

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Vulgarisation Agricole

Thème :

Evaluation de différentes formulations de compost associé ou non aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien arbusculaire (CMA) sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et le rendement du chou (*Brassica oleracea* L.)

Présenté par M. SAWADOGO Adama

Directeur de mémoire : Pr SOMDA Irénée

Co-directeur de mémoire : M. DAO Bégué

Maître de stage : Dr SANON B. Kadidia

N° :2017 /VA

Juillet 2017

Table des matières

Page

Dédicace.....	iv
Remerciements.....	v
Liste des sigles et abréviations.....	vii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Résumé.....	x
Abstract.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
Chapitre I : Généralités sur le chou et mode de fertilisation.....	5
1.1. Généralités sur le chou.....	5
1.1.1. Classification et morphologie du chou.....	5
1.1.2. Ecologie et cycle de développement du chou.....	5
1.1.3. Importance de la culture maraîchère et de la production du chou au Burkina Faso.....	6
1.1.4. Contraintes phytosanitaires et édaphiques de la production du chou.....	8
1.2. Fertilisation minérale et organique du chou.....	10
1.2.1. Fertilisation minérale.....	10
1.2.1.1. Mode d'application et effet de la fertilisation minérale.....	10
1.2.1.2. Contraintes liées à la fertilisation minérale.....	11
1.2.2. Fertilisation organique.....	11
1.2.2.1. Types de fertilisants organiques.....	11
1.2.2.2. Rôle et importance du compost.....	12
1.2.2.3. Contraintes liées à l'utilisation du compost.....	13
Chapitre II : Généralités sur les champignons mycorhiziens et du genre <i>Trichoderma</i>	14
2.1. Champignons mycorhiziens.....	14
2.1.1. Définition.....	14
2.1.2. Types de mycorhizes.....	14
2.1.2.1. Ectomycorhizes.....	15
2.1.2.2. Endomycorhizes.....	16
2.1.2.3. Ectendomycorhizes.....	16
2.1.3. Rôles agronomiques et écologiques des champignons mycorhiziens.....	17

2.1.3.1. Absorption de l'eau et des minéraux.....	17
2.1.3.2. Activités hormonales des mycorhizes et agrégation des particules du sol.....	17
2.1.3.3. Protection contre les agents pathogènes et résistance au stress environnemental	18
2.2. Champignons du genre <i>Trichoderma</i>	19
2.2.1. Classification et biologie du <i>Trichoderma</i>	19
2.2.2. Importance du <i>Trichoderma</i>	19
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	21
Chapitre III : Matériel et méthodes	22
3.1. Matériel.....	22
3.1.1. Présentation des sites d'expérimentation	22
3.1.2. Matériel végétal, biologique et biologique	23
3.1.2.1. Chou	23
3.1.2.2. Compost	23
3.1.2.3. <i>Trichoderma</i>	24
3.1.2.4. Champignon mycorhizien arbusculaire.....	24
3.2. Méthodes	25
3.2.1. Préparation de l'inoculum de CMA	25
3.2.2. Revivification et multiplication du <i>Trichoderma</i>	25
3.2.3. Inoculation des souches de <i>Trichoderma</i> au compost	27
3.2.4. Mise en place et conduite de la pépinière	27
3.2.5. Mise en place et conduite de l'essai.....	27
3.2.5.1. Dispositif expérimental	27
3.2.5.2. Mise en place de l'essai.....	30
3.2.5.3. Entretien de l'essai	30
3.2.6. Collecte des données.....	31
3.2.6.1. Prélèvements et analyses des échantillons de sol.....	31
3.2.6.2. Prélèvements et analyses du compost	32
3.2.6.3. Paramètres de croissance végétative et du rendement	32
3.2.6.4. Vérification de la présence et possibilité de mycorhization de CMA.....	32
3.2.6.5. Test de dégustation.....	32
3.2.7. Analyse des données	33
Chapitre IV : Résultats-Discussion	34
4.1. Résultats.....	34

4.1.1. Composition du compost inoculé aux <i>Trichoderma</i> et non inoculé	34
4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols	34
4.1.3. Effet des traitements sur les paramètres agromorphologiques et le rendement du chou	36
4.1.3.1. Effet du mode de traitement phytosanitaire	36
4.1.3.2. Effet des types de fertilisants comparés	38
4.1.3.3. Effet des types de fertilisants en fonction du mode de traitement phytosanitaire sur la masse moyenne d'un chou.....	41
4.1.4. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques et biologiques du sol.	42
4.1.4.1. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques du sol	42
4.1.4.2. Effet des types de fertilisants sur l'activité respiratoire dans le mode de traitement phytosanitaire biologique.....	48
4.1.5. Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou	49
4.2. Discussion.....	50
4.2.1. Effet des traitements sur les paramètres agromorphologiques et la masse moyenne	50
4.2.2. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques.....	51
4.2.3. Effet des types de fertilisants sur l'activité biologique dans le mode de traitement phytosanitaire biologique.....	53
4.2.4. Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou	53
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS et PERSPECTIVES	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
Annexes.....	A

Dédicace

Seuls meurent ceux qu'on oublie, vous demeurez à jamais dans nos cœurs! A la mémoire de ma grand-mère maternelle et de mon maître de stage, Feues **OUATTARA Nadjouma** et **Dr SANON B. Kadidia**, toute ma profonde gratitude. Que vos âmes reposent en paix ! Amine.

Remerciements

Comme le mentionne un proverbe mooga, une seule main ne peut pas ramasser la farine. Le présent mémoire est l'effort conjugué de plusieurs personnes et nous tenons à leur exprimer notre profonde reconnaissance. Ainsi nos remerciements s'adressent :

- Au projet PARADE pour le financement de ce travail réalisé dans son cadre;
- Au docteur BACYE Bernard, Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR), l'ensemble du corps enseignant et du personnel administratif, qui ont su assurer notre formation dans le domaine des sciences agronomiques et connexes;
- A madame KERE/KANDO Christine, Directrice Régionale de l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) et son personnel pour nous avoir donné l'occasion d'y faire notre stage;
- A GIE BIOPROTECT pour la collaboration;
- Hommage au docteur **SANON B. Kadidia**, microbiologiste des sols, chercheur au Laboratoire de Microbiologie du Département Productions Forestières de l'INERA de Ouagadougou, notre maître de stage. Malgré la distance, elle a pu nous orienter dans nos travaux et s'est déplacée pour nous rencontrer et visiter nos essais à chaque fois que nécessaire et nous a quittés pendant la finition de ce mémoire. Nous lui sommes très reconnaissants et satisfaisants pour ce thème et l'encadrement;
- Au professeur SOMDA Irénée, Enseignant chercheur à l'Université Nazi BONI ex. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, responsable du laboratoire de phytopathologie de l'IDR, notre directeur de mémoire, merci pour nous avoir accordé la souche du champignon *Trichoderma* et le laboratoire pour nos travaux et vos différents apports dans ce présent mémoire;
- A M. DAO Bégué, chef de département Agronomie, notre Co-directeur de mémoire, merci pour l'appui à l'élaboration du présent document;
- Au docteur KAMBIRE Cédric Fabèkourè, chercheur à l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) Ouest et coordonnateur du projet PARADE, merci pour vos différentes corrections apportées à nos travaux et encouragements;
- A la doctorante madame OUEDRAOGO/OUEDRAOGO Adèle, notre Co-maître de stage, nous lui témoignons notre profonde gratitude pour ses conseils, l'encouragement, l'orientation et le suivi;

➤ Aux doctorants M. TRAORE Oumarou et M. OUEDRAOGO Félix qui malgré leur préparation dans les activités de leur Thèse, n'ont cessé de nous prodiguer des conseils et des encouragements;

➤ A M. SAVADOGO Idrissa, technicien au laboratoire de physique du sol à l'IRSAT, qui nous a aidés pour les activités de préparation de la mise en place de l'essai, merci pour l'accompagnement;

➤ A M. SANON Abdoulaye et M. SANOU Amoro, nos producteurs des sites, merci pour les travaux de suivi et votre dévouement;

➤ A M. PALLE Ollo, technicien au laboratoire de phytopathologie de l'IDR, nous lui disons merci pour le soutien et conseils dans nos travaux au sein du laboratoire;

➤ A M. OUATTARA Amoro, technicien au laboratoire de GRN/SP à Farako-Bâ et ses manœuvres, merci pour vos conseils, soutiens et encouragements;

➤ A tous nos camarades de la promotion, merci pour leur amitié et assistance;

➤ A nos camarades stagiaires de l'IRSAT, POODA Lamine, COULIBALY Ollo Cheick Ibrahim, DJIGUEMDE Daouda, DIALLO Saïdou, MILLOGO Adolphe, NIMI Issouf et GANSONRE Sayouba pour l'assistance et l'encouragement;

➤ A notre père SAWADOGO Mahamadi, nos frères et sœurs, merci pour l'amour, le soutien et l'encouragement;

➤ A notre mère OUATTARA Nafarma et toute sa famille OUATTARA, ce document est le fruit de votre patience et amour, nous vous témoignons notre profonde gratitude pour l'accueil, le soutien et les sacrifices;

➤ A nos oncles et tantes maternelles, merci pour la motivation;

➤ A M. SANON Abdramane, pour ses différents apports et encouragements;

➤ A tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et dont les noms n'ont pu être cités.

Puisse Dieu vous rendre à chacun le bienfait de ses actes !

Liste des sigles et abréviations

AIA: Indole Acetic Acid (Acide indole 3-acétique).

ANOVA: *Analysis Of Variance* (Analyse de Variance).

CMA: Champignons Mycorhiziens Arbusculaires.

DEF: Département Environnement et Forêt.

DGPER: Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale.

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

GIROVAR: Gestion Intégrée des Résidus Organiques par la Valorisation Agronomique à la Réunion.

GRN/SP: Gestion des ressources Naturelles/Système de Production.

IDR: Institut du Développement Rural.

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

IRSAT: Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies.

JAR: Jour Après Repiquage.

MAH: Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique.

MAHRH: Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques.

ONG: Organisation Non Gouvernementale.

PARADE: Renforcement de la résilience, des systèmes productifs maraîchers à l'application des principes agro-écologiques au Burkina Faso.

Liste des tableaux

Tableau I : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de chou comestible.....	8
Tableau II: Traitements comparés pour l'expérimentation	28
Tableau III: Composition moyenne du compost utilisé	34
Tableau IV : Composition physico-chimique moyenne du sol des sites	35
Tableau V: Croissance en hauteur du chou en fonction du mode de traitement phytosanitaire	36
Tableau VI : Diamètre au collet du chou en fonction du mode de traitement phytosanitaire	36
Tableau VII: Hauteur du chou (cm) à 30 JAR en fonction des formulations de fertilisants..	38
Tableau VIII: Variation du diamètre au collet du chou en fonction des fertilisants	39
Tableau IX: Variation de la masse moyenne en fonction du mode de traitement phytosanitaire	41
Tableau X: Variation de l'acidité du sol en fonction des traitements sur le site de Léguema	43
Tableau XI: Effet des traitements sur le carbone et les éléments majeurs (N, P et K) sur le site de Léguema	45
Tableau XII: Effet des traitements sur les bases échangeables en fonction des profondeurs 0-15 et 15-30 cm.....	47

Liste des figures

Figure 1: Répartition du chiffre d'affaire par spéculation (Source : MAH, 2011).	7
Figure 2: Principaux types de symbioses mycorhiziennes représentés sur une coupe transversale de racine d'après Le Tacon (1985).....	15
Figure 3: Localisation de la zone d'étude	22
Figure 4: Processus de succession du compostage : (a) : fosse remplie; (b) : compost après retournement; (c) : compost tamisé et ensaché	23
Figure 5 : Deux souches de <i>Trichoderma harzianum</i> : (a) : Souche 1; (b) : Souche 2 (solsain)	24
Figure 6 : Spores de champignons mycorhiziens arbusculaires : (a) : <i>Acaulospora</i> sp. ; (b) : <i>Glomus</i> sp. (Source INVAM)	24
Figure 7: Maïs utilisé comme plante mycotrophe des CMA	25
Figure 8: Sporulation et vérification du <i>T. harzianum</i> : (a) : Préparation de l'inoculum isolat 1; (b) : Solution de <i>Trichoderma</i> souche 1 ajustée; (c) : Vérification de la viabilité de <i>T. harzianum</i> dans le solsain.....	26
Figure 9 : Dispositif expérimental.....	29
Figure 10: Taupe-grillon : (a) : vu de dos; (b) : vu de face	30
Figure 11 : Masse moyenne d'un chou en fonction du mode de traitements.....	37
Figure 12: Masse moyenne du chou en fonction des types de fertilisants testés	39
Figure 13: Evolution du cumul du dégagement du CO ₂ en fonction des types de fertilisants dans le mode de traitement biologique.....	48
Figure 14: Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou	49

Résumé

Au Burkina Faso, la productivité des cultures maraîchères est entravée par une double contrainte relative à la baisse de la fertilité des sols concomitamment à une hausse de la pression parasitaire et des maladies. Face à cela, les producteurs font recours aux produits chimiques (engrais et pesticides) qui sont dangereux pour les consommateurs, les utilisateurs et l'environnement. Afin de contribuer à l'accroissement de la productivité du chou par des pratiques respectueuses de la santé humaine et de l'environnement, une expérimentation a été conduite en milieu paysan dans la commune de Bobo-Dioulasso dans deux sites maraîchers (Kiri et Léguema). Dans un dispositif en split-plot, la méthodologie a consisté à tester deux (02) modes de traitement phytosanitaire (biologique et chimique) combinées à sept (07) types de fumures : T1 (30 t/ha de compost seul), T2 (10 t/ha de compost + 500 kg/ha de NPK 15-15-15 et 100 kg/ha d'urée), T3 (30 t/ha de compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga), T4 (30 t/ha de compost inoculé au *T. harzianum* conditionné par GIE BIOPROTECT), T5 (30 t/ha de compost + CMA), T6 (30 t/ha de compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA) et T7 (30 t/ha de compost inoculé au *T. harzianum* conditionné par GIE BIOPROTECT + CMA). Chaque mode de traitement phytosanitaire a été répétée quatre (04) fois. Les caractéristiques chimiques et biologiques du sol, le diamètre au collet, la hauteur ainsi que la masse moyenne du chou ont été évalués. Les résultats ont montré sur le site de Kiri que le traitement combinant le mode chimique et compost plus engrais induit une amélioration significative des paramètres agromorphologiques et la masse moyenne du chou. Les traitements compost seul (T1) et compost combiné aux *Trichoderma* et/ou au CMA (T3, T4, T5, T6 et T7) ont permis une amélioration du pH et la somme des bases échangeables. Pour le cumul du CO₂ dégagé, l'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les types de fertilisants. Selon le test de dégustation, 60,6 % des consommateurs préfèrent le chou traité aux biopesticides. L'intérêt de cette étude est de promouvoir l'usage des biopesticides en cultures maraîchères. Cependant, il serait intéressant d'analyser les taux de nutriments contenus dans le chou.

Mots clés : compost, *Trichoderma harzianum*, champignon mycorhizien arbusculaire (CMA), propriétés du sol, rendement, chou.

Abstract

In Burkina Faso, the productivity of market garden crops is hampered by a double constraint relating to the decline in soil fertility at the same time as an increase in parasite pressure and diseases. Faced with this, producers resort to chemicals (fertilizers and pesticides) that are dangerous for consumers, users and the environment. In order to contribute to the increase in cabbage productivity through practices that respect human health and the environment, an experiment was conducted in the peasant environment of Bobo-Dioulasso in two vegetable sites (Kiri and Léguema). In a split-plot device, the methodology consisted of testing two (02) phytosanitary treatment methods (biological and chemical) combined with seven (07) types of manure: T1 (30 t/ha of compost alone), T2 (10 t/ha of compost + 500 kg/ha of NPK 15-15-15 and 100 kg/ha of urea), T3 (30 t/ha of compost inoculated with *T. harzianum* strain Tabtenga), T4 (30 t/ha of compost inoculated with *T. harzianum* conditioned by GIE BIOPROTECT), T5 (30 t/ha of compost + CMA), T6 (30 t/ha of compost inoculated with *T. harzianum* strain Tabtenga + CMA) and T7 (30 t/ha of compost + CMA) ha of compost inoculated with *T. harzianum* conditioned by GIE BIOPROTECT + CMA). Each mode of phytosanitary treatment was repeated four (04) times. The chemical and biological characteristics of the soil, the neck diameter, the height and the average mass of the cabbage were evaluated. The results showed on the Kiri site that the treatment combining the chemical mode and compost plus fertilizer induces a significant improvement of the agromorphological parameters and the average mass of the cabbage. The compost alone (T1) and compost treatments combined with *Trichoderma* and/or CMA (T3, T4, T5, T6 and T7) allowed an improvement of the pH and the sum of exchangeable bases. For cumulation of CO₂ released, statistical analysis showed no significant difference between fertilizer types. According to the tasting test, 60.6 % of consumers prefer cabbage treated with biopesticides. The interest of this study is to promote the use of biopesticides in vegetable crops. However, it would be interesting to analyze the levels of nutrients contained in cabbage.

Key words: Compost, *Trichoderma harzianum*, arbuscular mycorrhizal fungi (CMA), soil properties, yield, cabbage.

INTRODUCTION GENERALE

Au Burkina Faso, l'agriculture demeure la principale activité car elle occupe plus de 80 % de la population active et contribue pour environ 33 % au Produit Intérieur Brut (MAHRH, 2011) et à plus de 50 % des recettes d'exportations (DGPER, 2010). Cette agriculture est dominée par les cultures céréalières dont la production est cependant assujettie à la saison pluvieuse. Cette saison pluvieuse est plus courte que la saison sèche, période pendant laquelle les producteurs sont relativement moins occupés. En conséquence, la production alimentaire est insuffisante mais aussi peu variée tandis que les revenus sont peu diversifiés.

Dans ce contexte, les cultures maraîchères occupent une place de choix parmi les filières porteuses en raison de leur caractère « contre saisonnier » et rémunérateur. Elles peuvent ainsi contribuer à la réduction de la pauvreté et au développement socio-économique du pays, en raison de la forte demande de produits maraîchers, de leur précieux apport alimentaire et nutritionnel (OUEDRAOGO, 2012). Selon TAPSOBA (2016), le revenu maraîcher représente 94 % du revenu total des maraîchers et contribue à 30,6 % dans l'achat de denrées alimentaires.

Cependant, la productivité des cultures est entravée par une double contrainte relative à la baisse de la fertilité des sols concomitamment à une hausse de la pression parasitaire et des maladies (COULIBALY *et al.*, 2012). La baisse de la fertilité en cultures maraîchères résulte de l'absence de jachère due à la culture continue des petites superficies. En plus les producteurs utilisent des doses importantes et souvent excessives de fumures organiques de qualités douteuses et d'engrais minéraux non raisonnés.

Les travaux de KIBA (2012) ont montré que l'utilisation des déchets solides et des eaux usées comme nutriments entraîne une accumulation de l'azote (N), du phosphore (P) et de métaux lourds dans les sols. Les travaux réalisés au Bénin (AGUEH *et al.*, 2015); relèvent un niveau élevé de contamination en métaux lourds des carottes et de la laitue. L'utilisation des déchets d'abattoirs entraîne une acidification des sols (KIBA, 2007). En outre, on note également une tendance à une utilisation excessive et non raisonnée des engrais. Tout ceci comporte des risques de pollution des eaux souterraines par les nitrates et des risques d'acidification (SANGARE, 2012). Selon de nombreux auteurs dont BERTRAND et GIGOU (2000), l'apport de ces engrais chimiques seuls acidifie à long terme les sols réduisant ainsi leur productivité.

L'autre problème crucial auquel est confronté la production maraîchère est l'œuvre destructrice des nuisibles. Ils entraînent une baisse des rendements, occasionnant ainsi la perte de grandes quantités de production, et par conséquent une diminution considérable du profit des différents

acteurs. Pour faire face à ce fléau, les maraîchers utilisent des pesticides chimiques, et de manière incorrecte, excessive avec souvent des produits prohibés. Des travaux de recherches indiquent une utilisation des produits phytosanitaires toxiques par les maraîchers. Il ressort que ces maraîchers ne tiennent compte ni de la rémanence, ni de la spécificité des produits tandis que les doses appliquées sont souvent supérieures à celles recommandées par les services de la vulgarisation (DELUCCHI, 1992 ; TOE *et al.*, 2002 ; BASSOLE et OUEDRAOGO, 2007). Au Bénin, les apports de pesticides sur la carotte et la laitue sont par exemple de l'ordre de 198,84 mg/kg en zinc ; 17,99 mg/kg en plomb ; 1042,33 mg/kg en fer et 11,02 mg/kg en cuivre alors que les normes CODEX STAN 1993-1995 révisées en 2007 sont respectivement de 5, 0,3, 2 et 3 mg/kg (AGUEH *et al.*, 2015). Cette utilisation inappropriée des pesticides affecte négativement la qualité des produits maraîchers. Par ailleurs, les pesticides sont associés à la dégradation de l'état écologique des eaux, à la réduction de la biodiversité (AUBERTOT *et al.*, 2005) et à la diminution des insectes utiles comme les pollinisateurs et les décomposeurs du sol (DIOUF, 2008).

Face à ces effets néfastes des intrants agrochimiques sur l'environnement ainsi que sur la santé humaine et la qualité des produits, l'agro-écologie se présente comme une alternative de gestion durable de la fertilité des sols. Cependant, le défi est de disposer des fertilisants organiques accessibles aux producteurs et permettant d'augmenter les rendements agricoles sans compromettre la fertilité des sols à long terme. Dans ce sens, des travaux ont démontré que la mycorhization améliore la nutrition hydrominérale de la plante et contribue à la stimulation de la fixation d'azote par les rhizobiums chez les légumineuses, d'où une augmentation de la biomasse et des rendements des cultures (HARO *et al.*, 2015).

