum* culture filtrates on seed germination of vegetables and maize. J. Plant Dis. Prot. 112(4): 343-350.
- Chang Y.C., et Baker R., 1986. Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma harzianum*. Plant Dis. 70 : 145-148.
- Chet I., 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant Soil, 235: 235-242.
- Chu G. X., Shen Q. R. and Cao J. L., 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.
- Chung Y.R. and Hoitink H.A.J., 1990. Interactions between thermophilic fungi and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in a bark compostamended container medium. Phytopathology 80:73-77.
- Chung Y.R., Hoitink H.A.J., Dick W.A. and Herr L.J., 1988. Effects of organic matter decomposition level and cellulose amendment on the inoculum potential of *Rhizoctonia solani* in hardwood bark media. Phytopathology 78:836-840.
- CIMMYT., 2000. Annual Report 2000 – 2001. Global Research for Local Livelihoods Collection Sciences et techniques agricoles. 472p.

- Colussi F., Garcia W., Rosseto F.R., Mello, B.L.S., Net M.O. and Polikarpov I., 2011. Effect of pH and temperature on the global compactness, structure, and activity of cellobiohydrolase Cel7A from *Trichoderma harzianum*. *Journal of European Biophysics*, 40, 89-98.
- Compaoré E., Fardeau J.C, Morel J. L., Sedogo M. P., 2001. Le phosphore biodisponible des sols: Une des clé de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 10. Numéro (2). P 8-15.
- Contreras-Cornejo H.A., Macias-Rodriguez L., Cortes-Penagos C., Lopez-Bucio J., 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxindependant mechanism in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 149: 579-1592.
- Cournut B., 1984. Le genre *Trichoderma* hyphomycètes. Th. : Pharmacie : Marseille :77p.
- Craufurd P. Q., Summerfield R.J., Ellis RH., Robert E.H., 1997. Photoperiod, temperature and the growth and development of cowpea. In *Advances in cowpea research*. Singh B.B., Mohan Raj D.R., Dashielle K.E., Jackai I.E.N (Eds) IITA and JIRCAS, pp 75-86.
- Dabat M.H., Lahmar R. and Guissou R., 2012. La culture du niébé au Burkina Faso : une voie d'adaptation de la petite agriculture à son environnement ? », *Autrepart*. 2012/3 N° 62; pp : 95-114.
- De Bertoldi, M., G. Vallini, and A. Pera., 1983. The biology of composting: a review. *Waste Management & Research*, 1:157-176.
- De la Cruz J., Pintor-Toro J.A., Benítez T., Llobell A., Romero L.C., 1995. A novel endo- β -1,3-glucanase, BGN13.1, involved in the mycoparasitism of *Trichoderma harzianum*. - *J. Bacteriol.*, 177(23), 6937-6945.
- Delville P.L., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. *Diagnostics et conseils aux paysans*. CTA-GRET. Collection c le point sur» 397p.
- Demolon A., 1952. *Principes d'Agronomie 1: Dynamique du sol*. Dunod, 5è éd. Paris, 52Op.
- Département des Sols et Génie Agroalimentaire. Université de Laval.. organiques. Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, pp 11.
- Deschamps F., Giuliano C., Asther M., Huet M.C., Roussos S., 1985. Cellulase production by *Trichoderma harzianum* in static and mixed solid state fermentation reactors under non-aseptic conditions, *Biotechnol. Bioeng.* 27: 1385 - 1388.
- DGPER., 2010. *Analyse de la Compétitivité des Filières de Céréales Sèches au Burkina Faso*. MAHRH Presse: Ouagadougou.

- Diallo L., 2002.** Effet des engrais azoté et du fumier sur les rendements du maïs. Mémoire de fin d'étude IDR, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 58 p.
- Dick W.A. and McCoy E.L., 1993.** Enhancing soil fertility by addition of compost. In: H.A.J. Hoitink and H.M. Keener, (eds.), Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects, pp 622-644.
- Diez T. and Krauss M., 1997.** Effect of long-term compost application on yield and soil fertility. Wirkung langjähriger Kompostdüngung auf Pflanzenenertrag und Bodenfruchtbarkeit. Agribiological Research 50:78-84.
- Döbereiner J., 1994.** Nitrogenase activity and oxygen Sensitivity of the paspalum notatum Azotobacter paspali association. J. Gen. Microbiol.(Sous press).
- Dommergues Y. et Mangenot F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Masson paris 796 P.
- Donahue R.L., 1990.** An introduction to soils and plantgrowth fifth edition PP 139-162.
- 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.
- Dreyfus B., Dommergues Y., 1980.** Non-inhibition d'azote atmosphérique par l'azote combiné chez une légumineuse à nodules caulinaires, *Sesbania rostrata*. C. R. Acad Sc. Paris, T291, pp. 767-770.
- Duchaufour P., 1977.** Pédologie: Pédogénèse et classification. Masson, Paris, 477p.
- Duncan K.A., Hardin S.C., Huber S.C., 2006.** The three maize sucrose synthase isoforms differ in distribution, localization, and phosphorylation. Plant Cell Physiol. 47: 959-971.
- Duthil, D., 1973.** Eléments d'écologie et d'Agronomie. Tome 2. Ed Baillard, Paris 265p.
- Egberongbe H.O., Akintokun A.K., Babalola O.O., Bankole M.O., 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.
- Ehlers J.D. & Hall A.E., 1997.** Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Field crops research 53 : 187-204.

