



REPUBLIQUE DU BENIN

UNIVERSITE DE PARAKOU

FACULTE D'AGRONOMIE

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE DE BOTANIQUE ET DE BIOLOGIE VÉGÉTALE

MYCOLOGIE TROPICALE ET INTERRACTION PLANTE-CHAMPIGNONS DU SOL (MyTIPS)

RAPPORT FINAL DU PROJET

Séquestration souterraine du carbone et interactions entre les micro-organismes face aux changements climatiques au sein des systèmes agro-écologiques des champs GDT des exploitations touchées par ProSOL au Benin

Consultant principal :

Prof. Dr. Ir. Nourou S. Yorou

Agronome Forestier Mycologue

Enseignant-chercheur à la Faculté d'Agronomie, Université de Parakou

Tél. 00229 94243866, Email. nourou.yorou@fa-up.bj

Collaborateurs du projet :

Prof. Hugues BAIMEY, nématologue, identification et illustration des nématodes, Université de Parakou

Prof. Rodrigue DIOGO, Spécialiste en écologie des systèmes de productions, Université de Parakou

MSc. Kassim TCHAN ISSIFOU, assistant principal du projet, Université de Parakou

Mars 2022

Table des matières

Introduction	5
2. Objectifs du projet	6
2. Méthodologie d'étude	7
2.1. Milieu d'étude.....	7
2.2. Activités de terrain.....	8
2.2.1. Choix des champs GDT pour l'échantillonnage du sol	8
2.2.2. Mission de prospection et d'échantillonnage des champs GDT	9
2.2.3. Collecte et traitement des échantillons de sol pour l'étude des microorganismes.....	9
2.2.4. Collecte et traitement des échantillons de sol et de racines pour l'isolement des nématodes	10
2.2.5. Collecte et traitement des échantillons de sol pour l'étude sur la séquestration du carbone	10
2.2.6. Entretien avec les producteurs	11
2.3. Activités de laboratoire.....	11
2.3.1. Traitement des échantillons du sol collecté	11
2.3.2. Isolement, identification et comptage des microorganismes des champs GDT	12
2.3.3. Extraction, observation, comptage et montage des nématodes.....	12
2.3.4. Métabarcodage et analyse des paramètres physico-chimique du sol des champs GDT	13
3. Résultats du projet.....	13
3.1. Diversité générale des microorganismes du sol	13
3.2. Diversité des microorganismes sous les champs de Maïs	14
3.3. Diversité des microorganismes sous les champs de Coton	16
3.4. Diversité des Glomeromycota par spéculation et par mesures GDT.....	19
3.4.1. Diversité en genre des CMA par spéculation et par mesures GDT	19
3.4.2. Densité des CMA par spéculation et par mesures GDT	21
3.5. Diversité des nématodes par spéculation et par mesures GDT	22
3.5.1. Densité des nématodes	22
3.5.2. Diversité des Nématodes.....	24
3.6. Fonctions primaires des microorganismes du sol.....	27

3.7. Analyse des paramètres chimiques et taux de séquestration du carbone par mesure GDT et par spéculation.....	29
4. Discussion générale des résultats	34
Conclusion.....	36
Références bibliographiques	37
ANNEXES	39

Liste des annexes

Annexe 1: Liste des champs échantillonnés au sein de la commune de Kandi	39
Annexe 2 : Liste des champs échantillonnés au sein de la commune de Bembèrèkè	40
Annexe 3: Planche photo des genres dominants du milieu d'échantillonnage	42
Annexe 4 : Planche photo des principaux genres rencontrés au sein des deux communes d'études	43

Liste des figures

Figure 1: Carte de la zone d'étude montrant les villages investigués (points rouges)	7
Figure 2: Richesse spécifique des microorganismes par combinaison de mesures GDT	15
Figure 3 : Abondance des microorganismes par combinaison de mesures GDT.....	16
Figure 4 : Richesse spécifique des microorganismes par combinaison de mesures GDT	18
Figure 5: Abondance des microorganismes par combinaison de mesures GDT.....	19
Figure 6: Diversité en genre des CMA par mesure GDT sous le coton.....	20
Figure 7: Diversité en genre des CMA par mesure GDT sous le Maïs.....	21
Figure 8: Densité de population des nématodes dans les sols et racines collectés à Kandi	23
Figure 9 : Densité de population des nématodes dans les sols et racines collectés à Bembèrèkè..	24
Figure 10: Richesse spécifique des microorganismes par fonction primaire sous les champs du Maïs	28
Figure 11: Richesse spécifique des microorganismes par fonction primaire sous les champs du Coton	29
Figure 12: Stock du carbone par mesure GDT sous les champs du Maïs	30
Figure 13: Stock du carbone par mesure GDT sous les champs du Coton	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Densité des spores par spéculation et mesures GDT dans la commune de Bembèrèkè	21
Tableau 2 : Densité des spores par spéculation et mesures GDT dans la commune de Kandi	21
Tableau 3 : Densité de population des nématodes par genre de nématodes à Kandi	25
Tableau 4 : Densité de population des nématodes par genre de nématodes à Bembèrèkè	26
Tableau 5: Synthèse des paramètres physico-chimiques des champs GDT sélectionnés	32