Selon DALPE (2005), les mycorhizes permettent notamment la survie des plantes, leur biodiversité et la réduction des stress tant abiotiques que biotiques. Outre cela, les champignons du genre *Trichoderma* sont reconnus pour leurs propriétés d'assainissement des sols et de renforcement des résistances de certaines cultures vis-à-vis de certains champignons pathogènes comme les Siphomycètes, les Pythiocés, les champignons à sclérotés, les Trachéomycoses, *Botrytis cinerea* et les pourridiés de la matière organique morte. Ces espèces du genre *Trichoderma* sont également efficaces contre les parasites (ELAD, 2000 ; CARON *et al.*, 2002 ; CARON *et al.*, 2006 ; BOUZIANE *et al.*, 2011 ; COMBARY, 2016).

Au Burkina Faso, les expériences (par les producteurs du GIE Bioprotect) sur l'association du compost avec une espèce de *Trichoderma harzianum* semblent indiquer des résultats intéressants sur les rendements sans emploi d'engrais chimiques et de pesticides. Par conséquent, l'utilisation des mycorhizes et du *Trichoderma* pourrait contribuer à améliorer la

productivité des sols. Cependant, la littérature scientifique ne renseigne pas sur l'effet de l'association du compost au *Trichoderma* et/ou aux champignons mycorhiziens sur le sol et le rendement des cultures.

C'est ce qui justifie la présente étude intitulée «**Evaluation de différentes formulations de compost associé ou non aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien arbusculaire (CMA) sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et le rendement du chou (*Brassica oleracea* L.)**». Afin de contribuer à l'accroissement de la productivité du chou par des pratiques respectueuses de la santé humaine et de l'environnement, cette étude vise les objectifs suivants :

- évaluer les effets du compost associé aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien sur le rendement du chou;
- évaluer les effets du compost associé aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien sous traitement phytosanitaire biologique ou non sur le rendement du chou;
- évaluer les effets du compost associé aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien sur les caractéristiques chimiques et biologiques du sol.

En vue d'atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été émises :

- Le compost associé aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien entraîne une amélioration du rendement du chou sous traitement phytosanitaire biologique;
- Le compost associé aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien permet une amélioration des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol.

Après cette présente introduction, notre mémoire s'articule autour de quatre (04) chapitres organisés en deux (02) parties. La première partie fait cas de la synthèse bibliographique et la deuxième partie porte sur l'étude expérimentale. Cette deuxième partie présente aussi bien la méthodologie ainsi que les résultats et la discussion. Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats de l'étude et les perspectives qui en découlent.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur le chou et mode de fertilisation

1.1. Généralités sur le chou

1.1.1. Classification et morphologie du chou

Toutes les espèces de choux cultivées appartiennent à la famille des *Brassicaceae* (*Cruciferae*) et au genre *Brassica*. Deux espèces génétiquement proches sont les plus cultivées. La première (*Brassica oleracea* L. à $2n = 18$ chromosomes) regroupe les choux occidentaux : chou cabus, chou de Milan, chou rouge, chou-fleur, chou brocoli, chou de Bruxelles et chou rave. La seconde (*Brassica rapa* L. à $2n = 20$ chromosomes) rassemble de multiples formes de choux asiatiques dont les plus importants sont le pétsaï, le packchoï et le choy sum (GRY, 1992 ; GRUBBEN et DENTON, 2004). Le chou pommé *Brassica oleracea* L. a été classé dans la convar. *capitata* (L.) Alfet. Ensuite, il est subdivisé en var. *capitata* L. dont le chou blanc à feuilles lisses et blanches à vertes et le chou rouge à feuilles rouges ; et la var. *sabauda* L. dont le chou de Milan à feuilles vertes frisées (LAUMONNIER, 1978).

On considère cependant trois (03) types de choux pommés comme groupe de cultivars, qui sont respectivement le Groupe Chou blanc, le Groupe Chou rouge et le Groupe Chou de Milan. Mais en régions tropicales, des hybrides F1 de chou, remplacent de plus en plus les variétés telles que Golden Acre, Copenhagen Market, Glory of Enkhuizen, Drumhead et Sugarloaf. Parmi ces hybrides, nous avons Fresco, Gloria ou Green boy, Green Coronet, KK Cross, KY Cross, Hercules, Fabula, Rustica, Sahel et Oxylus. Tous ces hybrides sont tolérants et/ou résistants au *Xanthomonas* et au *Fusarium* (GRUBBEN et DENTON, 2004 ; KIMBA *et al.*, 2014).

Le chou pommé est une plante herbacée bisannuelle, érigée et glabre. Il peut atteindre 60 cm de haut lors de sa maturité végétative, et 200 cm au moment de la floraison. Le chou pommé présente des feuilles alternes et sessiles serrées les unes contre les autres et un système racinaire fortement ramifié (GRUBBEN et DENTON, 2004).

1.1.2. Ecologie et cycle de développement du chou

Le chou pommé pousse bien sous des températures journalières moyennes de 15 à 20°C avec une variation diurne d'au moins 5°C. Dans les régions tropicales, ces conditions ne sont remplies que sur les hautes terres, au-dessus de 800 m d'altitude. A des températures supérieures à 25°C, les jeunes plantes se développent encore correctement, mais la pomaison

prend du retard. La plupart des cultivars de chou pommé sont indifférents à la photopériode et ce sont essentiellement les faibles températures qui induisent l'initiation florale (GRUBBEN et DENTON, 2004).

Le chou pommé préfère les sols bien drainés et fertilisés, ayant une bonne capacité de rétention en eau, une forte teneur en matière organique et un pH de 6,5 à 7,5. En raison de son système racinaire ramifié et superficiel, le chou pommé nécessite un apport régulier en eau pendant toute sa période de croissance (GRUBBEN et DENTON, 2004).

Le semis se fait en pépinière suivi d'un repiquage. Il faut 250 à 300 g de semences pour 150 à 250 m² de pépinière pour un hectare (ABDOURAHAMANE, 2013 ; KIMBA *et al.*, 2014). Les graines germent au bout de 3 à 6 jours après semis. Un séjour de 25 à 30 jours est nécessaire aux plants dans la pépinière pour qu'ils deviennent vigoureux pour être repiqués au stade 4 à 6 vraies feuilles (GRUBBEN et DENTON, 2004). La densité de repiquage varie de 25 000 à 50 000 plants à l'hectare (ABDOURAHAMANE, 2013 ; KIMBA *et al.*, 2014).

Au cours du cycle végétatif de la plante, les premières feuilles s'ouvrent et se déploient jusqu'à former une rosette de feuilles extérieures. Les feuilles suivantes se développent en calotte et, en se recouvrant, forment l'enveloppe de la pomme. Le bourgeon terminal grossit, la tige s'épaissit et la pomme se remplit de feuilles charnues. La pomme est pleine et prête à être récoltée au bout de 80 à 120 jours après germination, en fonction du génotype et du climat (GRUBBEN et DENTON, 2004).

1.1.3. Importance de la culture maraîchère et de la production du chou au Burkina Faso

Bien que le maraîchage soit considéré comme une activité secondaire après les cultures pluviales, il représente un secteur créateur d'emplois et de lutte contre la pauvreté au Burkina Faso. Il crée en effet près de 400 000 emplois et représente 16,5 % de la valeur de l'agriculture et 10,5 % de la valeur du secteur primaire (MAH, 2011).

Environ 22 spéculations sont produites au Burkina Faso. Le chou occupe la troisième place en termes de superficie après l'oignon bulbe et la tomate. Le chou est produit sur environ 2 438 hectares soit 8,8 % de la superficie maraîchère totale du pays. On note une disparité inter-régionale des superficies dont plus de 300 hectares sont localisés dans la région des Hauts-Bassins (MAH, 2011).

La production nationale du chou est de 107 476 tonnes (14 % de la production maraîchère totale) avec un rendement moyen de 44 tonnes à l'hectare. Son chiffre d'affaire est de 14,47 milliards de F CFA, soit 18 % de la valeur totale de ventes des produits maraîchers (MAH, 2011). La figure 1 illustre la répartition du chiffre d'affaires par spéculation au Burkina Faso.

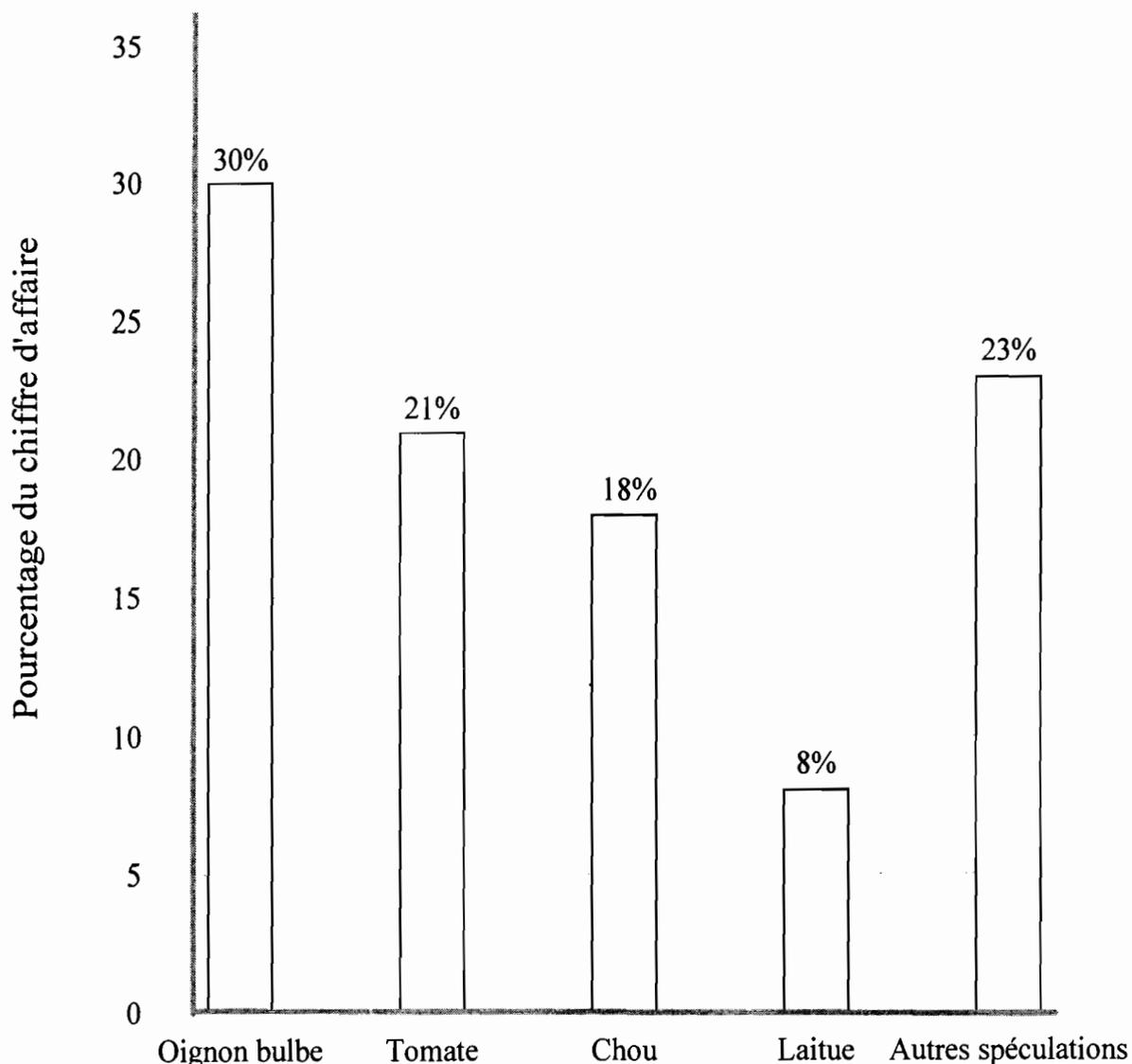


Figure 1: Répartition du chiffre d'affaire par spéculation (Source : MAH, 2011).

Le chou pommé se consomme généralement comme légume cuit à l'eau ou à l'huile. Il se mange également cru en salade, une fois coupée en lanière ou haché, ou en salade mixte. On peut le conserver après étuvage et séchage, ou bien par fermentation anaérobie dans la saumure pour donner la choucroute. Le chou pommé est riche en éléments minéraux (GRUBBEN et DENTON, 2004).

Du point de vue nutritionnel, le tableau I illustre la composition du chou pommé pour 100 g de partie comestible.

Tableau I : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de chou comestible.

Types d'éléments	Eléments	Teneur
Eau	Eau	90,10 g
Minéraux	Ca	52,00 mg
	Mg	8,00 mg
	P	41,00 mg
	Fe	0,70 mg
	Zn	0,30 mg
Eléments énergétiques	Glucides	4,10 g
	Protéines	1,70 g
	Lipides	0,40 g
Vitamines	Thiamine	0,15 mg
	Riboflavine	0,02 mg
	Carotène	385,00 µg
	Niacine	0,50 mg
	Folate	75,00 µg
	Acide ascorbique	49,00 mg
Fibres alimentaires	Fibres	2,90 g
Energie	Energie	109,00 kJ (26,00 kcal)

Source : HOLLAND *et al.*, 1991 cité par GRUBBEN et DENTON, 2004

En outre, le chou contient des glucosinolates qui, dans les feuilles broyées sont hydrolysés par l'enzyme myrosinase essentiellement en thiocyanates et en isothiocyanates ayant des propriétés antimicrobiennes et anticarcinogènes (GRUBBEN et DENTON, 2004).

1.1.4. Contraintes phytosanitaires et édaphiques de la production du chou

La culture intensive des espèces maraîchères est confrontée à diverses contraintes en relation avec différents facteurs tels que l'eau, les fertilisants et le contrôle phytosanitaire. Ce dernier élément semble être le facteur limitant le plus important notamment en ce qui concerne le maraîchage de petite superficie (TROPICASEM, 2013). Cette contrainte est liée à la pression

exercée par les insectes ravageurs tels que les chenilles dont la teigne du chou (*Plutella xylostella* D.), *Hellula undalis* F., mais aussi les pucerons (faux pucerons de chou : *Lipaphys erysimi* K.) et les maladies fongiques et bactériennes. Les maladies les plus fréquentes sont celles causées par la bactérie *Xanthomonas campestris* P. qui cause des lésions en forme de V et des pourritures sur les feuilles, et le champignon *Sclerotinia sclerotiorum* L. Ce dernier provoque des tâches aqueuses circulaires sur les feuilles (JAMES *et al.*, 2010 ; MONDEDJI *et al.*, 2015). Ces ravageurs (chenilles et pucerons) causent de 0 à 53,8 % de pertes totales de choux ; ces pertes surviennent surtout un mois après le repiquage. En ce qui concerne les dégâts causés aux feuilles extérieures de la pomme, ils s'élèvent de 3,5 à 53,8 % des choux et sont l'œuvre des pestes comme le ver gris (*Agrotis segetum* D.), les criquets et le grillon (WALANGULULU et MUSHAGALUSA, 2000). Cette contrainte est souvent corrélée avec une utilisation des pesticides à fortes doses et non raisonnée dans le but de réduire les risques de faillite (ONDO, 2011). Selon KANDA *et al.* (2013), les maraîchers n'appliquent jamais les doses et la fréquence indiquées par le fabricant sur les emballages des pesticides. Les instruments de mesure sont d'une précision peu fiable tels que les bouchons des contenants des produits phytosanitaires, les boîtes de tomates vides et les cuillères. Ces raisons s'expliquent par le fait que la plupart des maraîchers ne savent pas lire, impliquant des difficultés de lecture de modalités d'utilisation ; et la non-acquisition d'instruments de mesure précis (notamment éprouvette) pour les dosages normalisés.

La deuxième contrainte constitue la pauvreté et la baisse en éléments fertilisants des sols qui est l'un des plus grandes contraintes dans la production du chou (MAHRH, 2004). Les sols du Burkina Faso sont généralement pauvres en éléments fertilisants, notamment l'azote et le phosphore, avec une mauvaise structure (DEMBELE et SOME, 1991). Leurs propriétés physiques et hydrodynamiques sont de ce fait défavorables à l'infiltration et à la rétention de l'eau, leur affectant une grande sensibilité à l'érosion. L'appauvrissement de ces sols serait lié à la surexploitation des parcelles sans apport suffisante de matière organique caractéristique de l'agriculture maraîchère. Dans les savanes africaines, près de 83 % des terres cultivables en zones de savane souffrent de contraintes agronomiques, en majorité liées à la baisse de la fertilité des sols. La très grande majorité de ces sols sont pauvres en matière organique et déficientes en éléments minéraux (POULISSE, 2007 cité par OUEDRAOGO, 2013). De ce fait, presque tous les maraîchers utilisent divers types d'engrais minéraux de manière non raisonnée (KANDA *et al.*, 2014).

1.2. Fertilisation minérale et organique du chou

1.2.1. Fertilisation minérale

Les fertilisants minéraux sont produits soit par l'industrie chimique, soit par l'exploitation de gisements naturels (phosphate, potasse). Ils sont destinés à apporter un ou plusieurs éléments minéraux (N, P et K) indispensables à la croissance et au développement des cultures. On parle alors de fertilisation minérale (RASAMIARIVELO, 2014).

1.2.1.1. Mode d'application et effet de la fertilisation minérale

Les engrais minéraux contiennent des éléments fertilisants essentiels pour la croissance et le développement des plantes. La fumure minérale conseillée dans la production du chou est composée de 600 kg/ha de NPK (14-23-14 ou 15-15-15) en fumure de fond et 100 kg/ha d'urée en fumure de couverture en deux épandages égaux, soit 50 kg un mois après repiquage et 50 kg 30 à 45 jours plus tard.

Chacun des éléments fertilisants remplit une ou des fonctions spécifiques dans la croissance et le développement de la plante. Les carences en l'un de ces éléments se révèlent par des symptômes visuels caractéristiques sur la culture. Les éléments majeurs N, P et K doivent être apportés à la culture pour satisfaire ses besoins minéraux de façon à ne pas appauvrir rapidement les sols cultivés. L'utilisation des engrais minéraux s'impose, car elle permet d'assurer la nutrition des plantes, de restituer en partie au sol les éléments minéraux prélevés ou lessivés (OUEDRAOGO, 2013). La dose d'engrais (urée) apportée à la grande morelle et au chou pommé par les producteurs au sud-Bénin est de l'ordre de 333,33 kg/ha en moyenne. Cette dose est largement supérieure à celle recommandée qui est de l'ordre 75 à 150 kg/ha (AHOUANGNINO, 2013). Selon OUATTARA (2016), les maraîchers à l'ouest du Burkina Faso, appliquent en moyenne 693,94 kg/ha d'engrais minéraux. Cette utilisation abusive des engrais pourrait induire des effets négatifs sur la fertilité du sol, réduisant ainsi la productivité des cultures à long terme.

1.2.1.2. Contraintes liées à la fertilisation minérale

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 en tenant compte de la qualité des sols (POUYA, 2008).

L'utilisation des engrais chimiques a certes contribué à une augmentation spectaculaire des rendements en association avec l'utilisation de variétés sélectionnées, de pesticides et la mécanisation. Mais, cela n'a pas suffi à éliminer la famine. Par contre, de graves pollutions sont apparues, certaines forêts ont été saccagées au profit de l'agriculture et l'effet de serre s'est accru perturbant le régime des pluies (POUSSET, 2011). Sans aucune restitution organique, la fumure minérale détériore davantage les caractéristiques chimiques du sol avec le nombre d'années en culture. Elle peut à long terme entraîner une acidification des sols d'où des risques de toxicité aluminique (SOLTNER, 2003). Ce qui implique une réduction de la croissance (OUEDRAOGO, 2013). L'utilisation de la fumure organique permettrait de réduire ces contraintes.

1.2.2. Fertilisation organique

Pendant longtemps, les paysans étaient convaincus que le seul facteur limitant la production agricole était l'eau. Mais avec le développement des aménagements antiérosifs, les agriculteurs s'aperçoivent maintenant que l'eau et l'arrêt de l'érosion ne suffisent pas pour maintenir des rendements stables. La sensibilité générale vers des thèmes liés à la fertilisation, en particulier à l'égard de la fertilisation organique s'est donc notablement accrue. Selon ZONGO (2013) et RASAMIARIVELO (2014), la fertilisation organique consiste à apporter des fertilisants organiques, eux-mêmes dérivant des sous-produits végétaux et animaux plus ou moins décomposés par des processus biologiques. Partiellement humidifiés et minéralisés sous l'action des microflore du sol, ils agissent sur les composants physico-chimiques et biologiques du sol (RASAMIARIVELO, 2014).

1.2.2.1. Types de fertilisants organiques

La richesse des sols en matière organique est l'un des principaux indicateurs de la fertilité. De même, elle représente une caractéristique de plus en plus appréciée dans un contexte

global de changement climatique où le stockage du carbone dans les sols représente une alternative permettant la réduction du gaz carbonique atmosphérique (BOUJILA *et al.*, 2014).