- Elad Y., Chet I., Boyle P., Henis Y., 1983. Parasitism of *Trichoderma* spp. on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* Scanning electron microscopy and fluorescence microscopy. - *Phytopathology*, 73(1), 85-88.
- Ellis R.H., Summerfield R.J., Edmeades G.O., Roberts E.H., 1992. Photoperiod, Temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. In le maïs en zone tropical: Amélioration des plantes. pp 97-108.
- Ellison P.J., Harraower K.M., Chilvers G.A., Owens J.D., 1981. Patterns of sporulation in *Trichoderma viride*. Trans. BP. Mycol. Soc. -7-6 : 441-445.
- Esposito E. & Silva M., 1998. Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma*. Crit. Rev. Microbiol., , 24 (2) : 89-98.
- Evanylo G.K. and. Sherony C., 2002. Agronomic and Environmental effects of compost use for sustainable Vegetable Production. Paper read at Composting and Compost utilization, at Columbus, Ohio, USA.
- Falisse A. et Lambert J., 1994. Fertilisation minérale et organique in TAYEB ameine E.H., Persoons E., Agronomie Moderne bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. HATIER-AVPELF-UREF.
- Faloula H., 2006. Paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques pertinents pour les programmes d'amélioration de l'adaptation du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) au déficit hydrique. Thèse, Université Ouagadougou. 169P.
- Fan F.L., Zhang F.S., Song Y.N., Sun JH, Bao X.G., Guo T.W. and Li L., 2006. Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba* L.) *Plant Soil* 323:295–308.
- FAO., 2007. Annuaire statistique de la FAO 2007-2008, Rome Italie.
- FAO., 1997. Engrais et nutrition végétale: emploi rationnel des engrais dans les sols en zones tropicales humides.77P.
- FAOSTAT., 2004. Agricultural production, crop primary database. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome. <http://fao.org/faostat/> Téléchargé le 05/2013.
- Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., 1991. Effets de la texture sur le stockage et la dynamique de matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 26 (1) : 25-36.
- Folakemi O.P., Priscilla J.O. and Ibiyemi S.A., 2008. Cellulase production by some fungi cultured on pineapple waste. *Nature and Science*, 6(2):64-97.
- Franco A.A. & Munns D.N., 1982. Acidity and aluminium restraints on nodulation, nitrogen fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. *Soil sci. Am. J.*, 46 : 296 - 301.

- Fuchs, J., Galli U., Schleiss K. and Wellinger A., 2001.** Directive de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, pp 11.
- Gamrasin M.A., 1979.** Utilisation agricole des boues d'origine urbaine. Association Française des Etudes des Eaux.Paris 122p.
- Gams W. & Bissett J., 1998.** Morphology and identification of *Trichoderma* sp. *Trichoderma* & *Gliocladium*, Volume1: Basic Biology, Taxonomy and Genetics. Londres : CRC Press, , pp. 3-34, 300 p.
- Garnotel J.L., 2006.** Le niébé : la plante. In <http://ntec.free.fr/spip.php?article68lang=fr>. Tel consulté le 15/05/2013.
- Gay J. P., 1984.** Fabuleux maïs: histoire et avenir d'une plante, AGPM, Infocompo, Pau, 295p.
- Genilloud O., Pelaez F., Gonzalez I. & Diez M.T., 1994.** Diversity on actinomycetes and seaweeds from the Iberian coasts. *Microbiologia*, , 10 : 413-422.
- Gerzabek M.H., Kirchmann H. and Pichlmayer F., 1995.** Reponse of Soil Aggregate Stability to manure amendements in the ultuna Long-term Soil Organic Matter Experiment. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 158:257-260.
- Ghisalberti E.L. and Sivasthamparam K., 1991.** Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil Biol. Biochem.* 23 : 1011-1020
- Ghose T. K. & Sahai, V., 1979.** Production of cellulases by *Trichoderma reesei* QM 9414 in fed-batch and continuous-flow culture with cell recycle. *Biotechnol. Bioeng.*, , 21, 283-286.
- Gigliotti G., Businelli D. and. Giusquiani P.L., 1999.** Composition changes of soil humus after massive application of urban waste compost: a comparison between FT-IR spectroscopy and humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55:23-28.
- Gilley J.E. and Eghball B., 1998.** Runoff and erosion following field application of beef cattle manure and compost. *Transactions of the ASAE* 41:1289-1294.
- Giusquiani P.L., Pagliai M., Gigliotti G., Businelli D. and Benetti A., 1995.** Urban waste compost: effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. *Journal of Environmental Quality* 24:175-182.
- Gobat J.M., Aragno M. and Matthey W., 2003.** Le Sol vivant Bases de pédologie Biologie des sols. Deuxième édition, Presse polytechniques et universitaires romandes. pp 568.