Introduction

Outre les aléas climatiques et les nuisibles, la faible productivité des champs au Bénin est due en grande partie aux pratiques culturales et à la baisse de la fertilité des sols (Schlecht *et al.*, 2006 ; Balogoun, 2013). Ce problème est devenu une préoccupation grandissante pour les agriculteurs béninois, principales victimes du phénomène et pour les chercheurs dont la vocation est d'œuvrer à la conservation et la restauration de la fertilité des sols (Saïdou *et al.*, 2012). Pour pallier ce problème, les agriculteurs font recours à une agriculture intensive nécessitant de plus en plus l'utilisation des intrants chimiques dans le but d'améliorer leurs rendements (Salako *et al.*, 2007 ; Saïdou *et al.*, 2012 ; Balogoun *et al.*, 2013). Cette pratique culturale a des incidences néfastes non seulement sur la qualité physique et chimique du sol, mais aussi et surtout sur la diversité et l'efficacité des microorganismes du sol dans leur rôle de décomposition de la matière organique morte et l'apport à la croissance des plantes (Van der Gast *et al.*, 2011 ; Willis *et al.*, 2013). Pour ce faire, une agriculture durable à faible apport d'intrants et n'ayant aucun risque sur la santé humaine (Akpo *et al.*, 2016), paraît être la meilleure alternative. De ce fait, plusieurs pratiques de gestion durable des terres sont mises en œuvre dans le souci de restaurer les sols dégradés et d'améliorer durablement leur fertilité. Le Projet « Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la sécurité alimentaire » (ProSOL) qui émane de l'initiative spéciale « Un Seul Monde sans Faim » (SEWoH) du Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Economique et du Développement (BMZ), œuvre depuis un moment à la promotion des techniques simples et moins onéreuses de gestion durable des terres au Bénin. Entre autres, ces techniques on peut énumérer : Agriculture de Conservation (AC), Adaptation aux Changements Climatiques (ACC), Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS), Conservation des Eaux et des Sols (CES) et Gestion Intégrée de l'Agriculture et de l'Elevage (GIAE). Toutefois, nous ignorons jusqu'ici l'impact de ces techniques GDT sur les micro-organismes telluriques de même que l'effet retour des interactions trophiques entre ces micro-organismes sur les rendements agricoles des champs traités.

Au Bénin, de nombreuses pratiques de Gestion Durables des Terres (GDT) sont mises en œuvre par les agriculteurs. Toutes ces pratiques visent l'amélioration des productions agricoles, mais aussi et surtout la restauration et conservation durable de la qualité chimique, physique et biologique du sol. Malgré des résultats assez convaincants obtenus par le projet au Bénin, il se pose toujours de

nombreuses questions sur l'intégrité de la diversité des micro-organismes de même que leur fonction suivant différentes pratiques mise en œuvre.

A travers ce projet, nous avons cherché à comprendre et à mettre en évidence les relations possibles entre les combinaisons de mesures de Gestion Durable des Terres les plus pratiquées dans les champs, la diversité et l'abondance des micro-organismes. Nous avons investigué sur l'impact de la diversité des micro-organismes sur le stockage du carbone comme mesure de réduction des émissions des gaz à effet de serre.

2. Objectifs du projet

L'objectif ultime du projet était de comprendre les relations entre le rendement, la diversité et abondance des micro-organismes et le potentiel de séquestration du carbone dans les sols agricoles comme mesure de mitigation des changements climatiques à travers une combinaison des pratiques de gestion de la fertilité des sols avec des techniques modernes d'étude de l'écologie des micro-organismes des sols.

De façon spécifique, il s'agira de :

- ✓ Répertorier les principaux groupes des microorganismes et leur abondance suivant les combinaisons de mesures de GDT les plus pratiquées installées dans une exploitation agricole,
- ✓ Déterminer le potentiel des combinaisons de mesures GDT à séquestrer le carbone organique du sol,
- ✓ Elaborer des planches photos couleurs des micro-organismes du sol pour des fins de sensibilisation au sein du grand public et des populations locales.

2. Méthodologie d'étude

2.1. Milieu d'étude

Le présent projet a été mené au Nord Bénin plus précisément dans le département de l'Alibori dans les communes de Bembèrèkè et de Kandi (Figure 1). La commune de Kandi est située entre la latitude $11^{\circ}01'34''$ N et la longitude $2^{\circ}45'21''$ E tandis que celle de Bembèrèkè est localisé entre la latitude $10^{\circ} 13' 0''$ Nord et la longitude $2^{\circ} 40' 0''$ Est ((Dimon, 2008). Au total, soixante-trois (63) champs ont été échantillonnés à savoir 32 à Kandi et 31 à Bémberèkè.