Les fertilisants organiques utilisés en cultures maraîchères sont de nature et de forme variées (DIALLO, 2002). Ce sont les fumiers d'élevage, les résidus de récolte, les ordures ménagères, les drêches de brasserie, les déchets d'abattoirs, les excréta humains, les engrais verts constitués principalement des légumineuses et divers composts fabriqués (DEMBELE, 1994 ; MOUSTIER *et al.*, 2004 ; POUSET, 2011.). Toutefois, l'utilisation des fertilisants organiques présente des risques divers. KIBA (2007) note des risques de pollution en métaux lourds, et une alcalinisation des sols sur des périmètres maraîchers de Ouagadougou due à l'utilisation des déchets urbains. Il signale aussi une acidification du sol par les déchets d'abattoirs. D'autre part, la mauvaise qualité sanitaire de la fumure organique peut être une source de contamination par les pathogènes. DIOGO *et al* (2010) ont observé des germes de *Salmonella* et *Escherichia coli*, dans des échantillons de fumier collectés sur des périmètres maraîchers du Niger. La disponibilité des résidus de récolte, des mauvaises herbes et du fumier d'élevage pourrait contribuer à accroître la disponibilité du compost chez les producteurs.

1.2.2.2. Rôle et importance du compost

Le compostage vise à transformer un matériau en fin de vie, un déchet ou résidu en un amendement organique permettant d'améliorer la fertilité des sols (FRANCOU (2003). Le compostage permet une amélioration de la valeur fertilisante des résidus organiques par une réduction des masses et des volumes par rapport aux déchets initiaux (MUSTIN, 1987 ; FRANCOU, 2003). Il favorise aussi une baisse du rapport C/N de la matière organique, évitant ainsi l'immobilisation de l'azote (FARINET et NIANG, 2005 cité par SOMA, 2008). Selon SOMA (2008), le compostage permet d'augmenter la phyto disponibilité du phosphore de 332% et d'abaisser le rapport C/N de 40 %. Les travaux de KIBA (2005) renseignent que 01 kg de fèces humaines compostées contient 34 g de N-total, 15 g de P-total, et 22 g de K-total, avec un pH basique de 8,2 et un rapport C/N de 16.

L'utilisation du compost permet de lutter contre l'effet de serre additionnel en séquestrant le carbone dans le sol (HOUOT, 2002 cité par FRANCOU, 2003). L'apport répété de quantités significatives de compost engendre des modifications directes et indirectes sur les propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol, affectant ainsi la fertilité et la productivité de multiples façons (GIROVAR, 2011). Le compost permet d'améliorer la structure du sol par le

biais de la porosité qu'il améliore. Il en résulte, une amélioration de la capacité de rétention en eau, de l'aération, de la stabilité structurale ainsi que de la limitation de la compaction du sol (CULOT et LEBEAU, 1999 ; HUBER et SCHAUB, 2011).

Selon JERNAI *et al.* (2011), l'application du compost urbain à la dose de 40 t/ha et 80 t/ha augmente la macroporosité et la réserve utile du sol par rapport au fumier de ferme non composté après huit années de cultures successives. Les retombées bénéfiques sur les rendements sont convergentes. KIBA (2005) indique que l'utilisation des excréta humains hygiénisés (compostés ou traités) améliore le rendement de l'aubergine au même titre que les engrais minéraux à la dose de 17 185 l/ha pour les urines et 980 kg/ha pour les fèces. L'apport du compost d'abattoir seul à la dose de 20 t/ha augmente la production de laitue de 49% (SOMA, 2008). Au Maroc, l'utilisation du compost à 40 % a augmenté le rendement de laitue et de poireau, de 20 à 50% respectivement des terres végétales et sableuses (ZRAIBI *et al.*, 2015).

Par ailleurs le compost améliore l'exploration et la mobilisation des réserves du sol, à travers une augmentation de la biodiversité, un renforcement de la résistance du système sol-plante face aux maladies (POUSSET, 2011). En outre, il permet la rétention des micropolluants organiques et des pesticides, réduisant ainsi la toxicité du sol et des plantes ainsi que la pollution de la nappe phréatique (ALBRECHT, 2007 ; HUBER et SCHAUB, 2011). CHIDIKOFAN (2010) a constaté que les feuilles de laitue issues d'une culture avec le compost, contiennent moins de plomb (1,8 mg/kg de matière sèche) qu'avec l'engrais minéral (2,7 mg/kg de matière sèche).

1.2.2.3. Contraintes liées à l'utilisation du compost

La composition et la concentration des nutriments de la fumure organique compostée sont souvent variables, faibles et différentes des besoins des plantes. Lors de sa production, on peut avoir la présence de polluants du sol tels que les métaux lourds (GIROVAR, 2011). Par ailleurs, le compost étant enfoui dans les premiers centimètres du sol, le délai entre l'apport et la mise en culture est fonction de la stabilité du compost et de la sensibilité de la culture. Cela peut entraîner une faim d'azote due à une immobilisation de l'azote minéral par les microorganismes (FITXATECNICA, 2012). Dès lors, l'utilisation du compost seul ne permet pas de lever certaines difficultés liées à la fertilité du sol et aux besoins des plantes. Cependant l'association de compost aux champignons utiles pourrait être une alternative pour améliorer sa qualité agronomique en vue d'accroître efficacement les rendements.

Chapitre II : Généralités sur les champignons mycorhiziens et du genre *Trichoderma*

2.1. Champignons mycorhiziens

2.1.1. Définition

Mycorhize, vient du grec « *mycor* » qui signifie champignon et de « *rhiz* » qui signifie racine. Les mycorhizes sont des unions durables basées sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et les mycéliums des champignons. Cette symbiose réunit deux (02) organismes Eucaryotes ; l'un réalise la photosynthèse (plante) et l'autre assure sa nutrition par absorption (champignon). Chaque partenaire optimise son développement grâce à l'association. On parle donc de symbiose mycorhizienne. Les mycorhizes constituent les composantes essentielles dans la relation sol-plantes-microorganismes (STRULLU, 1991 ; DECHAMPLAIN et GOSSELIN, 2002 ; DUPONNOIS *et al.*, 2013 ; GARBAYE, 2013).

Parmi les diverses symbioses présentes dans le monde végétal, les mycorhizes semblent les plus fréquentes. Elles impliquent des champignons (Ascomycètes, Basidiomycètes et Zygomycètes) et une majorité (plus de 85 %) d'espèces végétales. Le complexe racine-champignon se traduit par divers bénéfices pour la plante : un accès accru aux minéraux, une utilisation de l'azote organique, une résistance aux maladies et aux nématodes et une tolérance aux pH acides et aux métaux lourds (FORTIN *et al.*, 2008). En retour, le champignon reçoit de l'hôte (plante) des hydrates de carbone issus de la photosynthèse (PERRIN, 1985).

2.1.2. Types de mycorhizes

De façon classique, les mycorhizes se subdivisent en trois groupes principaux basés sur le type de champignon associé. Celui-ci est soit asepté, c'est-à-dire Zygomycète de l'ordre des Glomales, soit septé, comme les Ascomycètes ou Basidiomycètes (PEYRONEL *et al.*, 1969 cité par HAMZA, 2014). La figure 2 illustre les principaux types de symbioses mycorhiziennes représentés sur une coupe transversale d'une racine.

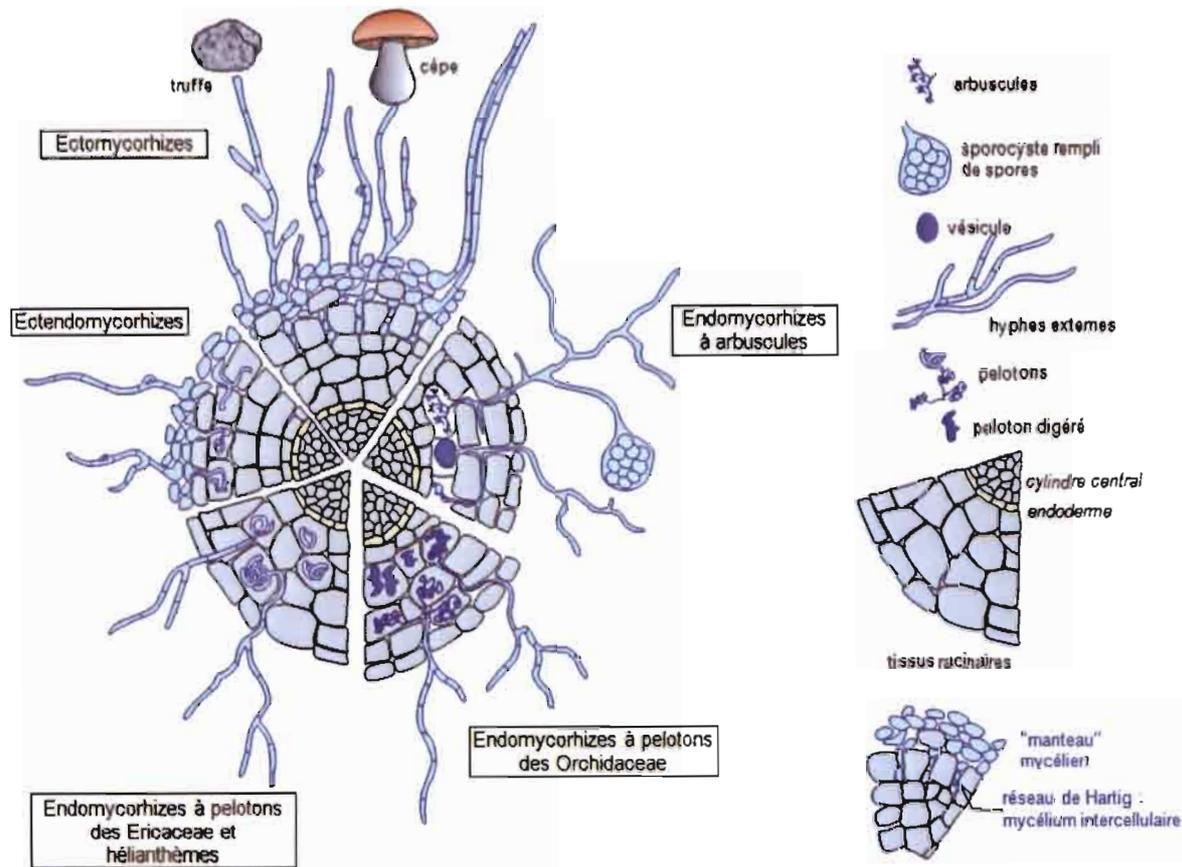


Figure 2: Principaux types de symbioses mycorhiziennes représentés sur une coupe transversale de racine d'après Le Tacon (1985).

2.1.2.1. Ectomycorhizes

L'ectomycorhize naît de la rencontre entre des hyphes d'un champignon mycorhizien et des racines d'un arbre. L'ectomycorhize se forme essentiellement avec des arbres forestiers tels que les résineux comme le pin, le sapin, le bouleau et l'épinette. Chez les ectomycorhizes, les hyphes entourent les racines de l'hôte et forment un amas d'hyphes appelé manteau ou manchon. Du manteau, les hyphes s'insèrent entre les cellules corticales sans y pénétrer, pour former le réseau de Hartig. Les échanges symbiotiques entre les partenaires se font au niveau du réseau de Hartig. A partir du manteau, le mycélium peut se développer et envahir le sol adjacent (DECHAMPLAIN et GOSSSELIN, 2002 ; FORTIN *et al.*, 2008).

Selon GARBAYE (2013), la symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 5 % des espèces végétales mais a été et est toujours très étudiée car ces espèces constituent la majorité des ligneux d'intérêt économique. Les champignons formant des ectomycorhizes appartiennent aux Ascomycètes et surtout aux Basidiomycètes (FORTIN *et al.*, 2008).

2.1.2.2. Endomycorhizes

Concernant les endomycorhizes, les champignons pénètrent à l'intérieur des cellules corticales des racines de façon subtile sans en perturber les structures. A partir de ce point de colonisation de la racine, le champignon développe un réseau mycélien et envahit le sol adjacent dans toutes les directions. Ce mycélium offre aux racines colonisées, une surface considérable de contact avec le sol (FORTIN *et al.*, 2008). Les champignons endomycorhiziens ne sont pas spécifiques et sont associés pratiquement à tous les végétaux ; les plantes forestières, agricoles et horticoles.

STRULLU (1991) distingue d'une part, les endomycorhizes à pelotons où le champignon mycorhizien colonise les cellules corticales des racines et y développe des pelotons formés d'hyphes cloisonnés, ce groupe renferme les mycorhizes des Ericacées ou éricoïdes et les mycorhizes des Orchidées et d'autre part les endomycorhizes à vésicules et arbuscules où le mycélium du champignon se ramifie et se développe dans le parenchyme cortical des racines pour former des arbuscules et des vésicules au sein des cellules. Les champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules sont les plus fréquents et très répandus à la surface du globe car ils se sont adaptés à de nombreux environnements et à différentes plantes hôtes (DALPE, 2005 ; FORTIN *et al.*, 2008). En effet, ces champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules sont des symbiotes obligatoires qui s'associent avec environ 80 % des plantes terrestres. Il s'agit essentiellement des plantes herbacées et la plupart des espèces ligneuses (FORTIN *et al.*, 2008). Les champignons endomycorhizogènes les plus communément rencontrés appartiennent à la famille des Endogonacées et sont repartis dans six genres : *Acaulaspora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, *Scutellospora* et *Entrophospora* (GAVERIAUX, 2012).

2.1.2.3. Ectendomycorhizes

Il arrive que les ectomycorhizes et les endomycorhizes soient présents en même temps. Il s'agit d'une forme de transition, on parle alors d'ectendomycorhizes. Elles montrent simultanément, un manteau réduit ou absent qui possède un réseau de Hartig bien développé, des structures des ectomycorhizes et des hyphes qui pénètrent à l'intérieur des cellules corticales des racines (structures des endomycorhizes) (STRULLU, 1991 ; GARBAYE, 2013 ; HAMZA, 2014).

2.1.3. Rôles agronomiques et écologiques des champignons mycorhiziens

La mycorhize est toujours un étonnant organe mixte, formé de façon coordonnée d'une partie du champignon, connectée à l'ensemble des hyphes du sol, et d'une partie du végétal, connectée à ses parties aériennes. Il existe dans tous les cas une grande surface d'échanges et un contact étroit entre les partenaires, grâce à la colonisation de la racine par le champignon. Indépendamment du type de mycorhize, diverses fonctions sont modifiées généralement par la présence des mycorhizes (TANGUAY, 2014).

2.1.3.1. Absorption de l'eau et des minéraux

L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs constitue la toute première fonction attribuée aux mycorhizes. La symbiose mycorhizienne ou effet « mycorhize » permet à la plante d'explorer un plus grand volume de terre, ce qui améliore la nutrition hydrominérale des plantes (AUGE, 2001).

La symbiose mycorhizienne favorise le prélèvement et le transport vers la plante des éléments minéraux nutritifs très peu mobiles dans le sol comme le phosphore (DUPONNOIS *et al.*, 2005 ; LAMBERS *et al.*, 2008). En fonction du pH du sol, cet élément se retrouve en grande partie immobilisé par le fer, l'aluminium ou le calcium sous des formes difficilement accessibles par les plantes (HINSINGER, 2001). L'exploration du volume du sol par le mycélium et sa capacité à mobiliser des éléments nutritifs à partir des minéraux primaires améliorent la nutrition phosphatée des plantes (MANJUNATH *et al.*, 1989 ; LANDEWEERT *et al.*, 2001). Cette amélioration de la nutrition minérale des plantes concerne également d'autres macroéléments (N, K) et oligoéléments (DUPONNOIS et BÂ, 1999 ; HE et NARA, 2007). Ces associations mycorhiziennes jouent également un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique tellurique en mobilisant les nutriments au bénéfice de la plante hôte (LAMBERS *et al.*, 2008).

2.1.3.2. Activités hormonales des mycorhizes et agrégation des particules du sol

De nombreux travaux ont montré que le champignon mycorhizien modifie le statut hormonal du végétal en synthétisant des auxines, des gibbérellines et des cytokinines (DITENGOU *et al.*, 2000 ; BARKER et TAGU, 2000). L'action de ces hormones produites par

le champignon affecte positivement et particulièrement la croissance des parties aériennes (HAMZA, 2014)

Le réseau mycélien influence aussi biochimiquement le sol par la sécrétion de substances fongiques comme la glomaline. Cette glycoprotéine est difficilement décomposable et s'accumule dans les sols. Le rôle structurant de la glomaline sur les particules du sol (RILLIG et MUMMEY, 2006) favorise la formation de macroagrégats, améliorant ainsi la rétention de l'eau et des éléments nutritifs ainsi que les échanges gazeux (FORTIN *et al.*, 2008). Cette action positive des champignons mycorhiziens sur l'agrégation du sol est bénéfique pour réduire considérablement les risques de compaction et d'érosion (JEFFRIES *et al.*, 2003)

Par ailleurs, le champignon mycorhizien provoquerait la synthèse de l'acide jasmonique dont la migration jusqu'au feuillage protégerait ce dernier contre les insectes défoliateurs (POUSSET, 2011).

2.1.3.3. Protection contre les agents pathogènes et résistance au stress environnemental

La symbiose mycorhizienne a un effet bioprotecteur *via* une réduction de l'effet pathogène de certains agents phytoparasites notamment les nématodes (DUPONNOIS et CADET, 1994 ; ST-ARNAUD *et al.*, 1997 ; POUSSET, 2011). Les hyphes forment autour des racines des plantes une barrière physique contre les substances xénobiotiques en particulier les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds. Ainsi, le végétal est protégé du contact direct avec ces substances toxiques (SARAND *et al.*, 1999 ; MARTINO *et al.*, 2000 ; JACOB, 2001 ; BELLION, 2006 ; REDON *et al.*, 2008).

Selon JONER et LEYVAL (2003), la symbiose mycorhizienne accroît la tolérance des plantes mycorhizées aux stress induits par les éléments traces métalliques ou par les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Elle améliore également la résistance des plantes à la sécheresse (POUSSET, 2011).

2.2. Champignons du genre *Trichoderma*

2.2.1. Classification et biologie du *Trichoderma*

Le champignon du genre *Trichoderma* appartient à la classe des Sordariomycètes, à la sous-classe des *Hypocreomycetidae*, à l'ordre des Hypocréales, à la famille des Hypocreaceae. Ce genre regroupe un ensemble de champignons imparfaits saprophytes qui se retrouvent couramment dans le sol, sur le bois mort, les débris végétaux et les organes aériens des plantes. On le reconnaît facilement en culture grâce à la couleur généralement verdâtre de ses spores et le port typique de ses phialides en forme de quilles (CARON et LAMBERT, 2002 ; SCHUSTER et SCHMOLL, 2010). Il existe plusieurs espèces de *Trichoderma* dont les plus utilisées dans l'agriculture et dans l'industrie sont : *T. harzianum*, *T. citrinoviride*, *T. virens*, *T. longibrachiatum*, *T. hamatum* et *T. atroviride* (SADFI-ZOUAOUI *et al.*, 2008).

2.2.2. Importance du *Trichoderma*

Les champignons du genre *Trichoderma* sont des saprophytes omniprésents dans le sol. Ils sporulent abondamment, ont peu de besoins nutritionnels, peuvent croître rapidement et produire des gammes diversifiées de métabolites secondaires (ELAD, 2000 ; FREEMAN *et al.*, 2004 ; JAYALAKSHMI *et al.*, 2009). Ils ont été promus indirectement comme agents de lutte biologique et stimulateurs de la croissance des plantes (ELAD, 2000 ; FREEMAN *et al.*, 2004 ; BTISSAM *et al.*, 2007 ; JAYALAKSHMI *et al.*, 2009). *T. harzianum* est l'espèce la plus utilisée pour son efficacité dans la lutte biologique et dans la stimulation de la croissance des plantes. Il existe des formulations de biopesticides à base de cette espèce (CARON et LAMBERT, 2002).

Les espèces du genre *Trichoderma* influencent la croissance des plantes en synthétisant des phytohormones comme l'AIA et en améliorant la biodisponibilité des nutriments du sol par la solubilisation du phosphate et d'autres éléments nutritifs comme le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc (ALTOMARE *et al.*, 1999 ; RUDRESH *et al.*, 2005 ; GRAVEL *et al.*, 2007).

Les espèces de *Trichoderma* utilisent généralement les sources d'azote à partir de composés d'ammonium et de protéines. L'assimilation du nitrate est rare et dépend de l'espèce (MAHESH *et al.*, 2005). En outre, ils ont la capacité de transformer une variété extrêmement large de matériaux organiques naturels en favorisant une biofertilisation aux sols.

Par ailleurs, *Trichoderma* spp. sont utilisés commercialement pour la production des cellulases et d'autres enzymes qui dégradent les complexes polysaccharides (SCHUSTER et SCHMOLL, 2010), et fréquemment employés dans les industries alimentaires et textiles (HARMAN, 2006).