- Guster R., Ebertseder T., 2002.** Grundlagen zur Nährstoff und Sonderwirkung sowie zu optimalen Einsatzstrategien von Komposten im Freiland. In Handbuch Kompost im Gartenbau, edited by Z. G.e.V.:FGG Förderungsgesellschaft Gartenbau mbH, Bonn.pp 76.
- Gutierrez A., Florencio R., Ezpeleta C., Cisterna R. & Martinez M., 1995.** *Trichoderma pseudokoningii* as a cause of fatal infection in a bone marrow transplant recipient. Clin. Infect. Dis., 20 : 1063-1064.
- Harman G.E., 2000.** Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22, Plant Dis. 84: 377-393.
- Harman G.E.,2006.** Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology, 96: 190-194.
- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M., 2004.** *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nat.Rev. 2: 43-56.
- Harman, G.E. and Björkman T., 1998.** Potential and existing uses of *Trichoderma* and *Gliocladium* for plant disease control and plant growth enhancement, p. 229–266.
- Hartl W. and Erhart E., 2002.** langzeitdüngung mit Kompost - Ergebnisse aus der Praxis.
- Hartmann R., 2003.** Studien zur standortgerechten Kompostanwendung auf drei pedologisch unterschiedlichen, landwirtschaftlich genutzten Flächen der Wildesauer Geest, Niedesachen. In: W. Taubmann (ed.), Bremer Beitrag zur Geographie und Raumplanung Vol. 39. Bremen, Universität Bremen, Institut für Geographie. Germany.
- Hexon A.C., Lourdes M.R., Carlos C.P., Jose L.B., 2009.** *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 149: 1579-1592.
- Hibar K., Daami-Remadi M., Khiareddine H., El Mahjoub M., 2005.** Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. - *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, , 9(3), 163-171.
- Hibar K., Daami-Remadi M., Khiareddine H., El-Mahjoub M., 2005.** Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. - *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 9(3), 163-171.
- Hien E., 2004.** Dynamique du carbone dans un acrisol ferrique du Centre Ouest Burkina: Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de Doctorat, ENSA Montpellier, 138 p.
- Hoitink H.A.J., Madden LV., Dorrance A.E., 2006.** Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp: Interactions between the host, the pathogen, the biocontrol agent, and soil organic matter quality. Phytopathology, 96(2): 186-189.

- Hoitink H.A.J. and Grebus M.E., 1994.** Status of biological control of plant diseases with
- Honson L.E., Howell C.R., 2004.** Elicitors of plant defence responses from biocontrol strains of *Trichoderma virens*. *Phytopathology*, 94(2): 171-176.
- Houngnandan P., Sanginga N., Okogun A., Vanlauwe B., Merckx R. et 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.
- Howell C.R., 2003.** Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant disease; the history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87: 4-10.
- Hoyos-Carvajal L., Ordua S., Bissett J., 2009.** Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biol. Control*, 51: 409-416.
- Inbar J., Abramsky M., Cohen D., Chet I., 1994.** Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings growth under commercial conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 100: 337- 346.
- Jalal M.A.F., Love S.K., Vander-Helm D., 1987.** Siderophore mediated iron III uptake in *Gliocladium virens* (*Trichoderma virens*). 2. Role of ferric mono- and dihydroxamates as iron transport agent. *J. Inorganic Biochem.* 29: 259-267.
- Joergensen R., Meyer G.B., Roden A. and Wittke B., 1996.** Microbial activity and biomass in mixture treatments of soil and biogenic municipal refuse compost. *Biology & Fertility of Soils* 23:43-49.
- 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.
- Kahle P. and Belau L., 1998.** Model experiments testing the effects of biowaste compost in agriculture. OT: Modellversuche zur Prufung der Verwertungsmoglichkeiten von Bioabfallkompost in der Landwirtschaft. *Agribiological Research* 51:193-200.
- Kaiser P. 1981.** Analyse microbiologique des composts. *Rapport du colloque international: Composts, amendements humique et organiques*,43-71.
- Kambiré S.H., 1994.** Systèmes de culture paysan et productivité des sols ferrugineux lessivés du plateau central (B.F.): effets des restitutions organiques. Thèse doctorat troisième cycle, université de Dakar. 188p.
- Kaya C., Ashraf M., Sonmez O., Aydemir S., Tuna A.L., Cullu M.A., 2009.** The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Hort.* 121(1):1-6.