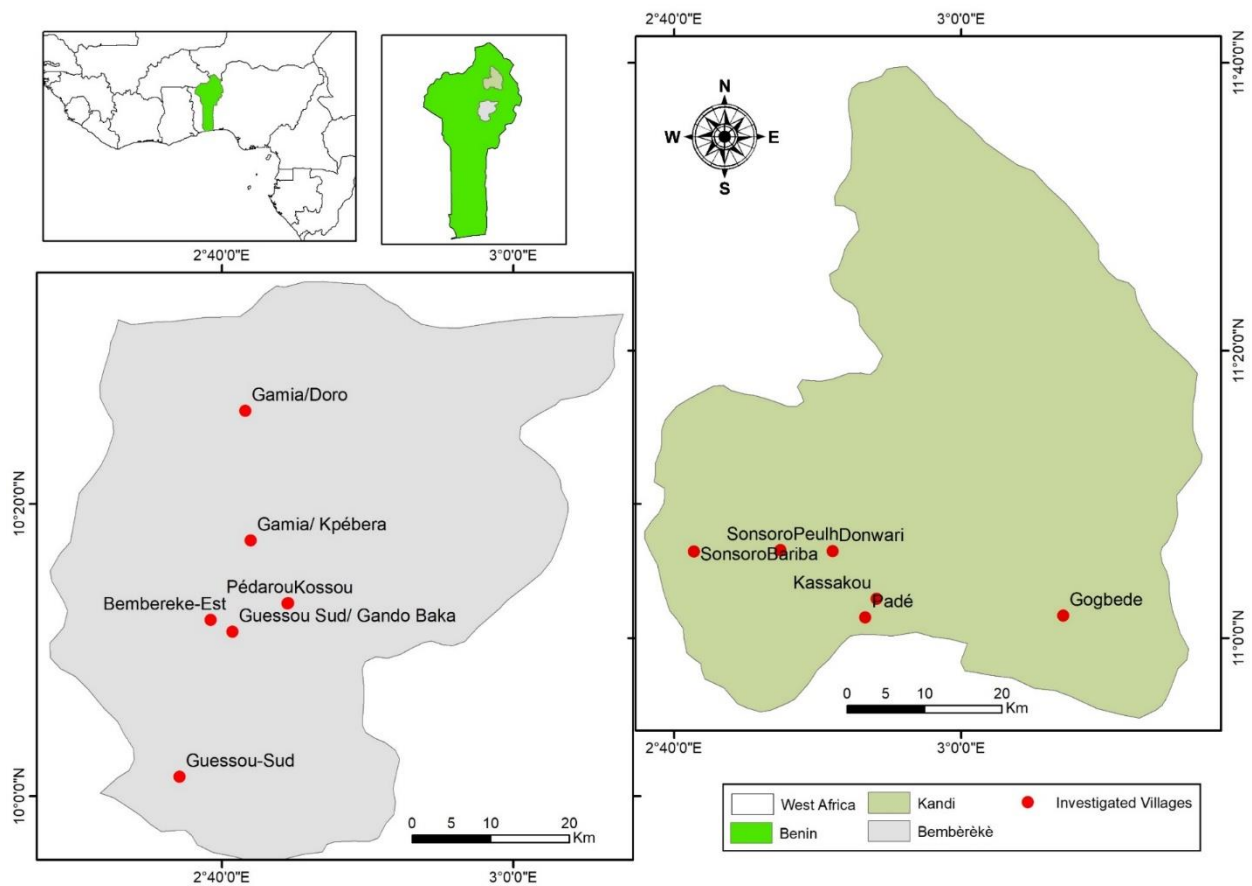


Figure 1: Carte de la zone d'étude montrant les villages investigués (points rouges)

2.2. Activités de terrain

2.2.1. Choix des champs GDT pour l'échantillonnage du sol

Nous avons choisi lors de l'échantillonnage du sol, les combinaisons de mesures GDT les plus pratiquées dans les zones d'intervention. Au total, cinq (5) combinaisons de mesures GDT les plus importantes ont été considérées au niveau de chaque commune grâce à l'appui des techniciens du ProSOL et des producteurs. Il s'agissait des combinaisons comme : (1) Labour perpendiculaire + Succession de culture + Gestion des résidus de récoltes (LP+SC+GRR), (2) Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole + Succession de culture (LP+GRR+PA+SC), (3) Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Parcage d'animaux + Succession de culture + Déchets d'animaux (LP+GRR+PK+SC+DA), (4) Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture (LP+GRR+DA+SC), (5) Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Diguettes filtrantes + Succession de culture (LP+GRR+DF+SC), qui ont été considérées au niveau de la communes de Bembèrèkè. Pour ce qui est de la commune de Kandi, les combinaisons comme : (1) Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole (GR + PA), (2) Gestion des résidus de récoltes + Assolement + Déchets d'animaux (GR+A+DA), (3) Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole + Mucuna + Labour perpendiculaire (GR+PA/M+LP), (4) Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole + Mucuna + Assolement + Rotation (GR+PA/M+ AR) et (5) Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire (GR+CSP+LP), ont été prises en compte lors de l'échantillonnage du sol. En plus de ces 10 combinaisons de mesures GDT, des systèmes de productions conventionnelles et biologiques (témoins) y ont été associés pour servir de guide de comparaison. Les principales combinaisons de mesures GDT tournaient autour des principales cultures que sont le maïs et le coton. Le choix a été fait pour comparer aussi bien les cultures, que les systèmes avec usage de l'engrais organique et des cultures avec les engrais minéraux. Les informations liées aux différents champs échantillonnés (combinaison, spéculation, nombre de répétition, village, coordonnée géographique, code du champ et du metabarcodage) au sein des deux communes cibles ont été consignées dans l'annexe 1 et 2.

2.2.2. Mission de prospection et d'échantillonnage des champs GDT

Afin d'étudier l'impact des mesures GDT sur la biologie du sol et plus spécifiquement sur les microorganismes du sol, il était nécessaire de mener une prospection sur le terrain pour identifier les différents champs GDT. A cet effet, une première prospection a été effectuée du 21 Septembre au 04 Octobre 2020. Cette mission revêt une importance capitale car pour avoir un échantillonnage représentatif des différents champs GDT, il était primordial de faire une descente sur le terrain afin de mobiliser les informations de base sur les mesures GDT dont la promotion est faite par ProSOL. Aussi il était nécessaire d'aller sur le terrain afin de se familiariser avec (1) la mise en œuvre effective des mesures sur le terrain, (2) les différentes techniques de diffusion et d'adoption des mesures et (3) le type de suivi dont jouissent les producteurs mais aussi les différentes contraintes auxquelles sont exposés les techniciens et les producteurs. Quant à la deuxième mission effectuée du 01 Novembre au 14 Novembre 2020, elle avait pour but d'échantillonner les différents champs (GDT) identifiés lors de la première mission au sein de ces deux communes (Bembèrèkè et Kandi). Au total, la première mission a permis de prospecter 90 exploitations agricoles dans 18 villages différents à raison de 47 exploitations et 10 villages pour la commune de Bembèrèkè et 43 exploitations et 08 villages pour celle de Kandi. La deuxième mission a permis d'échantillonner un total de 30 champs regroupés dans 10 villages différents au sein de la commune de Bembèrèkè et 32 champs répartis dans 07 villages différents pour Kandi. Le choix des champs à échantillonner a été basé sur la présence des combinaisons de mesures GDT sélectionnées, la qualité et la rigueur mise dans l'installation de ces mesures par le producteur.

2.2.3. Collecte et traitement des échantillons de sol pour l'étude des microorganismes

Les échantillons du sol ont été prélevés au niveau de trois différents types de champs à savoir : champs avec pratiques GDT sans engrais chimiques (purement biologique : témoin), champs avec pratiques GDT plus engrais chimique (Combinaisons de mesures GDT sélectionnées) et champ avec utilisation d'engrais chimique sans pratiques GDT (champs conventionnel pris aussi comme témoin). Dans chaque champ sélectionné, cinq placettes de 100 m² ont été installées dont 4 aux extrémités et 1 au milieu. Sur chaque placette, 05 échantillons de sol ont été prélevés à 1 m des quatre extrémités et au milieu à une profondeur de 0 à 15cm (Chabi Bigo *et al.*, 2020). Ces échantillons ont été mélangés puis 300g composés de la placette ont été prélevés. Au total, 1550

carottes de sol ont été prélevés réparties en 62 sites ou champs et 28 échantillons composites pour les analyses moléculaires.