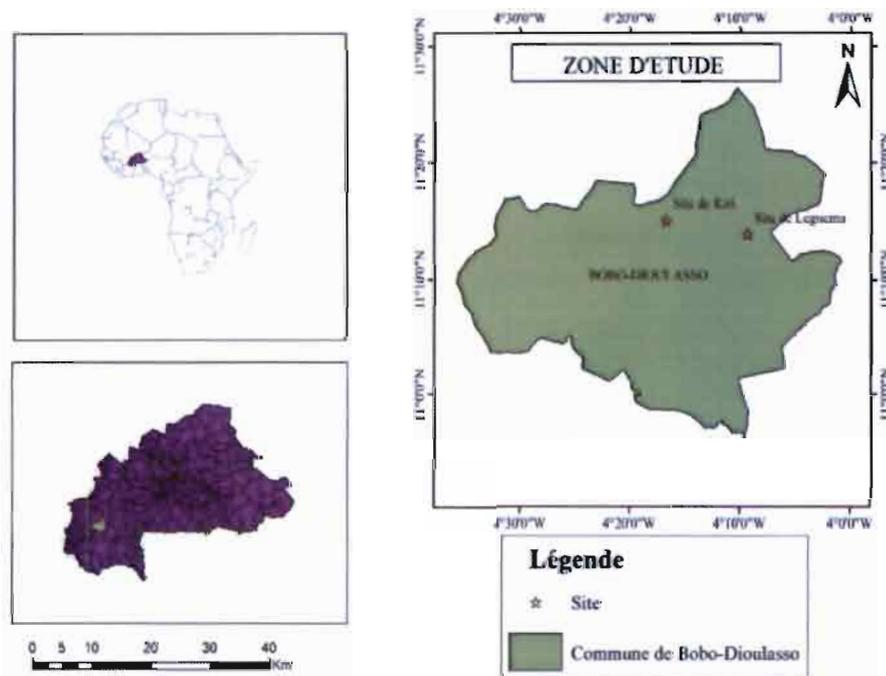
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III : Matériel et méthodes

3.1. Matériel

3.1.1. Présentation des sites d'expérimentation

L'expérimentation a eu lieu en milieu paysan en saison sèche sur les sites maraîchers de Kiri et de Léguema dans la commune de Bobo-Dioulasso (Figure 3). Le site de Kiri est situé sur l'axe Bobo-Dédougou entre $04^{\circ}16'$ de longitude Ouest et $11^{\circ}60'$ de latitude Nord. Le site de Léguema a pour coordonnées géographiques, $04^{\circ}10'$ de longitude Ouest et $11^{\circ}14'$ de latitude Nord. Les conditions climatiques sont celles de la zone sud-soudanienne caractérisée par deux saisons contrastées. La saison sèche va de Novembre à Avril tandis que la saison pluvieuse s'étale de Mai à Octobre.



Source : SAWADO, 2017

Figure 3: Localisation de la zone d'étude

3.1.2. Matériel végétal, biologique et biologique

3.1.2.1. Chou

Le matériel végétal utilisé est la variété de chou Oxylus qui est résistante à la chaleur et tolérante à la fusariose (KIMBA *et al.*, 2014). Le choix de cette variété est dû au fait qu'elle est très appréciée des producteurs à cause de son très bon rendement potentiel, de sa grosse pomme, bien ferme et non périssable. En plus, elle peut être produite au cours des deux saisons (pluvieuse et sèche).

3.1.2.2. Compost

Le compost a été fourni par les productrices du groupement Tegawendé de l'ONG ARFA/GIE BIOPROTECT-B à Niessega, village de la province de Zondoma, dans la région du Nord du Burkina Faso. Le compost est fabriqué en fosse selon un itinéraire détaillé en annexe 1. Le compostage est réalisé dans trois (03) fosses dont deux fosses jumelles (3 m de longueur, 1,5 m de largeur et 0,5 m de profondeur) tandis que la troisième fosse appelée « Grenier » est plus grande (3,5 m de longueur, 2,5 m de largeur et 0,5 m de profondeur). Après compostage, le compost est tamisé et conditionné dans des sacs de 50 kg (Figure 4).

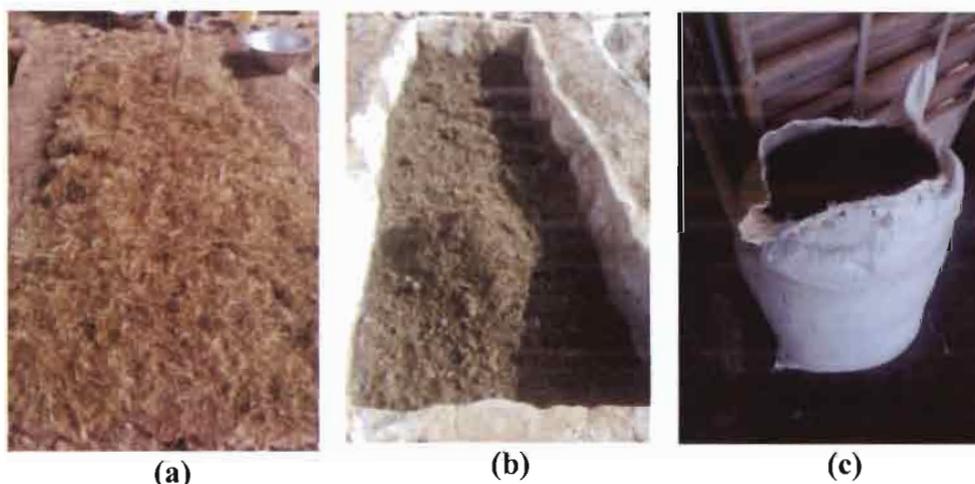


Figure 4: Processus de succession du compostage : (a) : fosse remplie; (b) : compost après retournement; (c) : compost tamisé et ensaché

3.1.2.3. Trichoderma

Deux souches de *Trichoderma* ont été utilisées. La souche 1 (*Trichoderma harzianum*) qui a été isolée d'un sol maraîcher de Tabtenga dans la région du centre au Burkina Faso et conservée au laboratoire de phytopathologie de l'Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso (Ex. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso) (Figure 5). La souche 2 (*Trichoderma harzianum*) qui a été conditionnée par l'ONG ARFA/GIE BIOPROTECT-B à la concentration de 5.10^8 spores/ml sous forme de biostimulant appelé solsain (Figure 5).

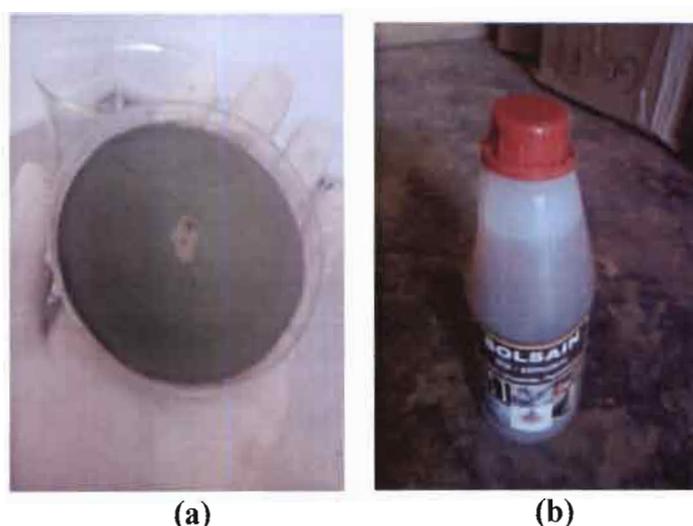


Figure 5 : Deux souches de *Trichoderma harzianum* : (a) : Souche 1; (b) : Souche 2 (solsain)

3.1.2.4. Champignon mycorhizien arbusculaire

Le champignon mycorhizien arbusculaire (CMA) utilisé est constitué de la souche mixte composée de *Acaulospora sp.* et *Glomus sp.* (Figure 6). Cette souche a été isolée de la rhizosphère du niébé au laboratoire de microbiologie forestière du Département Environnement et Forêts de l'INERA station de Ouagadougou.



Figure 6 : Spores de champignons mycorhiziens arbusculaires : (a) : *Acaulospora sp.* ; (b) : *Glomus sp.* (Source INVAM)

3.2. Méthodes

3.2.1. Préparation de l'inoculum de CMA

La production d'inoculum a consisté à multiplier la souche de CMA au laboratoire de microbiologie forestière de l'INERA/DEF à Ouagadougou.

Pour cela, une plante mycotrophe, le maïs (*Zea mays*), est cultivée dans des pots contenant 250 g d'inoculum initial de la souche et 1750 g de sable stérile de Yakouta sous serre (Figure 7). Ces pots sont arrosés régulièrement à la capacité au champ et reçoivent tous les 15 jours 100 ml d'une solution de Long Ashton (HEWITT, 1966 cité par HARO, 2011). L'inoculum est obtenu après trois (3) mois de culture, et il est constitué d'un mélange de spores, de fragments de racines mycorhizés de maïs et de sable.



Figure 7: Maïs utilisé comme plante mycotrophe des CMA

3.2.2. Revivification et multiplication du *Trichoderma*

La revivification de la souche Tabtenga a consisté à déposer l'explant du champignon conservé dans des boîtes de Pétri contenant un milieu de culture malt agar. Ce milieu a été au préalable autoclavé pendant 30 mn à la température de 120°C. Ces boîtes ont été incubées à la température ambiante du laboratoire pendant cinq (05) jours. Par repiquage à partir des boîtes de revivification, la multiplication a été réalisée dans des boîtes de Pétri (le mycélium du champignon revivifié) contenant un milieu Potato Dextrose Agar (PDA) préalablement autoclavé pendant 30 mn à la température de 120°C. Ensuite pendant onze (11) jours, ces boîtes ont été incubées à la température de 22 à 25°C.

A la fin de l'incubation, la préparation de la suspension conidienne a consisté à verser 10 ml d'eau distillée à la surface de chaque colonie. A l'aide d'une pipette pasteur coudée, la surface mycélienne est raelée légèrement afin de libérer les conidies. Les suspensions obtenues sont filtrées et la concentration conidienne a été évaluée à l'aide d'une cellule de Fuchs-Rosenthal, puis ajustée à 5.10^8 conidies/ml avec de l'eau distillée (Figure 8).

En ce qui concerne le solsain, la viabilité du champignon *Trichoderma* a été vérifiée. Pour cela, nous avons étalé 10 μ l du produit dans chaque boîte de Pétri contenant un milieu PDA stérilisé à l'autoclave pendant 30 mn. Ensuite, ces boîtes ont été incubées dans les mêmes conditions que le *Trichoderma* souche Tabtenga pendant onze (11) jours (Figure 8).

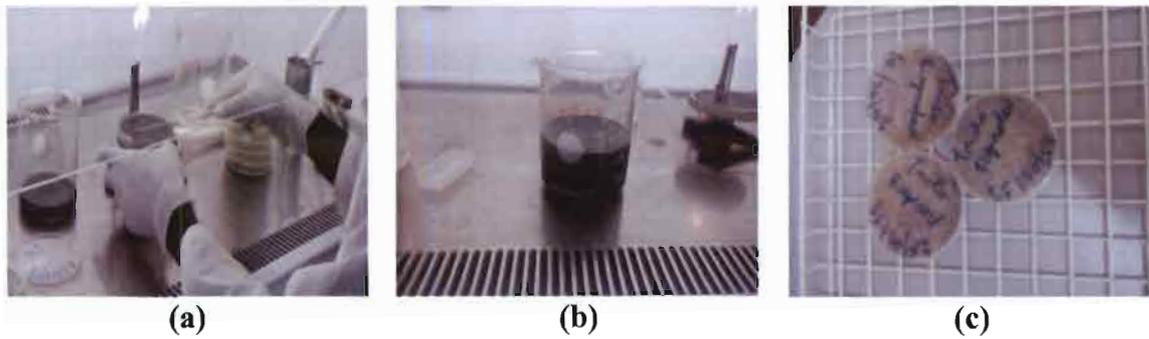


Figure 8: Sporulation et vérification du *T. harzianum* : (a) : Préparation de l'inoculum isolat 1; (b) : Solution de *Trichoderma* souche 1 ajustée; (c) : Vérification de la viabilité de *T. harzianum* dans le solsain

3.2.3. Inoculation des souches de *Trichoderma* au compost

L'inoculation a consisté à mélanger 200 kg de compost avec 0,33 l d'inoculum de chaque souche de *Trichoderma* complété avec sept (07) litres d'eau propre. Pour se faire, 100 kg de compost a été étalé sur une bâche plastique. Puis, 3,665 l de solution de *T. harzianum* et d'eau (soit 36,65 ml/kg de compost) y a été aspergé à l'aide d'un arrosoir. Le compost a été ensuite remué afin d'homogénéiser le mélange. Cette opération a été répétée avec les 100 kg de compost restants. Le compost ainsi inoculé a été couvert avec une bâche plastique noire pour incubation au bout d'une semaine à l'ombre.

3.2.4. Mise en place et conduite de la pépinière

La pépinière a été mise en place à la station de production végétale de l'INERA/Bobo-Dioulasso dans un bac de semis de 4 m de long et 1 m de large rempli de terreau. Le terreau a été stérilisé au préalable avec deux barriques d'eau bouillantes. Ensuite, le bac a été couvert avec un film plastique pendant cinq (05) jours au bout duquel une demi-brouettée de compost fût ajoutée. Après, le bac a été à nouveau recouvert avec le film plastique jusqu'au jour du semis.

Le semis a été fait en ligne continue espacée de 10 cm. Après semis, le bac est couvert avec de la paille d'*Andropogon sp.* jusqu'au début de la germination. Par la suite, la pépinière a été arrosée par apports d'eau en raison de deux arrosoirs par jour. Quinze (15) jours après semis, un binage a été fait afin d'ameublir le sol et de faciliter le drainage de l'eau.

3.2.5. Mise en place et conduite de l'essai

3.2.5.1. Dispositif expérimental

L'étude compare deux modes (02) de traitements (biologique et chimique) combinés à sept (07) types de fertilisants (tableau II). L'essai est conduit suivant un dispositif statistique en split-plot (figure 9). Il comporte deux (02) traitements principaux, sept (07) traitements secondaires et quatre (04) répétitions. Les traitements principaux sont constitués des traitements biologiques (Piol et huile de neem) et des traitements chimiques (Titan, Bomec et Tihan).

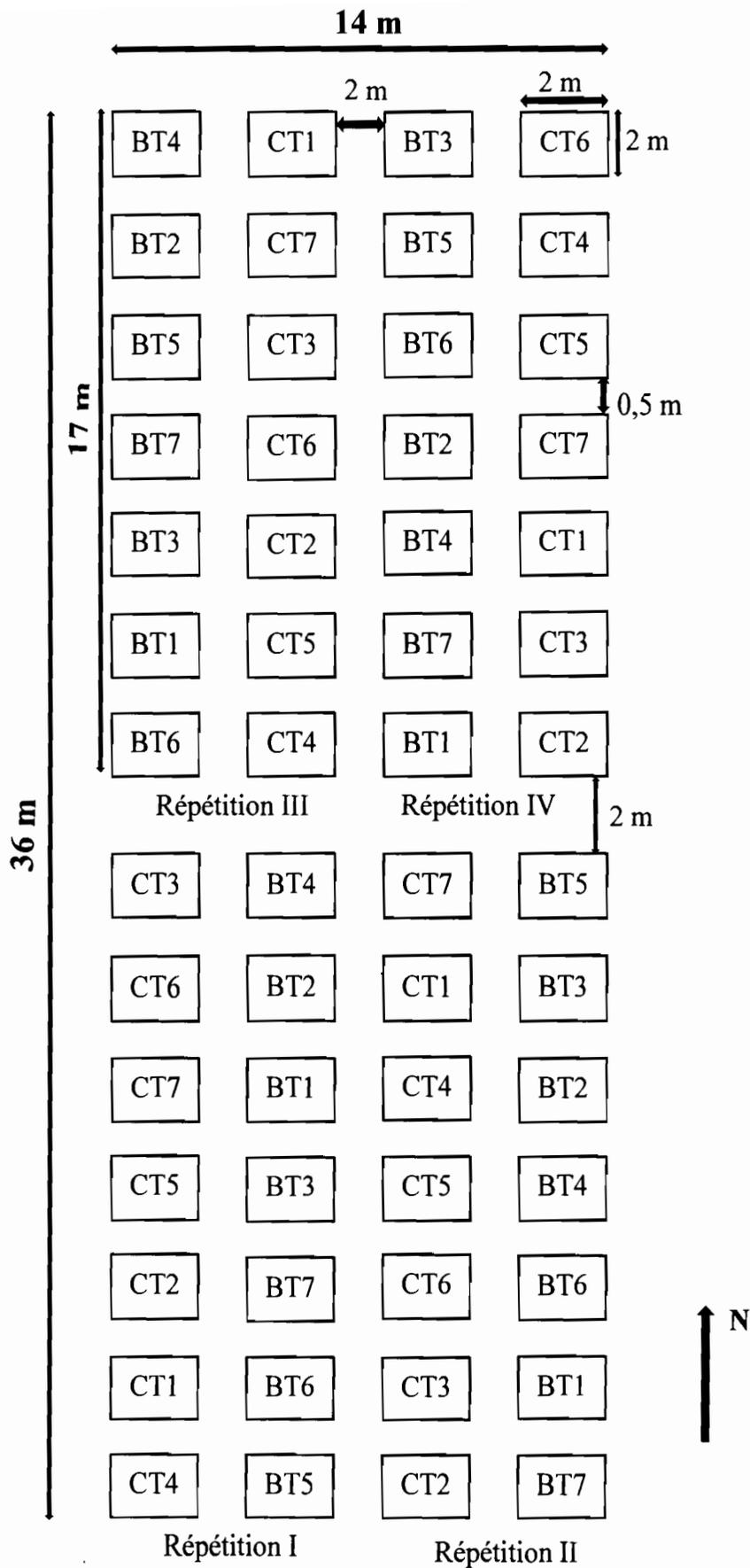
Tableau II: Traitements comparés pour l'expérimentation

Traitements principaux	Traitements secondaires
	T1 : 30 t/ha de compost seul
	T2 : 10 t/ha de compost + 500 kg/ha de NPK (15-15-15) à 7 JAR + 50 kg/ha d'urée (46% N) à 30 JAR + 50 kg/ha d'urée à 45 JAR
Traitement biologique (BT) : Piol (extrait de piment, de l'ail et d'oignon) à la dose de 6 l/ha et huile de neem (huile de neem) à la dose de 5 l/ha	T3 : 30 t/ha de compost inoculé au <i>Trichoderma harzianum</i> (5.10^8 conidies/ml) souche Tabtenga
	T4 : 30 t/ha de compost inoculé au <i>Trichoderma harzianum</i> (5.10^8 conidies/ml) conditionné par GIE BIOPROTECT
Traitement chimique (CT) : Titan 25 EC (acétamipride : 25 g/l) à la dose de 01 l/ha; Bomec EC (abamectine : 18 g/l) à la dose de 01 l/ha) et Tihan 175 O-TEQ (spirotetramat : 75 g/l et flubendiamide : 100 g/l) à la dose de 200 ml/ha	T5 : 30 t/ha de compost + à 40 g/poquet de CMA
	T6 : 30 t/ha de compost inoculé au <i>Trichoderma harzianum</i> souche Tabtenga + 40 g/poquet de CMA
	T7 : 30 t/ha de compost inoculé au <i>Trichoderma harzianum</i> conditionné par GIE BIOPROTECT + 40 g/poquet de CMA

JAR : Jour Après Repiquage

CMA : Champignon Mycorhizien Arbusculaire

Chaque traitement principal comporte sept (07) parcelles élémentaires. Chaque parcelle élémentaire est de 4 m² (2 m x 2 m). Dans chaque parcelle élémentaire, les observations ont été faites sur les trois (03) lignes centrales constituées de neuf (09) plants. La superficie totale du dispositif est de 504 m² (36 m x 14 m) (Figure 9).



CT : Traitement Chimique, BT : Traitement Biologique

Figure 9 : Dispositif expérimental

3.2.5.2. Mise en place de l'essai

L'épandage du compost (inoculé ou non inoculé) a été fait deux (02) jours avant le repiquage dans chaque parcelle élémentaire. Par la suite, vingt-cinq (25) poquets ont été confectionnés sur les toutes parcelles élémentaires le jour du repiquage. Chaque poquet des parcelles ayant les fertilisants, compost + CMA (T5), compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6) et compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7), a reçu 40 g de CMA le jour du repiquage. Ce dernier a lieu au vingt-unième jour après semis au stade de 4 à 6 vraies feuilles, suivant un écartement de 40 cm entre les poquets et entre les lignes, soit une densité de 25 plants par parcelle secondaire.

Notons que dès le début du repiquage, les plants ont été attaqués par des taupes-grillons (*Gryllotalpa africana*) (Figure 10). Un deuxième repiquage, 17 jours après le premier repiquage a été nécessaire pour les poquets vides.

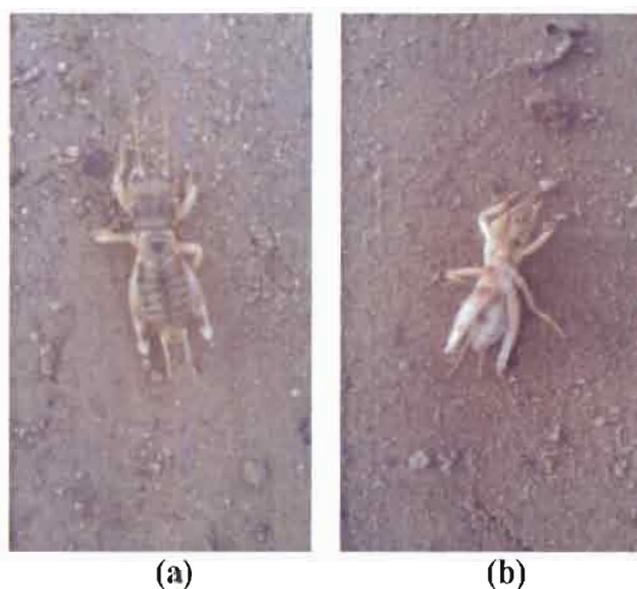


Figure 10: Taupe-grillon : (a) : vu de dos; (b) : vu de face

3.2.5.3. Entretien de l'essai

Toutes les parcelles ont reçu le contenu d'un arrosoir d'eau chaque matin et de deux arrosoirs chaque soir. Le sarclobinage a eu lieu à 7 JAR, 30 JAR et 45 JAR.