- Kiniry J.R., Ritchie J.T., Musser R.L., 1983.** Dynamic nature of the photoperiod response in maize: *In le maïs en zone tropicale: Amelioration des plantes* pp 25-34.
- Kleifeld O., Chet I., 1992.** *Trichoderma harzianum* interaction with plants and effects on growth response. *Plant Soil*, 144: 267-272.
- Kohlmeyer J. & Kohlmeyer E., 1979.** *Marine mycology: the higher fungi* New York : Academic press, , 689 p.
- Kremer P., 2001.** Einfluss von Komposten und Stallmist auf Bodeneigenschaften und Wachstum von *Ligustrum vulgare* L. Dissertation, Fachbereich Gartenbau, Universität Hannover, Hannover. Germany.
- Kubicek, C.P., Bissett J., Druzhinina I., Kullnig-gradinger C. & Szakacs, G., 2003.** Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma* sp.: a case study on South-East Asian isolates. *Fungal Genet. Biol.*, , 38 (3) : 310-319.
- Landes E., Timmermann F., Grosskopf W. and Ziegler W., 2002.** Verbund-Forschungsprojekt Kompostverwertung in der Landwirtschaft-Zwischenbericht.
- Landreau A., 2001.** Métabolites d'une souche de *Trichoderma koningii* Oudemans isolée du milieu marin : Etude chimique, biologique et risques pour les coquillages en culture. Th. : Pharmacie : Nantes :, 201p.
- Leclerc B. 2001.** Guide des matières organiques. (eds Guide Technique de l'ITAB),
- Le conte J., 1950.** Le maïs hybride aux Etats - Unis d'Amérique : Archives de l'Institut des recherches agronomiques de l'Indochine, 187p.
- Leifeld J., Siebert S. and Kogel-Knabner I., 2002.** Changes in the chemical composition of soil organic Matter after application of compost. *European Journal of Soil Science* 53:299-309.
- Leuchtmann A., Petrini O. & Samuels G., 1996.** Isozyme subgroups in *Trichoderma* section Longibrachiatum. *Mycologia*, , 88 (3) : 384-394.
- Li L., Shen J., Zhang F., Clairotte M., Drevon J.J., Le Cadre E. and 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.
- Liberra K. & Lindequist U., 1995.** Marine fungi – A profilic resource of biologically active natural products. *Pharmazie*, , 50 : 583- 588.
- Lillard-roberts S., 2004.** *Trichoderma harzianum*. Mold-Help [en ligne]. Disponible sur : <http://mold-help.org/content/view/431/>(consulté le 21/05/ 2013).

- Lo C.T., Lin C.Y., 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.
- Madamba R., Grubben G.J.H., Asante I.K. & Akromah R., 2006.** *Vigna unguiculata* (L.) Walp. [Internet] Fiche de Protabase. Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas. <<http://database.prota.org/recherche.htm>>. Visité le 5/05/2013.
- MAFAP/SPAAA., 2012.** Analyse des incitations et des pénalisations pour le maïs au Burkina Faso 43P.
- Man S. W., 1979.** Cellulose degradation. *Bioeng.*, 21-25.
- M.A.R.H., 2008.** Evolution du secteur agricole et des conditions des ménages au Burkina Faso. Projet AI/CN-SISA. 92p.
- Mastouri F., Bjorkman T., Harman G.E., 2010.** Seed treatments with *Trichoderma harzianum* alleviate biotic, abiotic and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology*, 100: 1213-1221.
- Meyer G.D., Bigirimana J., Elad Y., Höfte M., 1998.** Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of *Botrytis cinerea*. - *Eur. J. Plant. Pathol.*, , 104(3), 279-286.
- Mouria A., Ouazzani Touhami A., Douira A., 2003.** Étude de certains facteurs favorisant le maintien de l'activité antagoniste de *Trichoderma harzianum* à l'égard de *Helminthosporium oryzae* sur les feuilles de riz. - *Cah. Rech.*, , 5, 50-66.
- Muthukumar T., Udaiyan K., 2002.** Seasonality of arbuscular-vesicular mycorrhizae in sedges in a semi-arid tropical grassland. *Acta Oecologica* 23, 337-347.
- Munoz F.M., Demmler G.J., Travis W.R., Ogden A.K., Rossmann S.M. & Rinaldi M.G., 1997.** *Trichoderma longibrachiatum* infection in a pediatric patient with aplastic anemia. *J. Clin. Microbiol.*, 35 (2) : 499-503.
- Mustin M., 1987.** Le compost, gestion de la matière organique. Editions François Dubusc, Paris, 954P.
- Nacro H. B., 1997.** Hétérogénéité fonctionnelle de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire): caractérisation chimique et étude, *in vitro*, des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie - Paris vi, 306 p.

Nelson E.B. and Hoitink H.A.J., 1983. The role of microorganisms in the suppression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark phytopathology 73:274-278.

Ngaido T., 2006. Quelles politiques pour le développement agricole? Dialogue avec les parlementaires: Mettre l'accent sur l'agriculture et la science pour le développement, International Food Policy Research Institute(IFPRI).

Ngakou A., Nwanga D., Tamo M., et Parh I., 2002. 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?rubrique6> Visité le 15/09/2013.

N'Gbesso F. D. P. M., Fondio L., Dibi B. E. K., Djidji H. A et Kouamé C. N'G., 2013. Étude des composantes du rendement de six variétés améliorées de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. *Journal of Applied Biosciences* . 63: 4754 – 4762.

Nielsen S.S., Ohler T.A. and Mitghel C.A., 1997. Cowpea leaves for human consumption: production, utilisation et nutrient composition. In: Cowpea research, Edited by Singh B.B., Mohan Raj D.R., Dashiell K.E. and Jackai L.E. N (éds). Co-publication of *International Institute of tropical and Japan International Research (Ibadan (Nigeria))*. pp: 326-332.