2.2.4. Collecte et traitement des échantillons de sol et de racines pour l'isolement des nématodes

Pour le compte de la collecte des échantillons de sol et de racines en liens avec l'étude des nématodes, nous avons considéré les mêmes sites que ceux considérés pour l'étude des champignons du sol. Dans chaque champ parcouru, les échantillons ont été prélevés sur les deux diagonales du champ et un échantillon composite de sol a été collecté à la fin. Sur les mêmes diagonales les racines fines de quelques plants de la culture (maïs ou coton) ont été coupées et ensachées. Il faut noter que les échantillons pour l'étude des nématodes devaient présenter des conditions d'humidité précise et étant donné que la collecte a été effectuée en pleine saison sèche où le sol est asséché, il a fallu donc creuser le sol à l'aide d'une tarière à une profondeur de 0 – 30 cm ayant une humidité suffisante pour abriter des nématodes. Une fois collecté et ensaché, les échantillons de sol ont été conservés dans une glacière contenant des glaçons pour garder les nématodes en un état de vie ralenti sur le terrain avant de les mettre au réfrigérateur une fois au laboratoire.

2.2.5. Collecte et traitement des échantillons de sol pour l'étude sur la séquestration du carbone

Cinq échantillons de sols ont été prélevés avec la tarière hollandaise dans les quatre extrémités et au milieu du champ à une profondeur de 0 - 30 cm. Un échantillon composite de 500 g a été pris et mis sous scellé dans un sachet à fermeture hermétique.

Pour déterminer la densité apparente et la teneur du carbone organique des différents champs GDT au laboratoire, les carottes de sol ont été prélevés suivant un profil donné. Cette opération consiste à réaliser le profil d'un sol à une profondeur de 10 cm et une longueur de 50 cm. Une fois le profil terminé, un disque métallique d'environ 5 cm de diamètre et de hauteur 5 cm a été enfoncé dans le sol à l'aide d'un bois et d'un marteau en caoutchouc. Une fois le disque enfoncé, on a creusé délicatement aux alentours du disque. Ensuite, on a passé une truelle en dessous du cylindre enfoncé pour éviter que le sol ne tombe, avant de le retirer très délicatement. Le sol contenu dans le disque a été renversé dans un sachet à fermeture hermétique pour former un échantillon et pesé

immédiatement pour la détermination de la matière fraîche. Ce processus a été répété à au moins 50 m du point précédent suivant une diagonale. Les échantillons frais collectés ont été envoyés à l'étude pour la détermination de la masse sèche. Pour ce fait, un poids frais de 10 g par échantillon a été prélevé puis séché à 70° pendant au moins 5h grâce à un séchoir électronique de porter de précisions 0,01 gramme. Une fois séché, les 10g initial ont été repesés afin de marquer le poids sec. Au total 124 échantillons ont été collectés pour les deux communes à raison de 64 pour Kandi et 60 pour Bembèrèkè.

2.2.6. Entretien avec les producteurs

Pour disposer des informations fiables sur les précédents culturaux de chaque champ sélectionné et la variabilité des techniques mises en œuvre lors de l'application de chaque mesure par le producteur, les propriétaires des champs sélectionnés ont été soumis à des entretiens semi-structurés. Cette activité a été réalisée à l'aide d'une fiche d'enquête préalablement établi portant des questions spécifiques. Au total 48 agriculteurs ont été enquêtés dont certains ont subis plusieurs enquêtes compte tenu du nombre de champs considérés à leur niveau.

2.3. Activités de laboratoire

2.3.1. Traitement des échantillons du sol collecté

Après la collecte, les échantillons du sol ont été traités au laboratoire. Ce traitement consistait d'abord à sécher les échantillons au séchoir électrique pendant 24 h selon leur humidité et ensuite à débarrasser chaque échantillon des fragments de racines indésirables, des feuilles mortes, ou autre débris ayant suivis la collecte avec la main. Après ces étapes, on a procédé à la mouture des échantillons du sol qui a consisté à mettre les échantillons dans des sachets de collecte, les malaxer à la main afin de séparer le sol des grosses particules en s'assurant de ne pas laisser les spores s'échappées sous forme de poussière. Pour obtenir un sol très fin, nous avons finis par le tamisage qui a consisté à tamiser le sol dans les tamis de 1 mm tout en s'assurant toujours de ne pas laisser les spores s'échappées.

2.3.2. Isolement, identification et comptage des microorganismes des champs GDT

Les poids secs des échantillons traités ont été mesurés puis 100 g ont été prélevés pour l'extraction des microorganismes des champs. Les 100 g du sol prélevé ont été mélangés avec 300 ml d'eau dans un bécher de 500 ml. Le mélange a été bien remué et décanté à travers des séries de tamis emboîtés : de 300, 200 et 40 microns (chaque collection a été examinée séparément). Après le tamisage, les contenus des tamis de 300 et 200 µm ont été versés dans des boîtes de pétri et celui de 40 µm a été renversé dans les flacons de 15 ml et centrifugés à 3000 tours / minute pendant 5 minutes (Chabi Bogo *et al.*, 2020). Après centrifugation, le surnageant des flacons a été versé délicatement dans une boîte de pétri afin de ne pas les mélanger avec les dépôts. Une solution de saccharose a été ajoutée dans les flacons contenant les dépôts, agitée et centrifugée pour séparer les débris des spores. Immédiatement après la centrifugation, la solution de saccharose a été décantée soigneusement dans un petit tamis de 40 µm. Le dépôt retenu sur le tamis a été rincé soigneusement avec de l'eau pour éliminer le saccharose puis le contenu a été versé dans une boîte de pétri pour observation et extraction des spores au microscope binoculaire. Les microorganismes extraits ont été mis dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée et 2 à 3 gouttes de glutaraldéhyde afin de prévenir l'attaque des spores par les nématodes et les acariens pour le stockage à long terme. Une fois isolés, les microorganismes ont été répartis en différentes catégories selon leur couleur, leur taille et quelques caractéristiques anatomiques pour leur identification.