Les produits utilisés pour le traitement phytosanitaire biologique sont le PIOL, et l'huile de neem (H-N). Le PIOL (6 l/ha) a été appliqué une semaine après le repiquage, par contre celui de l'huile de neem (5 l/ha) a été effectué chaque quinze (15) jours dès la reprise des plants (annexes 2 et 3 : les fiches techniques). Quant au traitement chimique, une application du titan

(01 l/ha) a eu lieu 7 JAR. Par la suite, le bomec (01 l/ha) est appliqué chaque 15 jour dès la reprise des plants.

A 30 JAR, l'essai de Légüema a subi une attaque de chenilles. Pour limiter les pertes, le Piol (6 l/ha) et l'huile de neem (5 l/ha) ont été appliqués par alternance à la fréquence d'une semaine dans les parcelles sous traitement biologique. Dans les autres parcelles sous traitement chimique, le Tihan (200 ml/ha) est intercalé avec le Bomec (01 l/ha) chaque semaine. Les mêmes produits utilisés et fréquence d'application ont été également faits sur le site de Kiri.

3.2.6. Collecte des données

3.2.6.1. Prélèvements et analyses des échantillons de sol

Des échantillons de sol sont prélevés sur les deux diagonales de chaque répétition au niveau de chaque essai avant l'épandage du compost. Sur chaque diagonale, 8 points de prélèvement sont réalisés à la profondeur de 0-15 cm et 15-30 cm, qui après mélange, ont constitué un échantillon composite par profondeur. Après la récolte, 3 points de prélèvement ont été faits sur chacune des parcelles élémentaires suivant la diagonale par niveau de profil (0-15 et 15-30 cm) pour constituer notamment un échantillon composite. Ces échantillons de sols sont séchés à l'air libre. Ils sont ensuite broyés et tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre, avant d'être analysés au laboratoire. Les caractéristiques physico-chimiques déterminées sont la granulométrie 3 fractions selon la méthode densimétrique, le taux de carbone selon la méthode de WALKLEY-BLACK, l'azote total et la phosphore total selon la méthode KJEDHAL, le phosphore assimilable selon la méthode de BRAY 1, , le potassium total selon la méthode de WALINGA, le potassium disponible selon BUNASOLS (1987), le pH_{eau} , et le pH_{KCl} selon la méthode de AFNOR (1981), les bases échangeables (Ca, Na, K, Mg), la capacité d'échange cationique, le taux de saturation et la somme des bases échangeables, . Ces analyses physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire Sol-Eau-Plante de l'INERA Farako-Bâ. Une partie des échantillons prélevés à la récolte a servi aussi pour l'analyse de l'activité respiratoire selon la méthode de SEDGA (2006). Cette dernière a été également faite dans le même laboratoire. Les méthodes de dosage de ces analyses de sol sont mises en annexe 4.

3.2.6.2. Prélèvements et analyses du compost

Après incubation du compost aux différentes souches de *Trichoderma harzianum*, des prélèvements ont été faits pour déterminer la présence de ces souches. Par ailleurs du compost non inoculé et inoculé aux différentes souches de *Trichoderma* ont été prélevés et analysés au laboratoire Sol-Eau-Plante de l'INERA Farako-Bâ pour déterminer le pH eau et les teneurs en carbone (C), azote (N), phosphore (P) et potassium (K).

3.2.6.3. Paramètres de croissance végétative et du rendement

Le suivi de la croissance végétative de choux a été effectué par des mesures de la hauteur à 30 JAR et le diamètre au collet à 30, 60 et 75 JAR sur les 3 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Pour le rendement, le poids moyen a été évalué par parcelle élémentaire. Sur chaque parcelle élémentaire, les neuf (09) choux des trois (03) lignes centrales ont été pesés.

3.2.6.4. Vérification de la présence et possibilité de mycorhization de CMA

Des racines fines de neuf (09) plantes de choux ont été prélevées après la récolte au niveau de chacune des parcelles élémentaires. Ces racines ont servi pour l'observation des structures mycorhiziennes de CMA afin de prouver leur présence dans les traitements compost + CMA (T5), compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6) et compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7) et la possibilité de mycorhization dans les autres traitements à partir des propagules mycorhiziennes existantes initialement.

3.2.6.5. Test de dégustation

A la fin de la récolte, un test de dégustation a été effectué auprès de 45 personnes choisies de façon aléatoire, afin de comparer le goût du chou traité aux pesticides chimiques à celui traité aux biopesticides. Le chou récolté a été mélangé par traitements principaux, puis un échantillon de 7,5 kg a été prélevé par bloc puis étiqueté et codé. Une sauce a été préparée avec ces feuilles en utilisant les mêmes quantités d'ingrédients et les mêmes temps de cuisson (voir recette en annexe 5). La sauce a été servie avec du têt. Le test a consisté à goûter les échantillons codés et les classer selon la préférence (voir la fiche d'évaluation en annexe 6).

3.2.7. Analyse des données

Les données collectées ont été enregistrées et traitées à l'aide du tableur Microsoft office Excel 2013, qui a permis leurs organisations et les calculs élémentaires (sommés et moyennes). Les analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées par le logiciel Gentstat Release édition 11.1. La séparation des moyennes a été faite par le test de Student-Newman-Keuls lorsque l'analyse de la variance a révélé des différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %.

Chapitre IV : Résultats-Discussion

4.1. Résultats

4.1.1. Composition du compost inoculé aux *Trichoderma* et non inoculé

Le tableau III indique les résultats de l'analyse du compost inoculé aux deux (02) souches de *Trichoderma* après incubation et du compost non inoculé. Les teneurs en éléments minéraux du compost inoculé aux deux (02) souches de *Trichoderma* ne diffèrent pas significativement du compost non inoculé. Mais la tendance montre une augmentation des teneurs en matière organique, en azote (N), P₂O₅ et en K₂O par rapport au compost non inoculé.

Tableau III: Composition moyenne du compost utilisé

Caractéristiques	Teneurs		
	Compost non inoculé	Compost inoculé au <i>T. harzianum</i> souche Tabtenga	Compost inoculé au <i>T. harzianum</i> souche GIE BIOPROTECT
Matière organique (%)	22,13	22,90	23,89
Carbone (%)	12,83	13,28	13,86
Azote (%)	0,78	0,82	0,85
C/N	16	16	16
P ₂ O ₅ (%)	0,83	0,75	0,78
K ₂ O (%)	1,28	1,30	1,27
pH eau	8,6	8,6	8,5

4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols

Les résultats de l'analyse montrent que le dispositif expérimental a été implanté sur un sol à texture de type sableux avec une faible teneur en argile et en limon dans les deux sites maraîchers (Kiri et Léguema). Les sols ont une faible teneur en éléments minéraux, une faible capacité d'échange cationique, et sont pauvres en matière organique dont les teneurs sont inférieures à 1 %. Le rapport C/N de 11 à 12, témoigne d'une bonne minéralisation de la matière organique dans ces sols. Ces données indiquent que les sols de ces deux sites sont acides (tableau IV).

Tableau IV : Composition physico-chimique moyenne du sol des sites

Site	Kiri		Léguema	
Horizon (cm)	0-15	15-30	0-15	15-30
Caractéristiques				
Granulométrie				
Argiles (%)	10,02	9,19	9,77	9,10
Limons totaux (%)	8,86	8,63	11,04	13,36
Sables totaux (%)	81,12	82,18	79,19	77,54
Matière organique				
C total (%)	0,27	0,25	0,36	0,33
N total (%)	0,02	0,02	0,03	0,03
C/N	12	11	11	12
Phosphore (P)				
P. total (mg/kg)	68	56	86	93
P. assimilable (mg/kg)	14,88	8,35	11,85	6,38
Potassium (K)				
K. total (mg/kg)	545	704	673	1022
K. disponible (mg/kg)	56	65	58	53
Complexe absorbant				
Ca ⁺⁺ (Cmol ⁺ /kg)	0,89	0,79	0,99	0,84
Mg ⁺⁺ (Cmol ⁺ /kg)	0,58	0,44	0,61	0,43
K ⁺ (Cmol ⁺ /kg)	0,11	0,12	0,11	0,09
Na ⁺ (Cmol ⁺ /kg)	0,00	0,01	0,00	0,00
SBE (Cmol ⁺ /kg)	1,58	1,35	1,71	1,37
CEC (Cmol ⁺ /kg)	2,66	2,84	2,68	2,79
V(%)	59	47	64	49
Acidité				
pH eau	6,2	5,7	5,8	5,2
pH KCl	5,2	4,5	4,7	4,1

4.1.3. Effet des traitements sur les paramètres agromorphologiques et le rendement du chou

4.1.3.1. Effet du mode de traitement phytosanitaire

Les paramètres agromorphologiques analysés sont la hauteur du chou (tableau V), le diamètre au collet du chou (tableau VI) et la masse moyenne d'un chou (figure 11).

Tableau V: Croissance en hauteur du chou en fonction du mode de traitement phytosanitaire

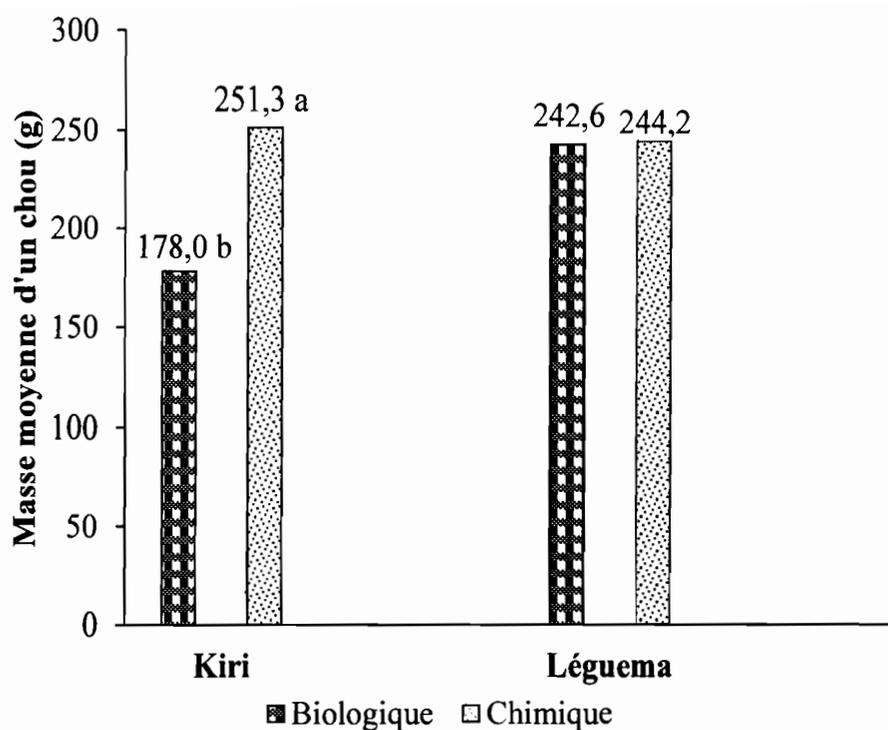
Hauteur (cm) à 30 JAR		
Traitements	Site de Kiri	Site de Léguema
Biologique	4,60 b	4,24 a
Chimique	4,96 a	4,37 a
P > F	0,028	0,298
Signification	S	NS

Les valeurs de la même colonne affectée par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; S = significative ; NS= non significative.

Tableau VI : Diamètre au collet du chou en fonction du mode de traitement phytosanitaire

Diamètre au collet (cm)						
Traitements	Site Kiri			Site Léguema		
	30 JAR	60 JAR	75 JAR	30JAR	60 JAR	75 JAR
Biologique	6,07 b	9,42 b	11,93 a	7,17 a	12,72 a	16,03 a
Chimique	6,72 a	10,31 a	12,36 a	7,71 a	13,07 a	15,57 a
P > F	0,008	0,0001	0,553	0,070	0,244	0,311
Signification	HS	THS	NS	NS	NS	NS

Les valeurs de la même colonne affectée par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; HS= hautement significative, THS = très hautement significative, NS = non significative.



Les valeurs affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls.

Figure 11 : Masse moyenne d'un chou en fonction du mode de traitements

Les résultats de l'analyse de la variance indiquent que la hauteur du chou sous traitement chimique est supérieure à celle soumise au traitement biologique sur le site de Kiri (tableau V). Par contre, pour le site de Léguema, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence entre les traitements phytosanitaires (tableau V).

Des différences hautement significatives sont observées sur le diamètre au collet du chou à 30 et 60 JAR à Kiri, contrairement à Léguema (tableau VI). Les plantes sous traitement chimique présentent un diamètre plus important aux deux dates. Par contre, à 75 JAR, aucune différence significative au sein du mode de traitement phytosanitaire n'a été observée (tableau VI).

Enfin, on constate que la masse moyenne d'un chou sous traitement chimique est significativement supérieur à celui du traitement biologique (251,3 g contre 178,0 g) sur le site de Kiri. La même tendance a été observée sur le site de Léguema, mais les deux modes de traitements ne sont pas significativement différents.

4.1.3.2. Effet des types de fertilisants comparés

L'effet des fertilisants a été évalué sur la hauteur du chou à 30 JAR (tableau VII), le diamètre au collet (tableau VIII) et le rendement du chou (figure 12). L'analyse ne révèle aucune différence de hauteur à 30 JAR entre les traitements sur le site de Kiri. Toutefois, on observe que le traitement compost + engrais (T2) induit une croissance relativement plus rapide du chou. Par contre, sur le site de Léguema, des différences significatives de hauteur ont été observées. La hauteur du chou sous compost + engrais (4,88 cm) est significativement supérieure à celle des autres traitements dont les hauteurs varient entre 3,91 et 4,41 cm.

Tableau VII: Hauteur du chou (cm) à 30 JAR en fonction des formulations de fertilisants

Hauteur (cm) à 30 JAR		
	Site de Kiri	Site de Léguema
Traitements		
T1	4,65	4,41 b
T2	5,29	4,88 a
T3	4,75	3,91 b
T4	5,00	4,08 b
T5	4,45	4,39 b
T6	4,68	4,19 b
T7	4,67	4,25 b
P > F	0,294	0,003
Signification	NS	HS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; NS = non significative ; HS = hautement significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

Tableau VIII: Variation du diamètre au collet du chou en fonction des fertilisants

Site	Diamètre du collet (cm)						
	Traitements	30 JAR	Kiri 60 JAR	75 JAR	Léguema 30 JAR	60 JAR	75 JAR
T1		6,49	9,18 b	11,53 b	7,54 b	12,85 b	15,24 b
T2		6,37	12,24 a	14,96 a	9,80 a	16,70 a	21,14 a
T3		6,56	9,75 b	11,79 b	7,14 b	12,35 b	15,52 b
T4		6,61	9,49 b	11,79 b	7,54 b	12,68 b	14,98 b
T5		6,14	9,41 b	11,65 b	6,61 b	11,38 b	14,07 b
T6		6,25	9,59 b	11,82 b	6,40 b	12,20 b	15,54 b
T7		6,38	9,40 b	11,46 b	7,04 b	12,11 b	14,52 b
P > F		0,920	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Signification		NS	THS	THS	THS	THS	THS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; NS = non significative ; THS = très hautement significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

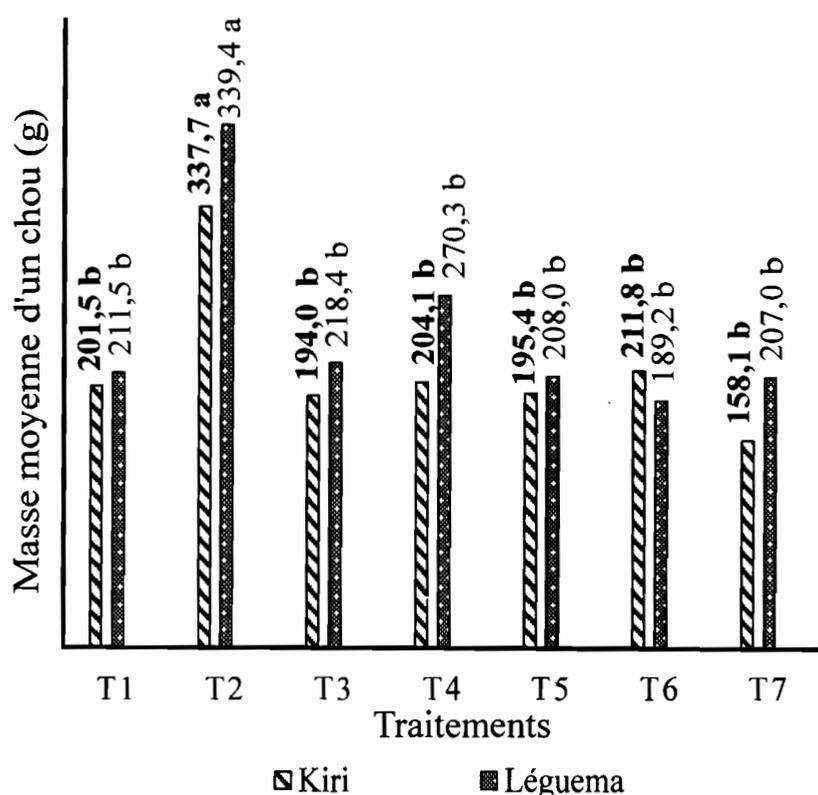


Figure 12: Masse moyenne du chou en fonction des types de fertilisants testés

Pour le diamètre au collet (tableau VIII), les différences entre les types de fertilisants ne sont pas significatives à Kiri à 30 JAR. En revanche, à cette période, sur le site de Léguema, on observe une différence très hautement significative. Le traitement compost + engrais (T2) se démarque significativement des autres. Il en est de même à 75 JAR. En effet, ce traitement présente des diamètres de 9,80 cm à 30 JAR et 21,14 cm à 75 JAR, en comparaison des autres fertilisants dont les valeurs sont comprises entre 6,40 cm et 7,54 cm puis entre 14,07 cm et 15,54 cm aux deux périodes respectives. On remarque que la tendance des résultats est identique sur les deux sites à 60 JAR. Le traitement compost + engrais (T2) présente des diamètres plus élevés que les autres traitements (12,24 cm contre des valeurs comprises entre 9,18 cm et 9,75 cm à Kiri et 16,70 cm contre des diamètres compris entre 11,38 cm et 12,85 cm à Léguema). En plus, nous remarquons que les valeurs du diamètre au collet sont en général plus élevées à Léguema qu'à Kiri.

Enfin, pour ce qui concerne le rendement du chou (figure 12), la masse moyenne d'un chou est aussi plus élevée sous compost + engrais (337,7 g et 399,4 g respectivement à Kiri et à Léguema), comparativement aux autres traitements (entre 158,1 g et 204,1 g à Kiri et entre 189,2 g et 270,3 g à Léguema). Nous observons que les valeurs de la masse moyenne par traitement sont plus élevées à Léguema qu'à Kiri.

4.1.3.3. Effet des types de fertilisants en fonction du mode de traitement phytosanitaire sur la masse moyenne d'un chou

L'analyse de variance indique que l'effet des types de fertilisants en fonction du mode de traitement phytosanitaire sur le rendement du chou est significatif (tableau IX) sur les deux sites.

Tableau IX: Variation de la masse moyenne en fonction du mode de traitement phytosanitaire

Masse moyenne du chou (g)					
Traitements	Site	Kiri		Léguema	
	Biologique	Chimique	Biologique	Chimique	
T1	190,3 ab	212,7 b	206,8 ab	257,6	
T2	256,0 a	419,5 a	430,3 a	204,2	
T3	172,0 ab	215,9 b	212,0 ab	211,7	
T4	155,2 ab	253,0 b	264,0 ab	182,8	
T5	188,3 ab	202,5 b	201,6 b	195,6	
T6	167,2 ab	256,3 b	182,9 b	193,3	
T7	116,9 b	199,3 b	200,6 b	220,7	
P > F Mode *Fertilisants	0,0001	0,004	0,022	0,906	
Signification	THS	HS	S	NS	

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; THS = très hautement significative, HS= hautement significative, S= significative, NS = non significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

Pour le traitement biologique, sur le site de Kiri, la plus forte valeur de la masse moyenne est enregistrée au niveau du traitement compost + engrais (256,0 g), qui est statistiquement différent du traitement compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7) où l'on enregistre la plus petite valeur (116,9 g). Les masses moyennes obtenues pour les autres traitements sont intermédiaires à ces deux extrêmes et aucune différence significative n'existent entre ces traitements et compost + engrais (T2) puis entre ces traitements et compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7). Pour ce qui concerne le mode de traitement chimique, le traitement compost + engrais

(419,5 g) se distingue significativement des autres traitements (variant entre 199,3 g et 256,3 g). Il n'existe pas de différence significative entre les autres traitements

Sur le site de Léguema, le traitement compost + engrais (T2) présente également la masse moyenne la plus élevée (430,3 g) pour le mode de traitement biologique. Il est significativement différent des traitements compost + CMA (T5) (201,6 g), compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6) (182,9 g) et compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7) (200,6 g). Pour le mode de traitement chimique, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements.

4.1.4. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques et biologiques du sol

4.1.4.1. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques du sol

➤ Effet des types de fertilisants sur l'acidité du sol

Les variations du pH en fonction des traitements sur différents niveaux de profil du sol, pour le site de Léguema, sont consignées dans le tableau X. L'analyse comparative du pH-eau au seuil de 5 % montre une différence très hautement significative sur l'horizon 0-15 cm et hautement significative sur la couche 15-30 cm. En couche superficielle (0-15 cm), excepté le traitement compost + engrais (T2) où l'on trouve la plus faible valeur du pH-eau (6,2), ceux des autres traitements sont proches de la neutralité (pH eau variant entre 7,3 et 7,7). Les résultats présentent donc des différences significatives entre ce traitement compost + engrais et les autres traitements. Il n'existe pas de différence significative entre les autres traitements. En profondeur (15-30 cm), nous apercevons les mêmes tendances. Cependant, les pH sont plus acides sur cette couche.