Nkouannessi M., 2005. The genetic, morphological and physiological evaluation of African cowpea genotypes. Thesis, University of the Free State Bloemfontein, South Africa, 131 p.

Norman M. J., Paerson C.J., Searle P. G.E., 1995. The ecology of tropical food crops, New York, NY, USA, Cambridge University Press, 430p.

Novozansky I. V. J. G. H., Van Eck R. And Van Vark W. 1983. A novel digestion technique for multi-element analysis. In: commun. Soil Sci. Plant anal. pp 239-249.

Odou-toudonou M., 1988. Décomposition et humification des résidus organiques dans des sols.mémoire de fin de d'étude université nationale du Bénin 105P.

Okuda T., Fujiwara A., Fujiwara M., 1982. Correlation between species of *Trichoderma* and production patterns of isonitrile antibiotics. Agric. Biol. Chem. 46 : 1811-1822.

Ollivier B., Diem H.G., Pinta M., Dommergeus Y.R., 1982. Influence de l'infection endomycorhizienne sur la concentration en P et Zn des parties aériennes de *Vigna unguiculata* (L. Walp) cultivé dans un sol Dék. In *Mycorhizes: biologie et utilisation*. Ed. INRA, les colloques de l'INRA, no 13 pp 155-161.

Ouattara A., 2011. Etude de l'association de la fumure minérale et du compost dans une rotation coton-mais en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur agronome. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso 80P.

Pallo F. J. P. et Thiombiano L., 1989. Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion du Burkina Faso: Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. *Bunasols. Soltrop* 89. P 307-327.

Papavizas G.C., 1985. Trichoderma and Gliocladium : Biology, ecology and potential for biocontrol. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 23 : 23-54.

Pasquet R.S. et Baudoin J.P., 1997. Cowpea. tropical plant breeding, CIRAD, Paris, 211 - 219.

Paulitz T.C., Ahmad J.S. et Baker R., 1990. Integration of *Pythium nunn* and *Trichoderma harzianum* isolate T-95 for the biological control of *Pythium dampingoff* cucumber. *Plant Soil* 121 : 243-250.

Peoples M.B., Boddey R.M., and Herridge D.F., 2002. Quantification of nitrogen fixation. In: Leigh GJ (ed) Nitrogen fixation at the millennium. *Elsevier, Brighton*, pp: 357-389.

Pera A., Vallini G., Sireno I., Bianchin M.L. and Bertoldi. M., 1983. Effect of organic Persoons E., *Agronomie Moderne bases physiologiques et agronomiques de la production végétale.* HATIER-AVPELF-UREF.

Perucci P., 1990. Effect of the addition of municipal solid waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. *Biology & Fertility of Soils* 10:221-226.

Petersen U. and Stöppler-Zimmer H., 1999. Orientierende Felversuche zur Anwendung Von Biokomposten unterschiedlichen Rottegrades. Paper read at Runder Tisch Kompost : Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost- Bewertung von Bindungsdynamik und Düngewert, Wien.

Picasso C., Asimi S., et Dhery M., 1984. Le soja en Haute-Volta: Résultats de la recherche et application au développement. *Oléagineux*, 39 (5): 273-279.

Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J.F. ArrivetS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques. *L'agron. Trop.*, 36 (2) : 12133.

Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J.F. ArrivetS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques. *L'agron. Trop.*, 36 (2) : 12133.

- Pieri C., 1989. Fertilisation des terres de savanes. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du sahara. Ministère de la coopération-IRAT/CIRAD. 444p.
- Pivkin M. V., 2000. Filamentous fungi associated with holoturians from the Sea of Japan, off the Primorye coast of Russia. *Biol. Bull.*, , 198 (1) : 101-109.
- Plenchette C., Clermont-dauphin C., Meynard J.M. & Forin J.A., 2005. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Cano J. Plant Sci.* 85: 31-40.
- Pousset., 2000. Engrais verts et fertilité des sols. Editions agri-décisions. 287p.
- PRESAO., 2012. Analyse de la compétitivité de la filière maïs au Burkina Faso : Rapport Final N° 3- 2011-12 – Maïs. 36P <http://www.aec.msu.edu/fs2/presao.htm>(consulté le 14/06/2013).
- Ragnaud J.M., Marceau C., Roche-bezian M.C. & Wone C., 1984. Infection péritonéale à *Trichoderma koningii* sur dialyse péritonéale continue ambulatoire. *Med. Maladies Infect.*, , N° 7-8 : 402-405.
- Raimbault M., 1980. Fermentation en milieu solide. Croissance de champignons filamenteux sur substrat amylicé. Thèse d'Etat. Univ. Paul SABATIER, Toulouse, 291 p.
- Richard B. N., 1974. Introduction to the soil ecosystem. Longman Harlow Essex, Inc., New-York, 266 p.
- Rifai M.A., 1969. A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycol. Papers.*, , 116 : 1-56.
- Roquebert M.F., 1996. Interactions antagonistes des *Trichoderma* sp. dans les systèmes telluriques : Systématique, biologie et écologie des organismes. Compte-rendu des 4èmes Rencontres en Toxinologie, Paris, , 13-15.
- Roussos S., Raimbault M., 1982. Hydrolyse de la cellulose par les moisissures. 1. Screening des souches cellulolytiques. *Ann. Microbiol.* -1.-3-3 B : 455-464.
- Roussos S., 1985. Croissance de et *Trichoderma harzianum* par fermentation en milieu solide: physiologies, sporulation et production de cellulases. Thèse de doctorat université de Provence 185p.
- Rubeena M., Neethu K., Sajith S., Sreedevi S., Prakasan P., Unni K. N., Sarath M. K., Jisha.V. N., Pradeep.S., Sailas.B., 2013. Lignocellulolytic activities of a novel strain of *Trichoderma harzianum*. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2013, 4, 214-221.
- Ruiz-Duenas F.J. and Martínez A.T., 2009. Microbial degradation of lignin: How a bulky recalcitrant polymer is efficiently recycled in nature and how we can take advantage of this. *Microbial Biotechnology*, 2, 164-177.