2.3.3. Extraction, observation, comptage et montage des nématodes

Les nématodes des racines ont été extraits par la méthode d'extraction de Baermann pendant 48h (Hooper, 1990). Pour ce faire, les racines collectées ont été lavées à l'eau puis aérées. Après l'aération, elles ont été découpées puis 10g de racine découpée a été prélevé pour l'extraction. Pour ce qui concerne des nématodes du sol, ils ont été extraits en utilisant le dispositif de Baermann dans 50 g de sol prélevé dans les pots. Chaque échantillon a été mis dans un tamis tapissé à l'intérieur de papier hygiénique (jouant le rôle de filtre) et le tout a été placé dans une assiette en plastique. Ensuite, un peu d'eau a été rajoutée jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sol/racine afin de favoriser la migration des nématodes des échantillons de sol/racine vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction. Après 72 heures, le tamis contenant le papier a été retiré délicatement de l'assiette. L'eau contenant les nématodes a été recueillie. Les suspensions contenant les nématodes

ont été ensuite conservées au réfrigérateur à 10°C pour la suite des travaux (observation, comptage et montage).

Les nématodes ont été observés au binoculaire et comptés (tous genres confondus) dans 10ml de suspensions à un grossissement de 40x. Des sous échantillons de 5 µl de suspensions ont été utilisés pour l'identification des nématodes au niveau des genres. Des échantillons des différents genres de nématodes rencontrés ont été monté entre lames et lamelles.

2.3.4. Métabarcodage et analyse des paramètres physico-chimique du sol des champs GDT

50 g des échantillons de sol traité ont été envoyé à notre partenaire Européen (Université de Tartu, Estonie) pour effectuer l'analyse des paramètres physico-chimiques et le métabarcodage. Le métabarcodage est une technique qui a permis à partir d'une petite quantité de sol traité de détecter la diversité des microorganismes présente en se basant sur les analyses moléculaires. Le principe a consisté à extraire l'ADN d'un échantillon du sol traité, puis à amplifier par PCR le fragment cible correspondant au code-barres à l'aide d'un couple d'amorces prédéfini et enfin le séquençage et l'analyse bio-informatique des données issues de cette technique.

3. Résultats du projet

3.1. Diversité générale des microorganismes du sol

Les résultats issus des analyses bioinformatiques des différents champs GDT échantillonnés au sein des deux communes cibles ont fourni un total de 6479 unités taxonomiques opérationnelles (UTO) différentes réparties en 49 phylums, 102 classes, 203 ordres, 369 familles, 614 genres et 533 espèces tous sites confondus. Les champignons du sol ont enregistré la plus forte richesse en UTO (3427), suivi des Alveolata (1260), Metazoa (417), Viridiplantae (379), Rhizaria (316), Amoebozoa (226), Stramenopila (152), Unispike (119), Eukaryota_kgd_incertae_sedis (67), Euglenozoa (30), Apusozoa (17), Heterolobosa (12), Choanoflagellozoa (7), Ichthyosporia (6), Centroheliozoa (5),; Cryptista (3), Nucleariae (3), Jakobida (2), Filasteriae (1), Opisthokonta_kgd_Incertae_sedis (1) (Voir fichier Excel pour les information supplémentaires).

3.2. Diversité des microorganismes sous les champs de Maïs

Sur l'ensemble des 6479 UTO, 468 espèces de microorganismes ont été obtenues sous la rhizosphère du Maïs réparties en 88,89% (416 espèces) de champignons du sol, 8,97% (42 espèces) de Viridiplantae et 2,97% (10 espèces) de Metazoa. Les plus fortes richesses spécifiques des microorganismes (champignons du sol, Viridiplantae et Metazoa) ont été obtenues respectivement sous les combinaisons ConvM/Kandi (190 espèces, 5 espèces et 19 espèces), C5M/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » (164 espèces, 3 espèces et 17 espèces) et BioM/Kandi : Champ biologique (138 espèces, 4 espèces et 12 espèces) contrairement aux combinaisons C3M/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Parcage d'animaux + Succession de culture + Déchets d'animaux « LP+GRR+PK+SC+DA » (3 espèces, 1 espèce et 0 espèce) et ConvM/Bembèrèkè : Champ conventionnel (26 espèces, 1 espèce et 2 espèces) qui ont enregistré les plus faibles valeurs de la richesse (Figure 2). Pour ce qui est de l'abondance des richesses spécifiques des microorganismes des sols échantillonnés, les plus grandes valeurs des champignons et des viridiplantae ont été obtenues au champ ConvM/Kandi respectivement 2690 et 402 tandis que le champ C4M/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » (104) à enregistrer les plus fortes abondances de Metazoa (Figure 3).