Tableau X: Variation de l'acidité du sol en fonction des traitements sur le site de Léguema

Traitements	pH	
	Profondeur (cm)	
	0-15	15-30
	pH eau	pH eau
T1	7,7 a	6,1 a
T2	6,2 b	5,4 b
T3	7,6 a	6,4 a
T4	7,5 a	6,3 a
T5	7,1 a	6,1 a
T6	7,4 a	5,9 a
T7	7,3 a	6,2 a
P > F	0,0001	0,001
Signification	THS	HS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls; THS = très hautement significative, HS = hautement significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

➤ Effet des types de fertilisants sur le carbone et les éléments majeurs (N, P, K)

L'analyse de variance de l'effet des traitements sur les teneurs en carbone(C), azote (N) et le rapport C/N a montré qu'il n'y a aucune différence statistique entre les traitements au sein du site de Léguema au seuil de 5 % dans chaque horizon du sol (tableau XI).

Par contre, l'étude de l'effet des traitements sur la teneur en phosphore assimilable montre des différences très hautement significatives (tableau XI). Ainsi, sur le profil 0-15 cm, le traitement compost + engrais (T2) a favorisé une amélioration de la teneur en phosphore assimilable (44,49 mg/kg) de manière très significative, comparativement aux autres traitements qui ne diffèrent pas les uns des autres et dont les valeurs sont comprises entre 14,33 mg/kg et 17,15 mg/kg. Les mêmes tendances sont observées au niveau de l'horizon 15-30 cm où l'on observe une valeur de l'ordre de 20,36 mg/kg pour le traitement compost + engrais (T2), contre des valeurs comprises entre 6,55 mg/kg et 8,35 mg/kg pour les autres traitements (tableau XI).

Enfin, les résultats de l'effet des traitements sur le potassium disponible du sol à Léguema ne révèlent aucune différence significative entre les différents traitements dans l'horizon 0-15 cm (tableau XI). Cependant, nous observons que ces valeurs ont tendance à être plus élevées dans les traitements sur lesquels des champignons utiles (*Trichoderma* et/ou CMA) ont été appliqués. Il s'agit des traitements T3 (289,02 mg/kg), T4 (262,81 mg/kg), T5 (221,95 mg/kg), T6 (218,29 mg/kg) et T7 (254,27 mg/kg). Du reste, une différence significative entre les traitements sur le potassium disponible a été constatée au niveau de l'horizon 15-30 cm (tableau XI). Le traitement compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga (T3) enregistre la plus grande teneur (194,50 mg/kg), qui cependant est statistiquement homogène aux traitements compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7), compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT (T4) et compost+ CMA (T5). Il diffère significativement du traitement compost seul (T1); compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6) et compost + engrais (T2). On note une plus faible valeur pour le traitement compost + engrais (T2) sur cette couche (123,20 mg/kg) tout comme sur la couche superficielle.

Tableau XI: Effet des traitements sur le carbone et les éléments majeurs (N, P et K) sur le site de Léguema

Traitements	Horizon (cm)									
	0-15					15-30				
	C (%)	N (%)	C/N	P assi. (mg/kg)	K dispo. (mg/kg)	C (%)	N (%)	C/N	P assi. (mg/kg)	K dispo. (mg/kg)
T1	0,44	0,037	12	16,95 b	208,54	0,34	0,028	12	7,20 b	130,50 b
T2	0,40	0,033	12	44,49 a	201,83	0,30	0,026	12	20,36 a	123,20 b
T3	0,41	0,034	12	14,78 b	289,02	0,30	0,025	12	7,09 b	194,50 a
T4	0,44	0,037	12	14,33 b	262,81	0,33	0,027	12	7,61 b	154,90 ab
T5	0,41	0,034	12	15,47 b	221,95	0,29	0,024	12	6,55 b	149,40 ab
T6	0,40	0,033	12	16,62 b	218,29	0,31	0,025	12	8,35 b	129,90 b
T7	0,41	0,035	12	17,15 b	254,27	0,32	0,026	12	7,76 b	175,60 ab
P > F	0,588	0,185	0,938	0,0001	0,137	0,587	0,507	0,470	0,001	0,010
Signification	NS	NS	NS	THS	NS	NS	NS	NS	THS	S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; NS = non significative, THS = très hautement significative, S = significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

➤ **Effet des traitements sur les bases échangeables du sol sur le site de Léguema**

Sur le profil 0-15 cm, les traitements n'ont pas eu d'impact significatif sur le cation Na^+ . Cependant, des différences très hautement significatives ont été observées pour les cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et la SBE (tableau XII). Le traitement compost seul (T1) a eu plus d'impact sur la teneur en ion Ca^{++} (2,78 Cmol^+/kg), comparativement aux traitements compost + engrais (T2) et compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6). Les teneurs en cet ion sont respectivement 1,26 Cmol^+/kg et 2,25 Cmol^+/kg pour les traitements T2 et T6. Il ne diffère pas statistiquement des traitements compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga (T3), compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT (T4), compost + CMA (T5) et de compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7), dont les teneurs sont respectivement 2,33 Cmol^+/kg ; 2,45 Cmol^+/kg ; 2,33 Cmol^+/kg et 2,43 Cmol^+/kg . Le traitement compost + engrais (T2) a eu significativement le moins d'impact sur ce cation.

Pour le cation Mg^{++} , La plus faible valeur est toujours observée au niveau du traitement T2 (1,12 Cmol^+/kg), qui diffère de manière très significative des autres. Il n'existe pas de différence significative entre les autres traitements (tableau XII). Quant au cation K^+ , l'effet du traitement T1 (0,21 Cmol^+/kg) a été significativement important à celui des traitements T7 (0,15 Cmol^+/kg) ; T3 (0,16 Cmol^+/kg) ; T4 (0,17 Cmol^+/kg) ; T5 (0,17 Cmol^+/kg) et T6 (0,17 Cmol^+/kg) qui sont statistiquement équivalents entre eux. Le moindre effet de ce cation a été également enregistré dans le traitement T2 (0,11 Cmol^+/kg) qui est significativement différent de tous les autres traitements.

En ce qui concerne la somme des bases échangeables (SBE), la plus petite valeur est encore relevée au niveau de T2 (2,53 Cmol^+/kg), qui est significativement différent des autres traitements (tableau XII). Ce traitement est suivi de T6 (3,90 Cmol^+/kg), qui ne diffère pas significativement de T7 (4,41 Cmol^+/kg) ; T5 (4,47 Cmol^+/kg) ; T3 (4,55 Cmol^+/kg) ; et T4 (4,68 Cmol^+/kg). La valeur la plus élevée est notée au niveau du traitement T1 (4,88 Cmol^+/kg). Par ailleurs, l'analyse de variance prouve qu'il n'existe aucune différence significative entre les traitements et pour tous les éléments, sur la profondeur 15-30 cm.

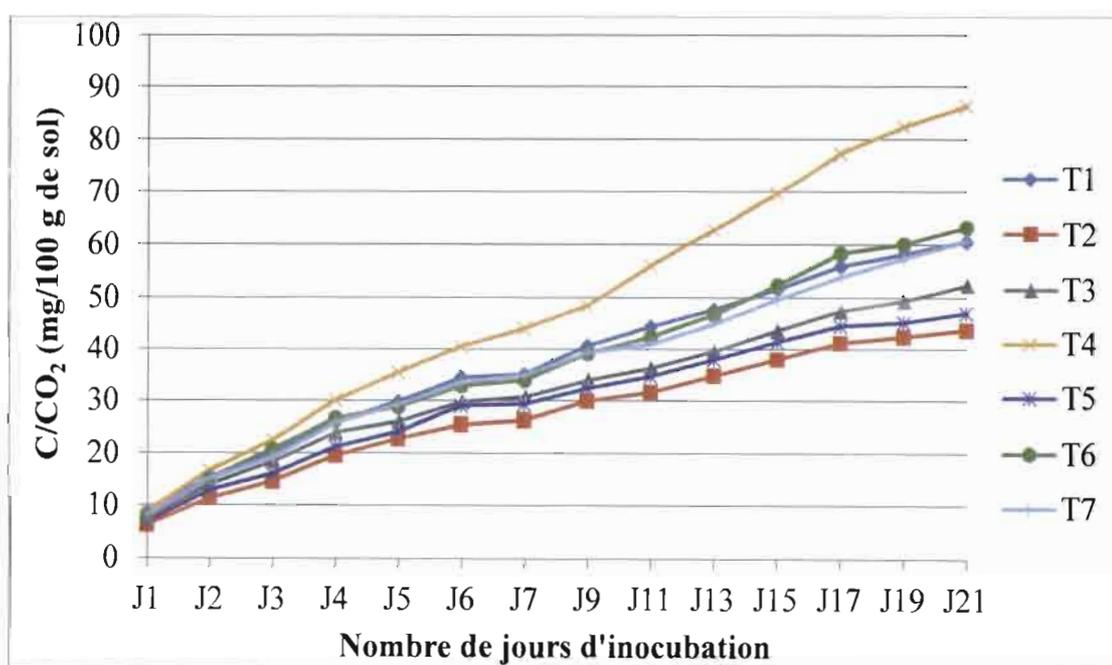
Tableau XII: Effet des traitements sur les bases échangeables en fonction des profondeurs 0-15 et 15-30 cm

Traitements	Complexe absorbant (Cmol ⁺ /kg)									
	Horizon (cm)									
	0-15					15-30				
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SBE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SBE
T1	2,78 a	1,86 a	0,21 a	0,04	4,88 a	1,16	0,81	0,10	0,03	2,11
T2	1,26 c	1,12 b	0,11 c	0,04	2,53 c	1,02	0,78	0,08	0,04	1,91
T3	2,33 ab	2,01 a	0,16 ab	0,05	4,55 ab	1,16	1,07	0,12	0,05	2,38
T4	2,45 ab	2,01 a	0,17 ab	0,04	4,68 ab	1,21	1,08	0,12	0,04	2,45
T5	2,33 ab	1,93 a	0,17 ab	0,04	4,47 ab	0,97	0,88	0,10	0,04	1,98
T6	2,11 b	1,58 a	0,17 ab	0,04	3,90 b	0,94	0,82	0,10	0,05	1,91
T7	2,43 ab	1,79 a	0,15 b	0,04	4,41 ab	1,14	0,81	0,13	0,06	2,14
P > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,852	0,0001	0,801	0,434	0,176	0,125	0,570
Signification	THS	THS	THS	NS	THS	NS	NS	NS	NS	NS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls ; THS = très hautement significative, NS = non significative. T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

4.1.4.2. Effet des types de fertilisants sur l'activité respiratoire dans le mode de traitement phytosanitaire biologique

On constate trois groupes dans la dynamique de l'activité biologique du sol mesurée à partir du cumul du CO₂ dégagé dans la profondeur 0-15 cm pour le site de Léguema (Figure 13). De façon générale, dans tous les traitements, les trois premiers jours d'incubation sont marqués par une croissance du dégagement du CO₂; et s'ensuit un léger fléchissement au septième suivie d'une remontée graduelle jusqu'au vingt-unième jour. Les pics les plus faibles sont rencontrés dans les traitements T2 (compost + engrais), T5 (compost + CMA) et T3 (compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga) traduisant une activité biologique plus faible dans ces milieux. L'activité biologique est moyenne dans les traitements T6 (compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA), T7 (compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA) et T1 (compost seul) et plus intense dans le traitement T4 (compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT). L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les dégagements du CO₂ dans les différents types de fertilisants comparés.



T1 = compost seul (30 t/ha) ; T2 = compost (10 t/ha) + 500 kg/ha NPK (15-15-15) et 100 kg/ha d'urée ; T3 = compost(30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga ; T4 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT ; T5 = compost (30 t/ha) + CMA ; T6 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA ; T7 = compost (30 t/ha) inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA.

Figure 13: Evolution du cumul du dégagement du CO₂ en fonction des types de fertilisants dans le mode de traitement biologique

4.1.5. Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou

La figure 14 présente les résultats du mode de traitement sur le goût du chou. L'épreuve hédonique a révélé que le goût du chou traité aux biopesticides a été plus apprécié par 60,6 % de l'échantillon. Par ailleurs 36,4 % de l'échantillon ont trouvé que le chou traité aux pesticides chimiques a un meilleur goût et 3 % ont affirmé que le goût est identique.

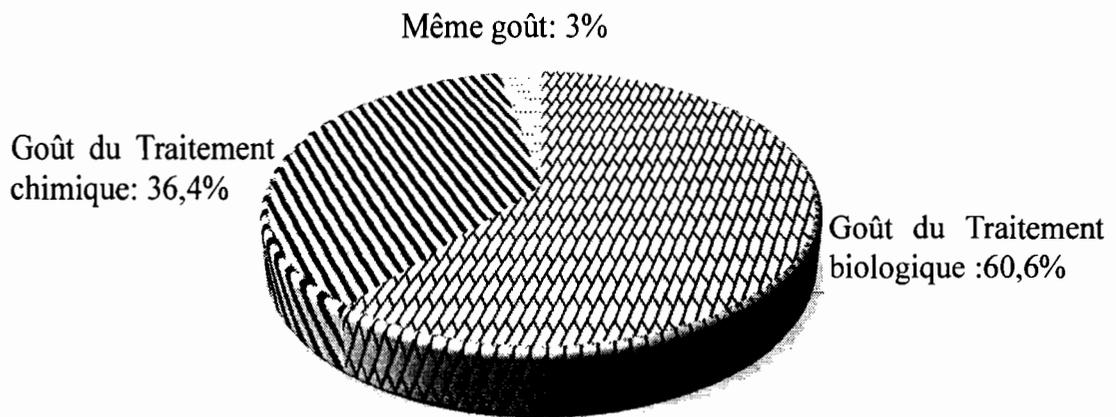


Figure 14: Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou

4.2. Discussion

4.2.1. Effet des traitements sur les paramètres agromorphologiques et la masse moyenne

Les résultats ont révélé une faible croissance végétative du chou sur les parcelles traitées aux pesticides biologiques, comparativement aux parcelles traitées aux pesticides chimiques dans les deux sites. Cette faible croissance pourrait se justifier par un manque de substances spécifiques dans les produits biologiques (huile de neem et Piol) contre certains insectes qui ont perturbé la croissance du chou. MONDEDJI (2014) a rapporté des résultats similaires. Ce même auteur indique que les traitements à base d'extrait de neem ne protègent pas le chou contre les insectes de l'ordre des Hémiptères en particulier *Lipaphis erysimi*. Nos résultats corroborent également ceux d'EKRA (2010) en Côte d'Ivoire. Cet auteur, après avoir testé l'efficacité des extraits aqueux de graines de neem (*Azadirachta indica* Juss) et des feuilles d'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) sur les insectes ravageurs du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.), ses résultats ont montré que parmi tous les traitements appliqués, seules les parcelles traitées avec le produit chimique ont enregistré le plus grand nombre de fruits n'ayant pas fait l'objet d'attaque des insectes ravageurs. Il a toutefois notifié, que le développement de résistance d'un groupe croissant d'insecte face aux insecticides chimiques.

L'analyse comparative entre les différents types de fertilisants révèle un meilleur effet de la fertilisation organo-minérale sur la croissance végétative et la masse moyenne d'un chou, comparativement au compost seul et le compost associé au champignon mycorhizien et/ou aux *Trichoderma harzianum*, sur les deux sites. Cet effet sur la croissance végétative et la masse moyenne induit par le traitement compost plus engrais minéraux s'expliquerait par la disponibilité des éléments minéraux contenus dans les engrais et qui aurait servi immédiatement à la nutrition minérale du chou. En effet, plusieurs auteurs ont prouvé l'efficacité de la fumure organo-minérale, en comparaison à celle organique. KOULIBALY *et al.* (2015) a montré que les apports de compost associés aux engrais minéraux ont significativement accru les rendements du cotonnier, comparativement au compost seul. Des résultats similaires avaient été également observés par OUEDRAOGO (2013), sur le cotonnier transgénique.

Les traitements associant les différentes souches de *Trichoderma harzianum* ont occasionné un meilleur résultat de la croissance après le traitement compost plus engrais minéraux. Cela s'expliquerait par le fait que les différentes souches de *Trichoderma* ont favorisé la biodisponibilité de certains nutriments. Les espèces du genre *Trichoderma* influencent la croissance des plantes en synthétisant des phytohormones comme l'acide indole 3-acétique

(AIA) et en améliorant la biodisponibilité des nutriments du sol par la solubilisation du phosphate et d'autres éléments nutritifs comme le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc (ALTOMARE *et al.*, 1999 ; RUDRESH *et al.*, 2005 ; GRAVEL *et al.*, 2007). Par ailleurs, OUEDRAOGO et HIEN (2015) ont montré que les traitements combinant la fumure organo-minérale et le *Trichoderma harzianum* donnent les meilleurs résultats et les biomasses les plus importants du niébé. Nos résultats se rapprochent de ceux de SINGH *et al.* (2014), qui ont montré que l'utilisation du *Trichoderma harzianum* et leur consortium favorisent le taux de germination de 90 % ainsi que la croissance des plantes de tomates *via* la protection contre certains agents pathogènes.

Les traitements combinant les CMA ont induit des effets faibles sur les paramètres agromorphologiques de la plante sur l'ensemble des deux sites. Bien que certains auteurs (HAMZA, 2014 ; HARO *et al.*, 2015) ; aient démontré l'effet positif des CMA sur la croissance et le rendement des cultures, nos travaux ont révélé que les traitements associant les CMA n'ont pas permis une amélioration nette de la croissance végétative et de la masse moyenne d'un chou. Cela se justifierait par le fait que le taux de mycorhization serait faible dû à la culture ou notamment à la teneur élevée du phosphore disponible dans le compost utilisé. Une étude réalisée par ASIMI (2009) sur le sorgho et le niébé indique un faible taux de colonisation des racines par les CMA ; corrélé à l'utilisation de fumure minérale forte + 20 t/ha de fumier. Des études ont montré que des concentrations élevées du phosphore et d'azote dans le sol sont véritablement défavorables à la mycorhization des plantes (EGLI et BRUNNER, 2002 ; GRANT *et al.*, 2005). Les mêmes observations ont été faites par PIERAT (2012) qui ont montré que l'utilisation au-delà de 01 t/ha de superphosphate triple entraîne une baisse du taux de mycorhization.

4.2.2. Effet des types de fertilisants sur les paramètres chimiques

Les résultats de l'analyse du sol indiquent une acidité élevée dans le traitement compost + engrais (T2) et des pH proches de la neutralité dans les traitements compost seul (T1), compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga (T3), compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT (T4), compost + CMA (T5), compost inoculé au *T. harzianum* souche Tabtenga + CMA (T6) et compost inoculé au *T. harzianum* souche GIE BIOPROTECT + CMA (T7). Nos résultats confirment ceux de BERTRAND et GIGOU (2000) et PARE (2014) qui ont montré que l'utilisation des engrais minéraux conduit à une modification des paramètres chimiques du sol, notamment une acidification du sol. Dans les traitements T1. T3. T4. T5. T6

et T7, les pH neutres pourraient être dus à l'utilisation du Burkina phosphate lors du compostage et à la dose de compost appliqué. Des études ont montré que l'apport de compost permet de complexer divers éléments, notamment l'aluminium échangeable et réduire ainsi l'acidité du sol (KIBA, 2005 ; SOMA, 2008 ; PARE, 2014). Nos travaux corroborent également ceux de KIMUNI *et al.* (2014) qui ont montré que l'application du compost à 60 t/ha dans un sol acide a induit une augmentation du pH permettant ainsi une amélioration du rendement du chou.

Par ailleurs, le traitement compost + engrais (T2) a favorisé une amélioration de la teneur en phosphore assimilable de manière très significative, comparativement aux autres traitements qui ne diffèrent pas les uns des autres. En effet, cette amélioration de la teneur est due à la disponibilité en P_2O_5 dans les engrais minéraux. AKANZA et YORO (2003) ont montré que l'utilisation d'engrais minéraux à différentes doses permet d'améliorer la teneur en phosphore assimilable. Le faible impact des autres traitements sur la teneur en phosphore disponible pourrait s'expliquer par la durée de l'essai qui est relativement courte (une seule campagne de 03 mois). Les résultats de l'analyse sur les bases échangeables du sol ont montré une différence hautement significative entre les traitements au niveau de la couche superficielle (0-15 cm). Le traitement compost + engrais a enregistré un faible effet sur la somme de bases échangeables. Cela confirme les travaux de AKANZA et YORO (2003) qui ont montré que l'utilisation des engrais minéraux n'influe pas significativement la somme des bases échangeables et les cations en particulier le cation Ca^{++} . Les traitements combinant les champignons du genre *Trichoderma* ont occasionné une amélioration des cations. Cela pourrait se justifier par la présence du *T. harzianum* qui aurait favorisé la libération de ces cations. Des résultats similaires ont été rapportés par ALTOMARE *et al.* (1999) et GRAVEL *et al.* (2007). Ces auteurs ont montré que l'utilisation des espèces du genre *Trichoderma* influence la croissance des plantes en synthétisant des phytohormones comme l'acide indole 3-acétique (AIA) et en améliorant la biodisponibilité des nutriments du sol par la solubilisation du phosphate et d'autres éléments nutritifs. Malgré le fait que des auteurs (FORTIN *et al.*, 2008 ; HARO, 2016) ; aient prouvé le rôle positif des CMA sur la croissance des plantes et l'amélioration des éléments nutritifs du sol ; nos travaux n'ont révélé aucun effet significatif de l'action des CMA sur le rendement du chou et les propriétés chimiques du sol. Cela confirmerait donc les travaux de REAU *et al.* (2005) qui ont montré un effet allélopathique des Brassicacées sur certains champignons, bactéries et nématodes du sol.