- Sallenave-namont C., Pouchus Y.F., Robiou D.T., Lassus P. & Verbist J.F., 2000.** Toxicogenic saprophytic fungi in marine shellfish farming areas. *Mycopathologia*, , 149 (1) : 21-25.
- Samuels G.J., Petrini O. & Manguin S., 1994.** Morphological and macromolecular characterization of *Hypocrea schweinitzii* and its *Trichoderma* anamorph. *Mycologia*, , 86 : 421-435.
- Sanchez P. A., 2002.** Soil fertility and hunger in Africa. *Science* 295: 2019 - 2020.
- Sanchez P. A., Nicholaides J.J., Couto W., 1997.** Physical and chemical constraint to food production in tropics. In G. BIXLER & L.W. SHENILT; eds. *Chemistry and World food supplies: The new frontiers*, CHEMERAWN II, Los Baños Philippines, IRRI, pp 89-105.
- Sandgren M., Stahlberg J. & Mitchinson C., 2005.** Structural and biochemical studies of GH family 12 cellulases: improved thermal stability, and ligand complexes. *Prog. Biophys. Mol. Bio.*, , 89 : 246-291.
- Sanginga N., Carsky R.J. & Dashiell K., 1999.** Arbuscular mycorrhizal fungi respond to rhizobial inoculation and cropping systems in farmers' field in the Guinea savanna. *Biol Fertil Soils* 30:179-186.
- Schaumann K., 1993.** Marine pilze. In : *Mikrobiologie des meeresbodens*. Meyer-Reil L.A. und Köster M. Jena : Gustav Fischer Verlag, , 144-195.
- Sedogo P.M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous *culturel* incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat. Univ. Cocody.. 285p.
- Seguin P., Degenilh B., Grulois I., Gacouin A., Maugendre S., Dufour T., Dupont B. & Camus C., 1995.** Successful treatment of a brain abscess due to *Trichoderma longibrachiatum* after surgical resection. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.*, , 14 : 445-448.
- Sewage-Sludge and compost from Garbage with sewage-Sludge on soil Fertility Criteria.** *Journal of Agronomy and Crop Science* 160:173-179.
- Shanmugaiah V., Balasubramanian N., Gomathinayagam S., Monoharan P.T., Rajendran A., 2009.** Effect of single application of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescences* on growth promotion in cotton plants. *Afr. J. Agric. Res.* 4(11): 1220-1225.
- Schaumann K., 1993.** Marine pilze. In : *Mikrobiologie des meeresbodens*. Meyer-Reil L.A. und Köster M. Jena : Gustav Fischer Verlag, 144-195.
- Sheffer F. and Schachtschabel P., 1989.** *Lehrbuch der Bodenkunde*. 12 ed. Stuttgart: EnkeVerlag.
- Shoresh M., Harman G.E., Mastouri F., 2010.** Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *The Annual Review* 2010. 48:1-23.