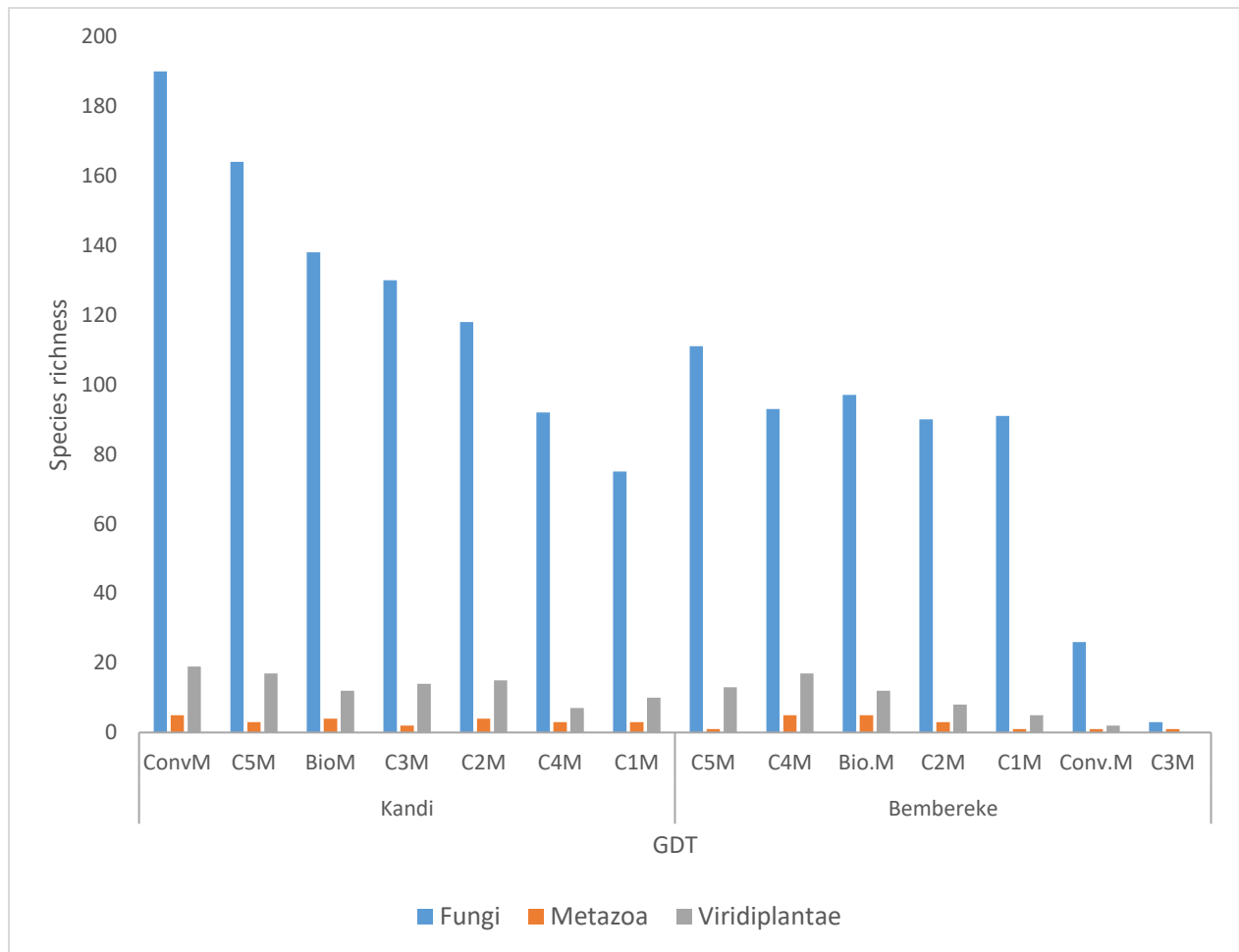


Figure 2: Richesse spécifique des microorganismes par combinaison de mesures GDT

Légende : ConvM= Maïs conventionnel ; BioM= Maïs biologique ; (C1M, C2M, C3M, C4M, C5M) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Maïs ; GDT= gestion durable des terres

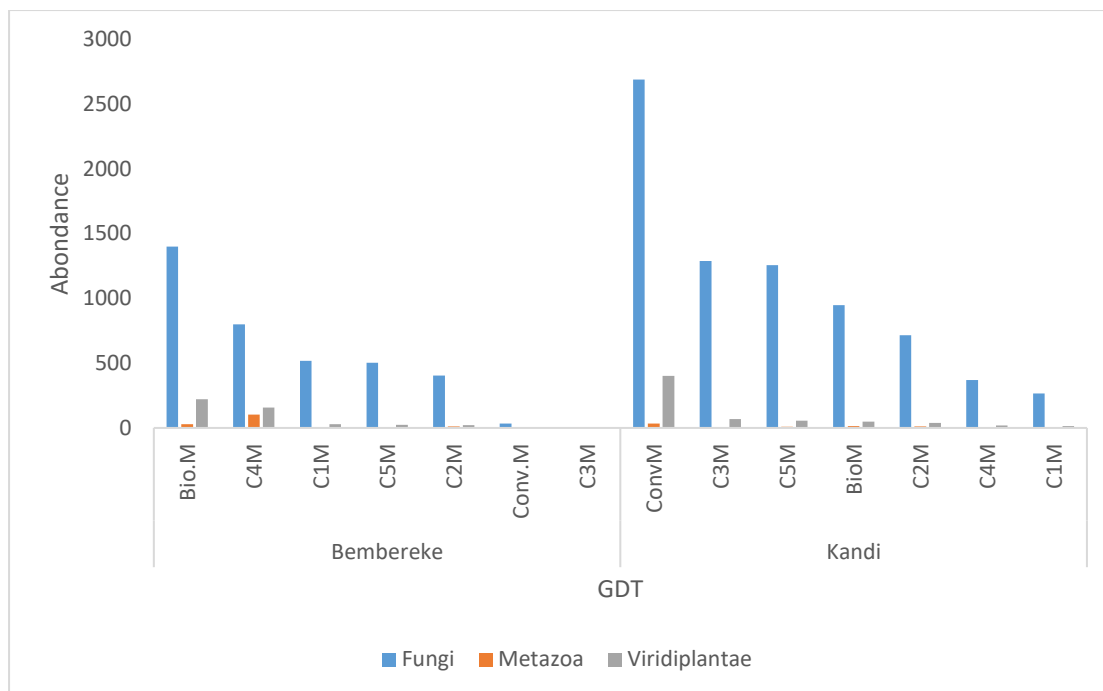


Figure 3 : Abondance des microorganismes par combinaison de mesures GDT

Légende : ConvM= Maïs conventionnel ; BioM= Maïs biologique ; (C1M, C2M, C3M, C4M, C5M) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Maïs ; GDT= gestion durable des terres