4.2.3. Effet des types de fertilisants sur l'activité biologique dans le mode de traitement phytosanitaire biologique

Dans tous les traitements, les trois jours d'incubation sont marqués par une croissance du dégagement du CO₂; et s'ensuit un léger fléchissement au septième suivie d'une remontée graduelle jusqu'au vingt-unième jour. Le dégagement du CO₂ est une fonction de l'activité biologique des microorganismes du sol (MEDA, 2016). Il représente la capacité des microorganismes à minéraliser la matière organique et rendre les nutriments disponibles (GAUTHIER et PATRY, 2016). L'activité biologique des microorganismes est fonction des propriétés chimiques du sol. Plus celles-ci sont importantes, plus l'activité biologique est intense. Le pic croissant de la minéralisation du carbone d'une part dès les trois premiers jours d'incubation correspond à la reprise de l'activité biologique et de composés facilement biodégradables qui auraient servi de sources d'énergies pour les microorganismes. Et d'autre part, le léger fléchissement s'expliquerait par l'existence de composés plus résistants, durement dégradables comme les lignines après épuisement de ceux biodégradables. Dans la présente étude, ceux-ci sont en accord avec les résultats rapportés par (DIARRA, 2009). Cet auteur constatât le moins de dégagement du CO₂ due à une quantité élevée de lignines observées dans les feuilles du Karité (*Vitellaria paradoxa*) et du Néré (*Parkia biglobosa*) servant de paillage lors de la culture du sorgho. En effet, des auteurs (DIARRA, 2009 ; OUATTARA, 2016), ont montré que la baisse du CO₂ s'expliquent par les faibles teneurs en carbone et en phosphore qui devraient seconder de sources de nutriments pour les microorganismes.

4.2.4. Effet du mode de traitement phytosanitaire sur le goût du chou

L'analyse de l'épreuve hédonique indique que 60,6 % de l'échantillon (consommateurs) ont trouvé le goût du chou traité aux biopesticides meilleur par rapport à celui du traitement chimique. Cette différence de goût s'expliquerait par le fait que le chou traité biologiquement poussant moins vite, a eu le temps de se concentrer en arômes et en certains éléments minéraux. Nos résultats confirment ceux de CHASSY *et al.* (2006) qui ont montré des teneurs plus élevées d'acide ascorbique de 26 % de plus en culture de tomate biologique par rapport à la culture chimique. COLLA *et al.* (2002) ont également montré plus d'accumulation de calcium dans ces tomates biologiques.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS et PERSPECTIVES

Notre étude visait à évaluer les effets du compost associé ou non aux *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien arbusculaire sous traitement phytosanitaire biologique sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et le rendement du chou en milieu paysan. Elle s'inscrit dans la dynamique d'une amélioration durable de la productivité des cultures maraîchères par des pratiques respectueuses de la santé humaine et de l'environnement. Les résultats de l'étude ont permis de noter que le traitement combinant la fumure organo-minérale favorise les meilleures croissances végétatives et la masse moyenne d'un chou. L'apport du compost seul et sa combinaison aux *Trichoderma harzianum* et /ou au CMA ont permis d'améliorer le phosphore assimilable du sol. Ces traitements ont permis d'optimiser de façon similaire l'acidité du sol, comparativement au compost +engrais. L'évaluation de l'effet de ces traitements sur la couche superficielle a permis une amélioration des bases échangeables. Il ressort de cette analyse que les traitements combinant les souches de *Trichoderma harzianum* et/ou le CMA et le compost seul ont enregistré les valeurs les plus élevées de la somme des bases échangeables. Cette étude a également montré une variation significative entre les modes de traitement phytosanitaire sur la masse moyenne d'un chou. Dans le site de Kiri, il ressort de l'étude que le traitement phytosanitaire chimique enregistre la plus grande valeur de la masse moyenne, 251,3 g contre 178,0 g pour le traitement phytosanitaire biologique. La même tendance a été observée sur le site de Léguema. Du champ à l'assiette, l'épreuve hédonique a montré que le chou traité biologiquement a induit le meilleur goût. En effet 60,6 % des consommateurs ont préféré le chou traité aux biopesticides.

Au vu de ces résultats, nos travaux rejettent l'hypothèse selon laquelle le compost associé aux souches de *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien entraîne une amélioration du rendement du chou sous traitement phytosanitaire biologique. Par ailleurs, notre étude confirme l'hypothèse suivante : le compost associé aux souches de *Trichoderma* et/ou au champignon mycorhizien permet une amélioration des propriétés du sol.

Cependant à l'issue de notre étude, nous formulons les recommandations suivantes aux producteurs:

- d'utiliser les pesticides chimiques homologués pour le maraîchage;
- d'appliquer les doses des pesticides chimiques et d'engrais minéraux recommandés par les services de vulgarisation;

En perspectives, nous suggérons :

- poursuivre l'expérimentation sur les deux années suivantes pour parvenir à des résultats plus concluants pour la vulgarisation;
- évaluer le taux d'infection du champignon du genre *Trichoderma* sur les racines du chou et dans le sol afin de poursuivre son évolution dans le temps et dans l'espace;
- suivre la nutrition organo-minérale du chou afin de déterminer la dose optimale de fertilisation organique;
- tester les mêmes traitements en milieu contrôlé pour déterminer les effets réels aux souches de *Trichoderma* et/ou de CMA sans pression parasitaire.
- étendre l'étude à d'autres cultures maraîchères économiquement importantes telles que la tomate et l'oignon bulbe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOURAHAMANE R., 2013.** Les semences de choux disponibles au Niger. Niamey, Niger, RECA, première version, 4 p.
- AGUEH V., DEGBEY C. C., SOSSA-JEROME C., ADOMAHOU D., PARAISO M. N., VISSOH S., MAKOUTODE M., FAYOMI B., 2015.** Niveau de contamination des produits maraîchers par les substances toxiques sur le site Houéyiho au Bénin. *Biological and Chemical Sciences*, 9(1): 542-551.
- AHOUANGNINOU C. C. A., 2013.** Durabilité de la production maraîchère au sud-Bénin : un essai de l'approche éco systémique. Thèse de grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi, option Environnement, Santé et Développement Durable/Spécialité Gestion de l'Environnement, Abomey, Bénin, 349 p.
- AKANZA P. K., YORO G., 2003.** Effets synergiques des engrais minéraux et de la fumure de volaille dans l'amélioration de la fertilité d'un sol ferrallitique de l'ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 15 (3) : 135-144.
- ALBRECHT R., 2007.** Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de grade de Docteur à l'université Paul Cezanne Aix-Marseille III, discipline : Biosciences de l'environnement, Marseille, France, 189 p.
- ALTOMARE C., NORVELL W. A., BJÖRKMAN T., HARMAN G E., 1999.** Solubilization of Phosphates and Micronutrients by the Plant-Growth-Promoting and Biocontrol Fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(7):2926-2933.
- ASIMI S., 2009.** Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique en Développement Rural, option systèmes de Production Végétale/Spécialité : Sciences du sol à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 191 p.
- AUBERTOT J. N., BARBIER J. M., CARPENTIER A., GRIL J. J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLTZ M., 2005.** Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.
- AUGE R. M., 2001.** Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3-42.
- BARKER S. J., TAGU D., 2000.** The roles of Auxins and Cytokinins in Mycorrhizal Symbioses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19(2): 144-154.
- BASSOLE D., OUEDRAOGO L., 2007.** Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et péri urbain au Burkina Faso : cas de Bobo-Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou, Publication APIPAC/IFDC, 51 p.

- BELLION M., 2006.** Caractérisation fonctionnelle de gènes impliqués dans la tolérance au stress métallique chez les champignons ectomycorhiziens par agrotransformation d'*Hebeloma cylindrosporum*. Thèse de Doctorat en biologie végétale et forestière, Université Henri-Poincaré Nancy I, Nancy, France, 90 p.
- BERTRAND R., GIGOU J., 2000.** La fertilité des sols tropicaux, le technicien d'agriculture tropicale, 40. Paris, France, Maisonneuve et Larose, 397 p.
- BOUAJILA K., JEDDI F. B., TAAMALLAH H., JEDIDI N., SANAA M., 2014.** Effets de la composition chimique et biochimique des résidus de cultures sur leur décomposition dans un sol Limono-Argileux du semi-aride. *J. Mater. Environ. Sci.* 5(1) :159-166.
- BOUZIANE Z., DEHIMAT L., KACEM CHAOUICHE N., ABDEL AZIZ W., 2011.** La compétition de *Trichoderma viride* vis-à-vis des souches fongiques pathogènes de *Zea mays*. *Sciences et Technologie C-N°33*, Juin (2011): 31-37.
- BTISSAM M., AMINA T., ALLAL D., 2007.** Effet de diverses souches du *Trichoderma* sur la croissance d'une culture de tomate en serre et leur aptitude à coloniser les racines et le substrat. *Phytoprotection*, 88(3): 103-110.
- CARON J., LAMBERT L., 2002.** Le pouvoir antagoniste du *Trichoderma*. Conférence présentée lors des journées horticoles régionales à Saint-Rémi le 05 décembre 2002, Horti-Protection, 4 p.
- CARON J., LAVERDIERE L., THIBODEAU P. O. et BELANGER R. R., 2002.** Utilisation d'une souche indigène de *Trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. *Phytoprotection*, 83(2): 73-87.
- CARON J., LAVERDIERE L., VENNE J., BELANGER R. R., 2006.** Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement. Rapport final/volet phytopathologie, Québec, Canada, Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 278 p.
- CHASSY A. W., BUI L., RENAUD E. N., VAN HORN M., MITCHELL A.E., 2006.** Three year comparison of the content of antioxidant microconstituents and several quality characteristics in organic and conventional managed tomatoes and bell peppers. *Journal Agricultural Food chemical*, 54(21): 8244-8254.
- CHIDIKOFAN D. M. G. F., 2010.** Contribution à l'amélioration de la qualité des cultures maraîchères du site de Houéyiho à Cotonou au Bénin : cas de la laitue (*Lactuca sativa L.*). Mémoire du Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, option : Environnement. 2iE Fondation, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, Burkina Faso, 56 p.
- COLLA G., MITCHELL J. P., POUDEL D. D., TEMPLE S. R., 2002.** Changes of tomato yield and fruit elemental composition in conventional, low input, and organic systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 20(2):53-67.

- COMBARY S. O., 2016.** Utilisation des souches de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) et de *Trichoderma* comme moyen de contrôle de *Fusarium oxysporum* Jarvis et Shoemaker et *Ralstonia solanacearum* (Smith) sur la tomate. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 65 p.
- COULIBALY K., VALL E., AUTFRAY P., NACRO H. B., SEDOGO M. P., 2012.** Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *Biological and Chemical Sciences*, 6(3): 1069-1080.
- CULOT M., LEBEAU S., 1999.** Le compostage, une pratique méconnue de gestion de déchets. Bulletin d'information AIGx, 5: 11-16.
- DALPE Y., 2005.** Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86(1): 53-59.
- DECHAMPLAIN N., GOSSELIN L., 2002.** Les champignons mycorhiziens. PISTES/Université Laval, Québec, Canada, 14 p.
- DELUCCHI V., 1992.** « Agrochimie, Suisse et Tiers Monde », *Annuaire suisse de politique de développement* [En ligne], N°11. (<http://aspd.revues.org/1567>, mis en ligne le 18 mai 2013 et Consulté le 10 septembre 2016).
- DEMBELE I., 1994.** Production et utilisation de la fumure organique. Fiche synthétique d'information. Document ESPGRN N° 94, 14 p.
- DEMBELE Y., SOME L., 1991.** Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso. Soil Water Balance in Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). *IAHS Publ.* 199: 217-227.
- DGPER, 2010.** « Rapport d'analyse du module maraîchage, bureau central du recensement général de l'agriculture », 214 p.
- DIALLO L., 2002.** Effet des engrais azoté et du fumier sur les rendements du maïs. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 56 p.
- DIARRA B. G., 2009.** Influence du phosphore, de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho (*Sorghum bicolor*) les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 70 p.
- DIOGO R. V. C., BUERKERT A., SCHLECHT E., 2010.** Horizontal nutrient fluxes and food safety in urban and peri-urban vegetable and millet cultivation of Niamey, Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87: 81-102.
- DIOUF H. R., 2008.** Plan d'action pour une meilleure participation des ONG de l'Afrique francophone dans la promotion de la sécurité chimique. International POPs Elimination Network (IPEN)/Pesticides Action Network (PAN) Africa, 34 p.

- DITENGOU F. A., BEGUIRISTAIN T., LAPEYRIE F., 2000.** Root hair elongation is inhibited by hypaphorine, the indole alkaloid from the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*, and restored by indole-3-acetic acid. *Planta*, 211: 722-728.
- DUPONNOIS R., BÂ A. M., 1999.** Growth stimulation of *Acacia mangium* Willd by *Pisolithus* sp. in some Senegalese soils. *Forest Ecology and Management*, 119(1-3): 209-215.
- DUPONNOIS R., CADET P., 1994.** Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. On growth and N₂ fixation of *Acacia seyal*. *Afro Asian Journal of Nematology*, 4(2): 228-233.
- DUPONNOIS R., FOUNOUNE H., MASSE D., PONTANIER R., 2005.** Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207(3): 351-362.
- DUPONNOIS R., HAFIDI M., NDOYE I., RAMANANKIERANA H., BÂ M. A., 2013.** Des champignons symbiotiques contre la désertification. Ecosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires. Marseille, France, IRD, 511 p.
- EGLI S., BRUNNER I., 2002.** Les mycorhizes : une fascinante biocénose en forêt. Notice pour le praticien 35, WSL Birmensdorf, 8 p.
- EKRA K. A., 2010.** Etude comparée de l'efficacité des extraits aqueux de graines de neem (*Azadirachta indica* Juss) et de feuilles d'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) dans la lutte contre les insectes du gombo (*Abelmoschus esculentus* L). Mémoire d'Ingénieur en agriculture générale. Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (école supérieure d'agronomie). Côte d'Ivoire. <http://www.memoireonline.com/01/13/6680/Etude-comparee-de-l-efficacite-des-extraits-aqueux-de-graines-de-neem-Azadirachta-indica-Juss--e.html>. consulté le 05/07/2017 à 19h15mn.
- ELAD Y., 2000.** Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. *Crop Protection*, 19: 709-714.
- FITXATECNICA, 2012.** La fertilisation en maraîchage biologique, Fiche 108, 3 p.
- FORTIN J. A., PLENCHETTE C., PICHE Y., 2008.** Les mycorhizes: La nouvelle révolution verte. Editions multimondes. Québec, Canada, 131 p.
- FRANCOU C., 2003.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage, recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de grade de Docteur à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 244 p.
- FREEMAN S., MINZ D., KOLESNIK I., BARBUL O., ZVEIBIL A., MAYMON M., NITZANI Y., KIRSHNER B., RAV-DAVID D., BILU A., DAG A., SHAFIR S., ELAD Y., 2004.** *Trichoderma* biocontrol of *Colletotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry. *European Journal of Plant Pathology* 110: 361-370.

- GARBAYE J., 2013.** La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Versailles, France, Editions Quæ, 251 p.
- GAUTHIER M., PARTRY M., 2016.** L'évaluation de la santé globale des sols. AgroEnviroLab, 21 p.
- GAVERIAUX., 2012.** Les glomeromycota. Mycorhizes VAM et *Geosiphon pyriformis*. *Bull. Soc. Mycol. Nord France*, 92:1-17.
- GIROVAR., 2011.** Atelier, Fiche fertilisation, 9 p.
- GRANT C., BITTMAN S., MONTREAL M., PLENCHETTE C., MOREL C., 2005.** Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Can.J. Plant Sc.*, 85: 3-14.
- GRAVEL V., ANTOUN H., TWEDDELL J.R., 2007.** Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 1968-1977.
- GRUBBEN G. J. H., DENTON O. A., 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légumes. [Traduction de : plant Ressources of Tropical Africa 2.Vegetables.2004]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas/Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas/CTA, Wageningen, Pays-Bas, 777 p.
- GRY L., 1992.** Rentrons dans l'univers des choux. *Semences et Progrès* 73: 33-47.
- HAMZA N., 2014.** Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère ; cas de la pastèque (*Citrillus lanatus*). Mémoire de magister en biologie et physiologie végétale. Option valorisation des ressources végétales. Université Ferhat Abbas Sétif 1, Faculté des sciences de la nature et de la vie. Sétif, Algérie, 54 p.
- HARMAN G. E., 2006.** Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96(2):190-194.
- HARO H., 2011.** Effet d'inoculum de champignons mycorhiziens arbusculaires sur la productivité du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Mémoire du diplôme d'études approfondies, option Biotechnologie Microbienne et Cellulaire. Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 82 p.
- HARO H., 2016.** Optimisation des symbioses rhizobienne et mycorhizienne pour améliorer la productivité du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au Burkina Faso. Thèse de Doctorat, option : Sciences Biologiques Appliquées, spécialité : Biotechnologies Microbienne et Cellulaire à l'Université Ouaga 1 Professeur Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso, 184 p.
- HARO H., SANON B. K., DIOP I., KANE A., DIANDA M., HOUNGNANDAN P., NEYRA M., TRAORE A., 2012.** Réponse à l'inoculation mycorhizienne de quatre variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Burkina Faso et au Sénégal. *Biological and Chemical Sciences* 6(5): 2097-2112.

- HARO H., SANON B. K., KRASOVA-WADE T., KANE A., N'DOYE I., TRAORE S. A., 2015.** Réponse à la double inoculation mycorrhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. *Biological and Chemical Sciences*, 9(3): 1485-1493.
- HE X., NARA K., 2007.** Element biofortification: can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? *Trends in Plant Science*, 12(8): 331-333.
- HINSINGER P., 2001.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by rootinduced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, 237: 173-195.
- HUBER G., SCHAUB C., 2011.** La fertilité des sols : l'importance de la matière organique. Bas-Rhin, France, Agricultures et territoires/Chambre d'agriculture Bas-Rhin, 42 p.
- JACOB C., 2001.** Etude des interactions entre les métaux et champignons ectomycorhizes : mise en évidence de gènes impliqués dans la réponse au cadmium de *Paxillus involutus*. Thèse de Doctorat en biologie forestière, Université Henri-Poincaré Nancy I, Nancy, France, 194 p.
- JAMES B., ATCHA-AHOWÉ C., GODONOU I., BAIMEY H., GOERGEN G., SIKIROU M., TOKO M., 2010.** Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria, 120 p.
- JAYALAKSHMI S. K., RAJU S., USHA RANI S., BENAGI V. I., SREERAMULU K., 2009.** *Trichoderma harzianum* L₁ as a potential source for lytic enzymes and elicitor of defense responses in chickpea (*Cicer arietinum* L.) against wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cicero*. *Australian Journal of Crop Science*, 3(1): 44-52.
- JEFFRIES P., GIANINAZZI S., PEROTTO S., TURNAU K., BAREA J.M., 2003.** The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of soils*, 37: 1-16.
- JERNAI I., GUIRAT S. B., AISSA N. B. JEDIDI N., GALLALI T., 2011.** Effet de l'amendement par fumier de ferme et par compost d'ordures ménagères sur la restauration d'un sol argileux de plaine sous climat semi-aride tunisien. *Etude et Gestion des Sols*, 18(4) :271-285.
- JONER E. J., LEYVAL C., 2003.** Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. *Environmental Science and Technology*, 37(11): 2371-2375.
- KANDA M., AKPAVI S., WALA K., DJANEYE-BOUNDJOU G., AKPAGANA K., 2014.** Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. *Biological and Chemical Sciences*, 8(1): 115-127.
- KANDA M., DJANEYE-BOUNDJOU G., WALA K., GNANDI K., BATAWILA K., SANNI A., AKPAGANA K., 2013.** « Application des pesticides en agriculture maraichère au Togo », *Vertigo - la revue électronique en sciences de*

l'environnement [En ligne], Volume 13 Numéro 1 | avril 2013, mis en ligne le 16 avril 2013, consulté le 19 avril 2017. URL : <http://vertigo.revues.org/13456> ; DOI : 10.4000/vertigo.13456.

- KIBA D. I., 2005.** Valorisation agronomiques des excréta humains : utilisation des urines et fèces humains pour la production de l'Aubergine (*Solanum melaongena*) et du Maïs (*Zea mays*) dans la zone centre du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 79 p.
- KIBA D. I., 2007.** Valorisation agronomique de déchets d'abattoir et de décharges de la ville de Ouagadougou: cas d'essai en station de recherche. Mémoire du diplôme d'études approfondies (DEA) en gestion intégrée des ressources naturelles, option Systèmes de Production Végétales/Spécialité Science du Sol. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 44 p.
- KIBA D. I., 2012.** Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique en Développement Rural, option systèmes de Production Végétale, spécialité : Sciences du sol à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 153 p.
- KIMBA A., ABDOULAYE A. K., DELMAS P., ASSOUMANE B. D., BASSIROU S. B. G., 2014.** Les semences de choux disponibles au Niger. Korama, Niger, CASPANI YARDA/RECA, deuxième version, 7 p.
- KIMUNI L. N., MWALI M. K., MULEMBO T. M., LWALABA WA LWALABA J., LUBOBO A. K., KATOMBE B. N., MPUNDU M. M., BABOY L. LOUIS., 2014.** Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de Chine (*Brassica chinensis* L.) installé sur un sol acide de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences*, 77:6509-6522.
- KOULIBALY B., DAKUO D., OUATTARA A., TRAORE O., LOMPO F., ZOMBRE P. N., YAO-KOUAME A., 2015.** Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicultura*, 33(2) :125-134.
- LAMBERS H., RAVEN J. A., SHAVER G. R., SMITH S. E., 2008.** Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(2): 95-103.
- LANDEWEERT R., HOFFLAND E., FINLAY R. D., KUYPER T. W., VAN BREEMEN N., 2001.** Linking plant to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(5): 248-254.
- LAUMONNIER R., 1978.** Cultures légumières et maraîchères. Paris, France, J.B.Ballière, Tome I, 263 p.
- LE TACON F., 1985.** Les Mycorhizes : une coopération entre plantes et champignons. *La Recherche*, 166 : 624–632.