- Siband P., 1972. Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance. Principaux résultats. L'agron., Trop. 27 (5):574-591.
- Singh B.B., Chambliss O.L. & Sharma B., 1997. Recent advances in cowpea breeding. In advances in cowpea research; Singh B.B., Mohan R.D.L., Dashielle K.E., Jackai L.E. (pub) JIRCAS - IITA Nigeria. pp 30-49. The genetic morphological and physiological evaluation of African cowpea genotypes, Ph D, university of the free state Bloemfontein, South Africa. 131p.
- Sivan A., Ucko O., Chet I., 1987. Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato by *Trichoderma harzianum* under field conditions. - *Plant Dis.*, , 71(7), 587-592.
- Sivan A. and Harman G.E., 1991. Improved rhizosphere competence in a protoplast fusion progeny of *Trichoderma harzianum*. *Journal of General Microbiology* 137 : 23-29.
- Smith J.L. and Paul E.A., 1990. The signification of soil microbial biomass estimations. In: Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son alimentation. Collection Sciences et techniques agricoles. néédition, 472p.
- Sopher C.D. and Baird J.V., 1978. Organic matter and soil organisms. Soil and soil management. Reston Publishing comp.USA, 238p.
- Stamatiadis S., Werner M. and Buchanan M., 1999. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California). *Applied Soil Ecology* 12:217-225.
- Sternberg D., 1976. Production of cellulase by *Trichoderma*. *Biofechnol. Bioeng.*, Symp. no 6, 35-53.
- Sternberg D. & Dorval S., 1978. Cellulase production and ammonia metabolism in *Trichoderma reesei* on liigli levels of cellulose. *Biotechnol. Bioeng.*, 21, 181-191. Man, S. W. (1979) Cellulose degradation. *Bioeng.*, 21-725
- Sugiyama J., 1987. Pleomorphic fungi: the diversity and its taxonomic implications. Tokyo: Elsevier, pp. 29-56, 325 p.
- Sun H., Ge X., Hao Z. and Peng M., 2010. Cellulase production *Trichoderma* sp. On apple pomace under solid state fermentation . *African Journal of Biotechnology*, 9(2): 163-166.
- Szakacs G. and Tengerdy R.P., 1996. Production of cellulase and xylanase with selected filamentous fungi by solid substrate fermentation. In: Enzymes for pulp paper processing. *Amer. Chem. Soc.* pp: 175-182.
- Tanis B.C., Vander P.H., Van O.M.L., Kibbelaar R.E. & Chang,P.C., 1995. Fatal fungal peritonitis by *Trichoderma longibrachiatum* complicating peritoneal dialysis. *Nephrol. Dial. Transpl.*, , 10 (1) : pp114-116.

- Timmermann F., Kluge R., Stahr K. and Zauner G., 1999.** Erarbeitung von Grundlagen für Anwendungsrichtlinien zur Verwertung geeigneter Rest- und Abfallstoffe im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Ackerbau). PWAB-Forschungsvorhaben PW 95 171 des Bundeslandes Baden-Württemberg, Abschlussbericht 1999, 276 Seiten, 54 Abbildung, 70 Tabellen und Anhang.
- Vanderborght T. et Baudoin, J.P., 2001.** Niébé [*Vigna unguiculata* (L) Walpers] In: *Agriculture en Afrique tropicale* (ed. Raemaekers, R.)
- Vanlauwe B., Aihou K., Aman S., Iwuafor E.N.O., Tossah B.K., Diels J., Sanginga N., Verma M, Brar S.K, Tyagi R.D, Surampalli R.Y, Valero J.R., 2007.** Antagonistic fungi *Trichoderma* spp: Panoply of biological control. *Biochem. Eng. J.* 37: 1-20.
- Vanlauwe B., Aihou K., Aman S., Iwuafor E.N.O., Tossah B.K., Diels J., Sanginga N., 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.
- Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., Marra R., Barbetti M.J., Li H., Woo S.L., Lorito M., 2008.** *Trichoderma* -plant -pathogen interactions. *Soil Biol. Biochem.* 40: 1-10.
- Windham MT, Elad Y, Barker R (1986). A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 76(5):518-521.
- Vining L.C., 1990.** Fonctions of secondary metabolites. *Annu. Rev. Microbiol.*, , 44 : 395-427
- Vintilă T., Bica-adina N., Toth S. and Dragomirescu M., 2008.** Study concerning production of cellulase enzymes in solid state cultures of *Trichoderma viride* . *Zootehnie și Biotehnologii*, 41(1):188-194.
- Viterbo A., Haran S., Friesem D., Ramot O. and Chet I., 2001.** Antifungal activity of a novel endochitinase gene (chit36) from *Trichoderma harzianum* Rifai TM. *FEMS Microbiology Letters*, 200, 169-174.
- Vizcaino J.A., Sanz L., Cardoza R.E., Monte E. & Gutierrez S., 2005.** Detection of putative peptide synthetase genes in *Trichoderma* species: Application of this method to the cloning of a gene from *T. harzianum* CECT 2413. *FEMS Microb. Lett.*, , 244 : 139–148.
- Werner W., Sherer H.W. and. Olfs H.W., 1988.** Influence of Long-Term Application of Sewage-Sludge and compost from Garbage with sewage-Sludge on soil Fertility Criteria. *Journal of Agronomy and Crop Science* 160:173-179.
- Whipps J.M., 1992.** Status of biological disease control in horticulture. *Biocontrol Science and Technology* 2:3-24.

Widden P. & Abitbol J.J., 1980. Seasonality of *Trichoderma* species in a spruce-forest soil. *Mycologia*, 72 : 775-784.

Wilkie H. G., 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and evolution of maize; In plant genetics resources, A Conservation Imperative. AAAS Selected Symp, 87. pp1-13.

Windham M.T., Elad Y., Baker R., 1986. A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 76(5):518-521.

Yedidia I., Benhamou N., Chet I., 1999. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. - *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(3), 1061-1070.