3.3. Diversité des microorganismes sous les champs de Coton

Au total, 564 espèces tous microorganismes confondus ont été répertoriées sous les champs du Coton, regroupées en 87,94% (499 espèces) de champignons du sol, 10,11% (57 espèces) de Viridiplantae, 1,77% (10 espèces) de Metazoa et 0,18% (01 espèce) de Stramenopila. Les plus grandes richesses spécifiques des Champignons du sol et des Metzooa ont été obtenues respectivement sous les combinaisons C5C : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » (131 espèces de champignons et 5 espèces de Metzooa), C3C : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole + Mucuna + Labour perpendiculaire « GR+PA/M+LP » (130 espèces de champignons et 5 espèces de Metzooa) et BioC : « Champ biologique » (107 espèces de champignons et 5 espèces de Metzooa) de la commune de Kandi. Pour les Stramenopila, les plus fortes valeurs ont été obtenues sous les combinaisons C5C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » (1 espèce) et C1C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA » (1 espèce) tandis que les combinaisons C5C/Kandi :

Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » (23 espèces), BioC/Kandi : « Champ biologique » (21 espèces) et C1C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA » (20 espèces) ont enregistré les fortes richesses de Viridiplantae. Les faibles valeurs ont été signalées sous les combinaisons ConvC/Kandi : « Champ conventionnel » et C1C/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Succession de culture + Gestion des résidus de récoltes « LP+SC+GRR » (Figure 4). Concernant l'abondance des champignons du sol, la grande valeur a été signalée sous la combinaison C5C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » (1624) et la faible valeur sous le champ ConvC/Kandi : « Champ conventionnel » (45). Les champs C1C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA » et ConvC/Kandi : « Champ conventionnel » ont enregistré respectivement les fortes (192 Viridiplantae et 192 Metazoa) et faibles (3 Viridiplantae et 2 Metazoa) valeurs de Viridiplantae et de Metazoa (Figure 5). Pour ce qui concerne le groupe des Stramenopila, le plus grand nombre a été signalé sous C1C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA ».

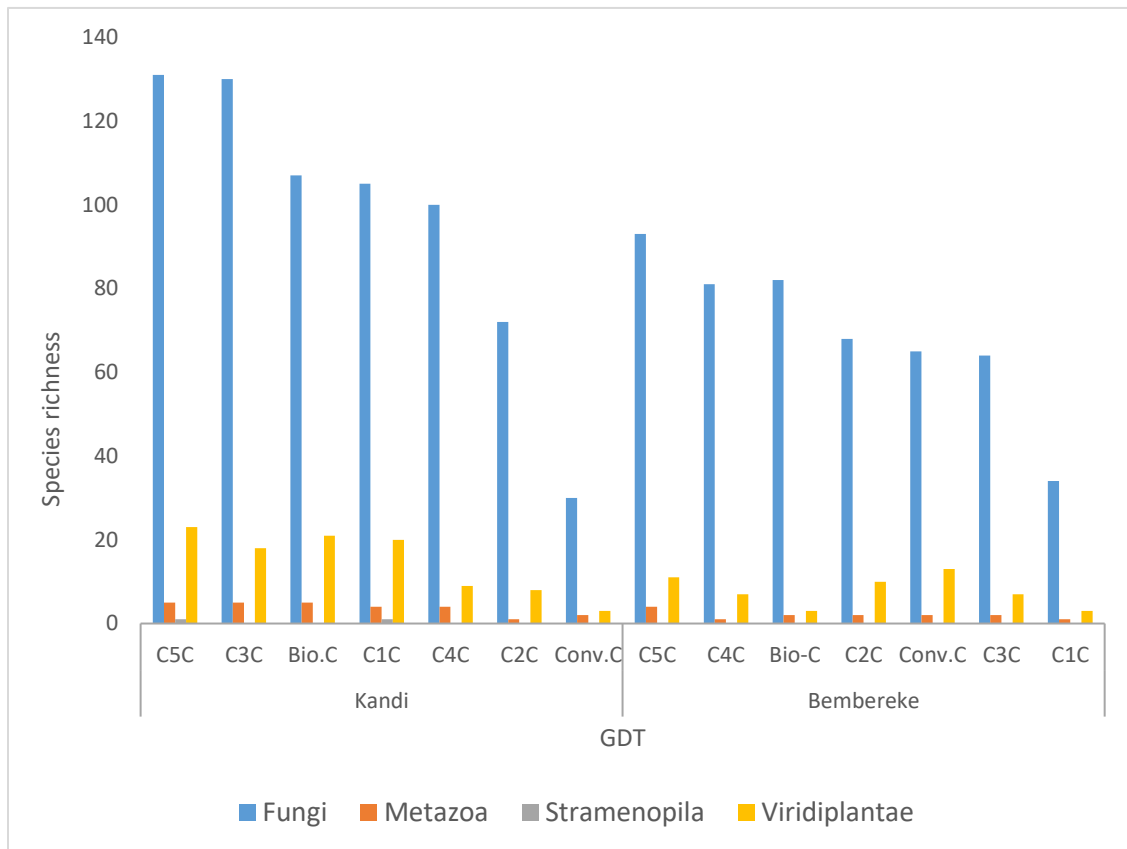


Figure 4 : Richesse spécifique des microorganismes par combinaison de mesures GDT

Légende : ConvC= Coton conventionnel ; BioC= Coton biologique ; (C1C, C2C, C3C, C4C, C5C) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Coton ; GDT= gestion durable des terres