- MAH, 2011.** Rapport d'analyse du module maraîchage. Ouagadougou, Burkina Faso, 318 p.
- MAHESH B., TEJESVI M. V., NALINI M. S., PRAKASH H. S., KINI K. R., SUBBIAH V., SHETTY H. S., 2005.** *Endophytic mycoflora* of inner bark of *Azadirachta indica*. A. Juss. *Current Sciences*, 88(2) : 218-219.
- MAHRH, 2004.** Etude pour l'élaboration du plan de développement de la filière fruits et légumes, Burkina Faso, 164 p.
- MAHRH, 2007.** Analyse de la filière maraîchage au Burkina Faso, Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Burkina Faso, 127 p.
- MAHRH, 2011.** « Bilan de la campagne 2009-2010 et de programmation 2010-2011 de la filière oignon dans la zone d'intervention du PAFASP », 86 p.
- MANJUNATH A., HUE N. V., HABTE M., 1989.** Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant and Soil*, 114: 127-133.
- MARTINO E., TURNAU K., GIRLANDA M., BONFANTE P., PEROTTO S., 2000.** Ericoid mycorrhizal fungi from heavy metal polluted soils: Their identification and growth in the presence of zinc ions. *Mycol. Res*, 104(3): 338-344.
- MEDA W., 2016.** Arrières effets de douze variétés de légumineuses sur la fertilité chimique et biologique du sol. Mémoire d'Ingénieur d'agriculture, option Agronomie. Centre de formation polyvalent d'Agriculture de Matroukou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 60 p.
- MONDEDJI A. D., NYAMADOR W. S., AMEVOIN K., ADEOTI R., ABBEVI ABBEY G., KOFFIVI KETOH G., GLITHO I. A., 2015.** Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo. *Biological and Chemical Sciences* 9(1) : 98-107.
- MONDEDJI A. D., NYAMADOR W. S., AMEVOIN K., KETOH G. K., GLITHO I. A., 2014.** Efficacité d'extraits de feuilles de neem *Azadirachta indica* (Sapindale) sur *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), *Hellula undalis* (Lepidoptera: Pyralidae) et *Lipaphis erysimi* (Hemiptera: Aphididae) du chou *Brassica oleracea* (Brassicaceae) dans une approche « Champ Ecole Paysan » au sud du Togo. *Biological and Chemical Sciences*, 8(5): 2286-2295.
- MOUSTIER P., MOUMBELE M., HUAT J., 2004.** La gestion concertée et durable des filières maraîchères urbaines. Dans Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone : Enjeux, Concepts et Méthodes, O. B. SMITH, P. MOUSTIER, L. J. A. MOUGEOT et A. FALL, Ed., CIRAD et CRDI, pp. 79-94.
- MUSTIN M., 1987.** Le compost. Gestion de la matière organique. Paris, France, François Dubuc, 954 p.
- ONDO J. A., 2011.** Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques. Thèse de grade de Docteur à l'Université de Provence, Spécialité Sciences de L'Environnement Terrestre, Provence, France, 304 p.

- OUEDRAOGO D., 2012.** La vie socio-économique des femmes productrices d'oignon dans l'Oudalan au Burkina Faso : comment mesurer les impacts ? Mémoire de master professionnel en innovation et développement rural. Université de Ouagadougou, UFR/SH, Ouagadougou, Burkina Faso, 92 p + annexes.
- OUEDRAOGO E., HIEN E., 2015.** Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifai) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. *Biological and Chemical Sciences*, 9(3): 1330-1340.
- OUEDRAOGO R., 2006.** Problématique de l'écoulement de la tomate : cas des sites de Kiemna, Tikato, Touroum dans le département de Pissila province du Sanmatenga. Mémoire de fin de cycle de formation de conseiller F.J.A., Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, 64 p.
- OUEDRAOGO R. A., 2013.** Effet de la fertilisation organo-minérale sur la productivité du cotonnier transgénique Bollgard II. Mémoire du diplôme d'études approfondies (DEA) en gestion intégrée des ressources naturelles, option Systèmes de Production Végétales/Spécialité Science du Sol. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 58 p.
- PARE M B., 2014.** Effets de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques des sols en zone cotonnière ouest du Burkina Faso : cas des sols ferrugineux de Boni et des sols bruns eutrophes de Dossi. Mémoire de Master en Production Végétale. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 43 p.
- PERRIN R., 1985.** L'aptitude des mycorhizes à protéger les plantes contre les maladies : panacée ou chimère. *Annales des sciences forestières*, 42(4): 453-470.
- PIERART A., 2012.** Interactions entre mycorhization, nutrition en phosphore et adaptation de la plante à la toxicité du nickel sur substrat ultramafique vers une optimisation de la Mycorhization d'*Alphitonia neocaledonica*. Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage, Spécialisation : Gestion Durable du Végétal en Horticulture et Aménagement Paysager. Université de la Nouvelle-Calédonie, Nouvelle-Calédonie, 42 p.
- POUSSET J., 2011.** Engrais verts et fertilités des sols. Edition France agricole, Paris, France, 3^e édition, 397 p.
- POUYA B. M., 2008.** Contribution à l'évaluation des performances agro-pédologiques de formules de fumures organo-phosphatées dans la zone Est du Burkina Faso : cas de trois villages de la province de la Tapoa (Kotchari, Pentinga et Fantou). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 61 p.
- RASMIARIVELO A. V., 2014.** Partage des éléments nutritifs entre deux espèces végétales par l'intermédiaire des symbiotes fongiques et rhizobiums dans un système de culture riz pluvial-haricot sur les Hautes Terres malgaches. Mémoire du diplôme d'études approfondies (DEA) en sciences de la vie, option Biotechnologie-Microbiologie. Université d'Antananarivo, Faculté des sciences, Antananarivo, Madagascar, 74 p.

- REAU R., BODET J.-M., BORDES J.-P., DORE T., ENNAIFAR S., MOUSSART A., NICOLARDOT B., PELLERIN S., PLENCHETTE C., QUINSAC A., SAUSSE C., SEGUIN B. et TIVOLI B., 2005.** Effets allélopathiques des Brassicacées via leurs actions sur les agents pathogènes telluriques et les mycorhizes : analyse bibliographique. Partie II. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, *John Libbey Eurotext*, 12 (3): 314-319.
- REDON P. O., BEGUIRISTAIN T., LEYVAL C., 2008.** Influence of *Glomus intraradices* on Cd partitioning in a pot experiment with *Medicago truncatula* in four contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10): 2710-2712.
- RILLIG M.C., MUMMEY D. L., 2006.** Mycorrhizas and soil structure. *New Phytology*, 171: 41-53.
- RUDRESH D. L., SHIVAPRAKASH M K. and PRASAD R. D., 2005.** Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* spp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Canadian Journal of Microbiology*, 51: 217-222.
- SADFI-ZOUAOUI N., ROUAISSI M., ESSGHAIER B., HAJLAOUI M. R., HERMOSA M. R., BOUDABOUS A., 2008.** Identification morphologique et moléculaire d'espèces du genre *Trichoderma* isolées de différents sols Tunisiens. *Microbiol. Hyg. Alim.*, 20(57) : 9-15.
- SANGARE S. K., 2012.** Water and nutrient use efficiency and the vertical leaching losses in urban vegetable cropping systems in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Thèse de doctorat en Sciences agronomiques et ingénierie biologique à l'Université Catholique de Louvain, Louvain, Belgique, 193p.
- SARAND I., TIMONEN S., PELTOLA R., HAAHTELA K., SEN R., ROMANTSCHUK M., 1999.** Tolerance and biodegradation of m-toluate by Scots pine, a mycorrhizal fungus and fluorescent pseudomonads individually and under associative conditions. *J. Appl. Microbiol.*, 86: 817-826.
- SCHUSTER A., SCHMOLL M., 2010.** Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Appl. Microbiol Biotechnol*, 87: 787-799.
- SINGH S. P., SINGH H. B., SINGH D. K., RAKSHIT A., 2014.** *Trichoderma*-mediated enhancement of nutrient uptake and reduction in incidence of *Rhizoctonia solani* in tomato. *Egyptian Journal of Biology*, 16: 29-38.
- SOLTNER D., 2003.** Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son alimentation. Collection Sciences et techniques agricoles. 23^{ème} Edition, 472 p.
- SOMA D. M., 2008.** Contribution à l'amélioration de la qualité agronomique des composts de déchets d'abattoir et de décharges de la ville de Ouagadougou. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 48 p.
- ST-ARNAUD M., HAMEL C., VIMARD B., CARON M., FORTIN J. A., 1997.** Inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. dianthi in the non-VAM species *Dianthus*

Annexes

Annexe 1 : Itinéraire de production du compost

Dans l'une des deux petites fosses, préalablement vidées et nettoyées, il est versé vingt-deux (22) litres d'eau soit l'équivalent de deux (02) arrosoirs.

La couche carbonée est composée de : quarte (04) brouettées de paille de *Pennisetum sp* et/ou de résidus de récolte + deux (02) ou quatre (04) arrosoirs d'eau + trois (03) brouettées de fumier de bovin + deux (02) à trois (03) boîtes du Burkina phosphate ou à défaut une demi-brouettée de cendre + deux (02) arrosoirs d'eau. L'opération est ainsi répétée neuf (09) à dix-huit (18) fois en fonction de la quantité de paille de *Pennisetum sp* et/ou de résidus de récolte et du fumier disponibles.

A la deuxième ou quatrième couche, un piquet en bois est enfoncé au milieu de la fosse. Ce piquet permet de suivre la température et l'état d'humidité du compost. A la fin de la dernière couche, la fosse est couverte avec des pailles plus grossières que celles compostées avant d'y ajouter huit (08) à dix (10) arrosoirs d'eau. Tous les trois (03) jours, vérifier la température et l'humidité du compost jusqu'à la maturité du compost à travers le bois. Lorsqu'on constate que le bois est chaud, cela signifie que le processus de décomposition se déroule normalement. Par ailleurs, s'il est légèrement sec, on ajoute deux (02) arrosoirs d'eau.

Cependant au quatorzième jour après le début du remplissage de la fosse, un premier retournement du compost est effectué. Dans la deuxième fosse vide et nettoyée, verser deux (02) arrosoirs d'eau. Ecarter d'abord les pailles de recouvrement. Ensuite à l'aide d'une bassine, équivalente à une brouette, étaler le compost en y ajoutant deux (02) arrosoirs d'eau par couche. Répéter ainsi l'opération jusqu'à la couche de fond de la fosse. Enfin recouvrir la fosse avec les pailles de recouvrement et y ajouter deux (02) arrosoirs d'eau.

Au vingt-huitième jour du remplissage de la fosse s'effectue le deuxième retournement. Cela se fait de la même manière que le premier retournement. Ensuite au trente-cinquième jour et quarante-deuxième jour du remplissage, on fait respectivement le troisième et le dernier retournement. Ces deux derniers retournements se font sans ajout d'eau.

Enfin au quarante-cinquième jour, le compost est mûr et prêt à être utilisé. Vider le compost dans le « Grenier » en l'étalant. Par la suite, recouvrir le compost avec une natte de paille (de sorgho, de maïs ou de mil). Et dès la nuit ou le lendemain de la vidange, débutent les opérations de tamisage et de conditionnement du compost dans des sacs de 50 kg.

Annexe 2 : Fiche technique de l'huile de neem (H-N)



GIE BIOPROTECT-B S/C ARFA BP 15 FadaN'Gourma Burkina Faso
Agence commerciale: Ouagadougou, secteur 20 Quartier Kilwin
Tel: +226 70 22 48 41 e-mail: bioprotect.b@gmail.com
RCCM: BF FDG 2011 B49 IFU: 00034002N

Fiche technique d'utilisation de H-N

Présentation :

H-N est à la fois un fertilisant foliaire et un insecticide biologique composé essentiellement d'huile de neem. Grâce à ses propriétés ovicides et larvicides, H-N lutte efficacement contre une gamme variée de ravageurs (les tétranyques, les thrips, les acariens, l'aleurode les aphides, la noctuelle de la tomate, les mouches blanches, mineuses les pucerons, la punaise du niébé, les cantharides, les chenilles défoliatrices les criquets en plain champs ect.)

Sa formule à base d'huile de neem, permet à H-N d'assurer à la fois des fonctions de fertilisant et d'insecticide.

En résumé **H-N** présente les caractéristiques suivantes :

- FERTILISANT FOLIAIRE
- STIMULATEUR DES DEFENSES NATURELLES DES PLANTES
- PESTICIDE
- INSECTICIDE
- REPULSIF

Utilisation :

➤ Traitement des plantes

❖ *Les doses recommandées*

5l par ha de culture

5 ml pour une planche de 10 m² de culture

❖ *Applications.*

15 jours après repiquage pulvérisation foliaire de la HN à la dose de 5 ml diluée dans ¼ litre d'eau pour 10m² (soit 0,5 fois le couvercle du bidon).

L'opération est à répéter tous les 15 jours.

Annexe 3 : Fiche technique du Piol



GIE BIOPROTECT-B S/C ARFA BP 15 Fada N’Gourma Burkina Faso
Agence commerciale: Ouagadougou, secteur 20 Quartier Kilwin
Tel: +226 70 22 48 41 e-mail: bioprotect.b@gmail.com
RCCM: BF FDG 2011 B49 IFU: 00034002N

Fiche technique d’utilisation de PiOL.

Présentation :

PiOL est un insecticide biologique qui lutte efficacement contre les pucerons, la punaise du niébé, les cantharides, les chenilles défoliatrices.

Sa formule à base d’extraits de piment, d’ail et d’oignon, permet à la fois de repousser les insectes (aspect répulsif) mais aussi de les éradiquer complètement (aspect curatif) En résumé **PiOL** présente les caractéristiques suivantes :

- REPULSIF
- CURATIF

Utilisation :

15 jours après repiquage pulvérisation foliaire du Piol à la dose de 6 ml diluée dans ¼ litre d’eau pour 10m² (soit 0,5 fois le couvercle du bidon). L’opération est à répéter tous les 15 jours.

*BIOPROTECT : l’innovation au service de l’agriculture !
En cas de doute n’hésitez pas de nous appeler au +226 70 22 48 41*

Annexe 4 : Résumé des méthodes d'analyse du sol

Les méthodes d'analyse au laboratoire

➤ La granulométrie à 3 fractions (argiles, limons et sables)

La détermination de la granulométrie à 3 fractions a été faite selon la méthode densimétrique par dispersion des colloïdes du sol avec une solution du sodium hexamétaphosphate (NaPO_3)₆ et du sodium carbonate anhydre à 5 % (Na_2CO_3) appelé dispersant. La densité du sol a été mesurée au moyen d'un densimètre effilé, calibré à 20 °C, basée sur la loi de SOCKES ($V = Kr^2$). Pour se faire, 51 g de sol argileux (101 g pour les sols sableux) a été pesé dans un flacon de 500 ml en ajoutant 50 ml du dispersant agité pendant deux heures et laisser se reposer pendant 3 heures. La densité mesurée fournit une estimation soit de la fraction limon + argile soit de la fraction du sable.

➤ Le pH

La détermination du pH a été faite selon AFNOR (1981). La détermination du pH eau a consisté à faire agiter les échantillons pendant une heure dans de l'eau distillée. Le pH eau est ensuite mesuré à partir d'une solution du sol obtenue dans un rapport de masse sur volume de 1 g/2,5 ml. La lecture s'est faite avec un pH mètre à électrodes. Le pH KCl est mesuré à partir d'une solution de chlorure de potassium dans le même rapport que le pH eau.

➤ Le carbone total (C total)

La mesure du carbone total a été faite par la méthode WALKLEY-BLACK (1934) qui consiste en une oxydation froide du carbone du sol avec du bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. L'excès du bichromate est dosé par du sel de Mohr $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH})_2$ en présence d'indicateur coloré.

➤ L'azote total (N total)

Le dosage de l'azote a été fait selon la méthode de KJEDHAL (HILLEBRAND *et al.*, 1953) par attaque de H_2SO_4 concentré en présence de catalyseur au sélénium et d'eau distillée (H_2O), ce qui converti l'azote organique en sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. 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-amminosalylicilate. Après oxydation par couplage, il se forme un complexe vert dont l'absorbance est mesurée à 660 nm.

➤ **Le phosphore total**

Le dosage du phosphore a été fait selon une méthode identique à celle de l'azote total (HILLEBRAND *et al.*, 1953). Le dosage est fait par colorimétrie automatique au SKALAR. Le molybdate d'ammonium et le potassium antimoine tartrate réagissent en milieu acide avec l'acide ascorbique en formant un complexe coloré en bleu en présence de phosphore dont l'absorbance est mesurée à 880 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de P dans le milieu.

➤ **Le phosphore assimilable**

L'extraction du phosphore assimilable des sols est faite selon la méthode de BRAY 1 (BRAY *et al.*, 1945). Cette méthode consiste à extraire les formes de phosphores solubles dans les acides en grande partie celle liée au calcium et une portion liée à l'aluminium. A cet effet, 2 g de l'échantillon sont introduits dans un petit flacon de 25 ml auquel on a ajouté 14 ml de la solution d'extraction. Le mélange est agité pendant une minute puis filtré sur un filtre millipore à 0,2 μm . Le phosphore a été déterminé dans le filtrat par photo-calorimétrie.

➤ **Le potassium total**

L'extraction du potassium a été faite avec 0,1 N d'acide chlorhydrique (HCl) et 0,4 N d'acide oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$). Le potassium (K) est déterminé au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium avec celles des solutions standards. Dans l'opération, 5 g de sol (tamisé à 0,5 mm) ont été mélangés à 50 ml de la solution d'extraction. Le mélange est agité pendant une heure (dans un flacon bien fermé) avec un agitateur électrique. Il est soumis ensuite à une centrifugation (pendant 5 mn). Il s'ensuit un filtrage de la solution à l'aide du papier filtre, puis le filtrat sert à obtenir le potassium (WALINGA *et al.*, 1989).

➤ **Le potassium disponible**

Il est obtenu par extraction dans l'échantillon du sol en utilisant une solution mixte d'acides chlorhydrique (HCl ; 0,1 N) et oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$; 0,4 N). Le potassium est déterminé au Photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium avec celles de solution standard (BUNASOLS, 1987).

➤ **Activité microbienne du sol**

Pour l'analyse de l'activité respiratoire, cents (100) grammes de sol, tamisés à 2 mm et humidifiés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention (26 ml) de chaque traitement, ont été introduits dans un bocal hermétiquement fermé. Deux flacons, l'un contenant 20 ml de la soude (NaOH 0,1 N) pour le piégeage du CO₂ dégagé et l'autre contenant également 20 ml de l'eau distillée pour maintenir l'humidité constante, ont été disposés dans chaque bocal. Le bocal est hermétiquement fermé et maintenu sous une température de 30°C pendant 7 jours. La quantité de CO₂ dégagée est mesurée quotidiennement durant chaque 24 heures d'incubation. Le CO₂ dégagé et piégé par la soude est dosé par titration avec de HCl 0,1 N en présence de la phénolphthaléine, après précipitation préalable du carbonate de sodium par 3 ml de de chlorure de baryum (BaCl₂) à 3 %. La quantité de CO₂ dégagé par jour est exprimé en mg/100g de sol sec et donnée par la formule suivante : $Q \text{ (mg)} = [V_{\text{HCl (blanc)}} - V_{\text{HCl (traitement)}}] \times 2,2$.

Avec : $V_{\text{HCl (blanc)}}$ = Volume moyen d'acide chlorhydrique pour le bocal vide ; $V_{\text{HCl (traitement)}}$ = Volume moyen d'acide chlorhydrique pour le traitement et le coefficient 2,2 signifie qu'à 2,2 mg de CO₂ correspond 1ml de HCl 0,1 N (SEGDA, 2006).

Annexe 5 : Ingrédients de la recette et temps de cuisson du chou

Oignon: 1,95 kg

Tomates: 2,474 kg

Poivron: 217 g

Persil+ ail : 22 g

Sel granulé pour la cuisson des feuilles : 50 g

Potasse : 12 g

Sel pour la sauce : 40 g

Huile de friture 1 l

Temps de cuisson : 01 h 26 mn

La manière de cuisson et ingrédients sont valables pour chaque code d'échantillon.

Annexe 6 : Fiche d'évaluation (épreuve hédonique)

FICHE D'EVALUATION : Epreuve Hédonique (TEST DE CLASSEMENT)

PRODUIT :..... Date :.....

Nom et prénom :..... Sexe :.....

Tranche d'âge :...12-22....21-40....41-65. Adresse :.....

Nombre de fois de consommation

de choux par semaine :.....

INSTRUCTIONS

Veillez goûter les échantillons de choux codés et classez-les selon votre préférence en notant 1^{er} pour celui que vous préférez le plus et 2^{ème} pour celui que vous préférez le moins.

CODE DES ECHANTILLONS

RANGS

CHOUX X

.....

CHOUX X

.....

Observations :.....

.....

.....

.....