Zheng Z., Shetty K., 2000. Enhancement of pea (*Pisum sativum*) seedling vigor and associated phenolic content by extraction of apple pomace fermented with *Trichoderma* spp. *Proc. Biochem.* 36:79-84.

ANNEXE : Tableau recapitulatif de la biomasse du Niébé et du Maïs ainsi que le nombre de nodules

N° Pot	Traitement	Culture	Biomasse Racinaire(g)	Biomasse Aérienne(g)	Nombre de nodules	Observations
1	Témoin	Maïs	2,0706	5,0603		
2	Témoin	Maïs	2,0158	4,5586		
3	Témoin	Maïs	1,6068	4,6252		
4	Témoin	Maïs	1,6601	5,3819		
5	Témoin	Maïs	1,7787	4,4698		
6	Témoin	Maïs	1,7209	3,7868		
7	Témoin	Niébé	0,4167	4,1743	34	
8	Témoin	Niébé	0,3669	2,7808	21	
9	Témoin	Niébé	0,6908	5,1145	79	
10	Témoin	Niébé	0,7574	4,226	17	
11	Témoin	Niébé	0,7034	5,4867	25	
12	Témoin	Niébé	0,5885	4,6508	37	
13	Compost seul	Maïs	2,3495	7,113		
14	Compost seul	Maïs	2,1531	7,7366		
15	Compost seul	Maïs	2,1434	6,733		
16	Compost seul	Maïs	1,6985	7,3445		
17	Compost seul	Maïs	2,2036	5,9413		
18	Compost seul	Maïs	1,9473	6,7207		
19	Compost seul	Niébé	0,503	2,462	27	
20	Compost seul	Niébé	0,7099	5,6023	39	
21	Compost seul	Niébé	0,4162	4,9623	18	
22	Compost seul	Niébé	0,4835	4,8183	22	
23	Compost seul	Niébé	0,554	4,8119	32	
24	Compost seul	Niébé	0,2894	2,754	5	

N° Pot	Traitement	Culture	Biomasse Racinaire(g)	Biomasse Aérienne(g)	Nombre de nodules	Observations
25	Compost + trichoderma	Maïs	1,9357	6,832		
26	Compost + trichoderma	Maïs	1,3593	5,7294		
27	Compost + trichoderma	Maïs	1,776	6,177		
28	Compost + trichoderma	Maïs	1,6717	6,3222		
29	Compost + trichoderma	Maïs	1,9017	5,3655		
30	Compost + trichoderma	Maïs	1,2605	5,5589		
31	Compost + trichoderma	Niébé	0,4059	4,9286	23	
32	Compost + trichoderma	Niébé	0,5917	5,7843	49	
33	Compost + trichoderma	Niébé	0,5188	5,5278	31	
34	Compost + trichoderma	Niébé	0,3038	4,4524	32	
35	Compost + trichoderma	Niébé	0,4869	3,9815	15	
36	Compost + trichoderma	Niébé	0,4914	4,8129	16	
37	NPK seul	Maïs	4,4231	18,0576		
38	NPK seul	Maïs	3,2217	20,5581		
39	NPK seul	Maïs	4,6188	18,1825		
40	NPK seul	Maïs	4,9804	18,4298		
41	NPK seul	Maïs	5,233	17,7308		
42	NPK seul	Maïs	4,6794	15,432		
43	NPK seul	Niébé	0,8084	5,9643	9	
44	NPK seul	Niébé	0,7191	6,3874	14	
45	NPK seul	Niébé	0,605	3,8748	0	
46	NPK seul	Niébé	0,9487	6,2899	14	
47	NPK seul	Niébé	1,028	6,8357	4	
48	NPK seul	Niébé	0,7874	6,4786	11	

N° Pot	Traitement	Culture	Biomasse Racinaire(g)	Biomasse Aérienne(g)	Nombre de nodule	Observations
49	Compost + NPK	Maïs	6,1244	20,973		
50	Compost + NPK	Maïs	5,5899	18,4145		
51	Compost + NPK	Maïs	4,2354	22,4554		
52	Compost + NPK	Maïs	4,6058	17,4945		
53	Compost + NPK	Maïs	4,9082	17,4101		
54	Compost + NPK	Maïs	3,7596	23,4918		
55	Compost + NPK	Niébé	0,5309	6,4077	0	
56	Compost + NPK	Niébé	0,5474	6,5168	6	
57	Compost + NPK	Niébé	0,6112	8,0852	4	
58	Compost + NPK	Niébé	0,8302	7,2992	15	
59	Compost + NPK	Niébé	0,8154	6,0746	3	
60	Compost + NPK	Niébé	0,7908	5,9136	15	
61	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	3,0582	22,4059		
62	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	4,8175	21,5908		
63	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	6,0113	14,3572		
64	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	3,6292	24,0127		
65	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	4,4375	23,6539		
66	Compost + NPK + Trichoderma	Maïs	3,7577	18,5889		
67	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,6925	6,0573	11	
68	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,7832	5,5378	11	
69	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,9307	8,4962	13	
70	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,7535	6,8535	16	
71	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,8634	6,832	15	
72	Compost + NPK + Trichoderma	Niébé	0,6653	6,456	0	