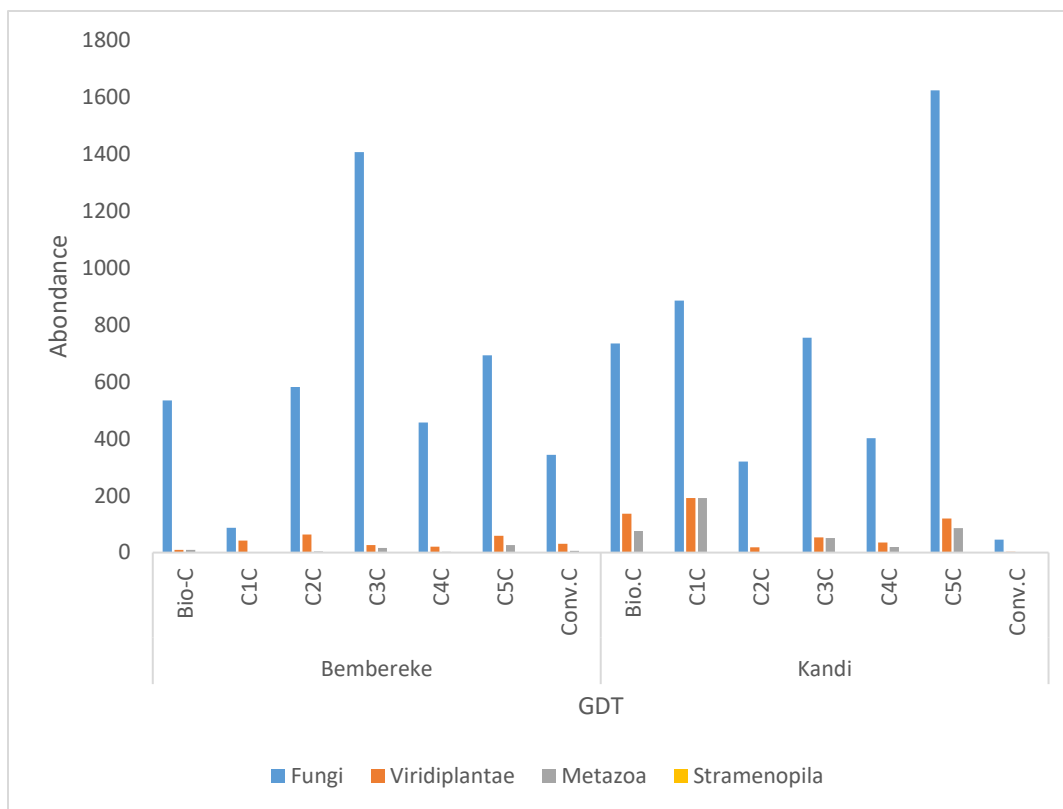


Figure 5: Abondance des microorganismes par combinaison de mesures GDT

Légende : ConvC= Coton conventionnel ; BioC= Coton biologique ; (C1C, C2C, C3C, C4C, C5C) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Coton ; GDT= gestion durable des terres

3.4. Diversité des Glomeromycota par spéculation et par mesures GDT

3.4.1. Diversité en genre des CMA par spéculation et par mesures GDT

Au total 541 UTO ont été enregistrés pour les glomérormycota répartie en 3 classes, 5 ordres, 10 familles et 19 genres (voir annexe pour planche photo des genres dominants). On remarque généralement que les champs de coton ont enregistré les plus grandes diversités comparativement à ceux de Maïs. Au sein des champs de coton la plus grande diversité a été enregistrée sous la combinaison C1C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA » (14 genres) comparativement au champ C1C/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Succession de culture + Gestion des résidus de récoltes « LP+SC+GRR » (1 genre) qui a obtenu la plus faible diversité (figure 6). Quant aux champs de Maïs, la plus grande diversité a été répertoriée au sein du champ Conventionnel/Kandi (13 genres) tandis que le champ C3M/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Parcage d'animaux + Succession de culture + Déchets d'animaux « LP+GRR+PK+SC+DA » a enregistré la plus faible diversité (figure 7).

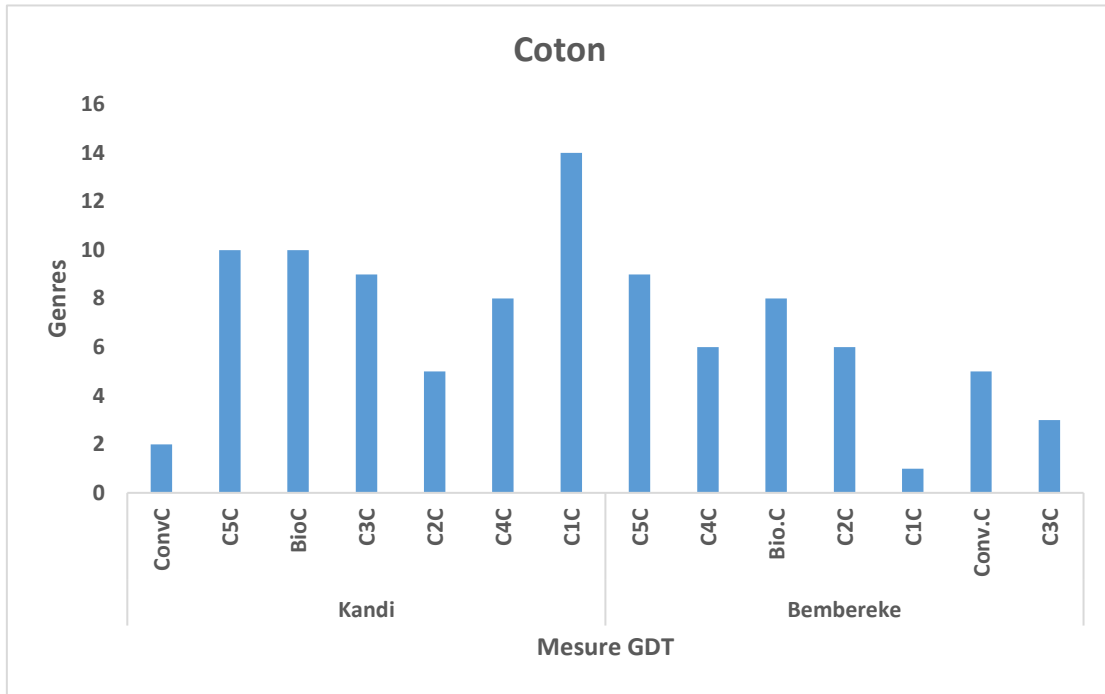


Figure 6: Diversité en genre des CMA par mesure GDT sous le coton

Légende : ConvC= Coton conventionnel ; BioC= Coton biologique ; (C1C, C2C, C3C, C4C, C5C) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Coton ; GDT= gestion durable des terres

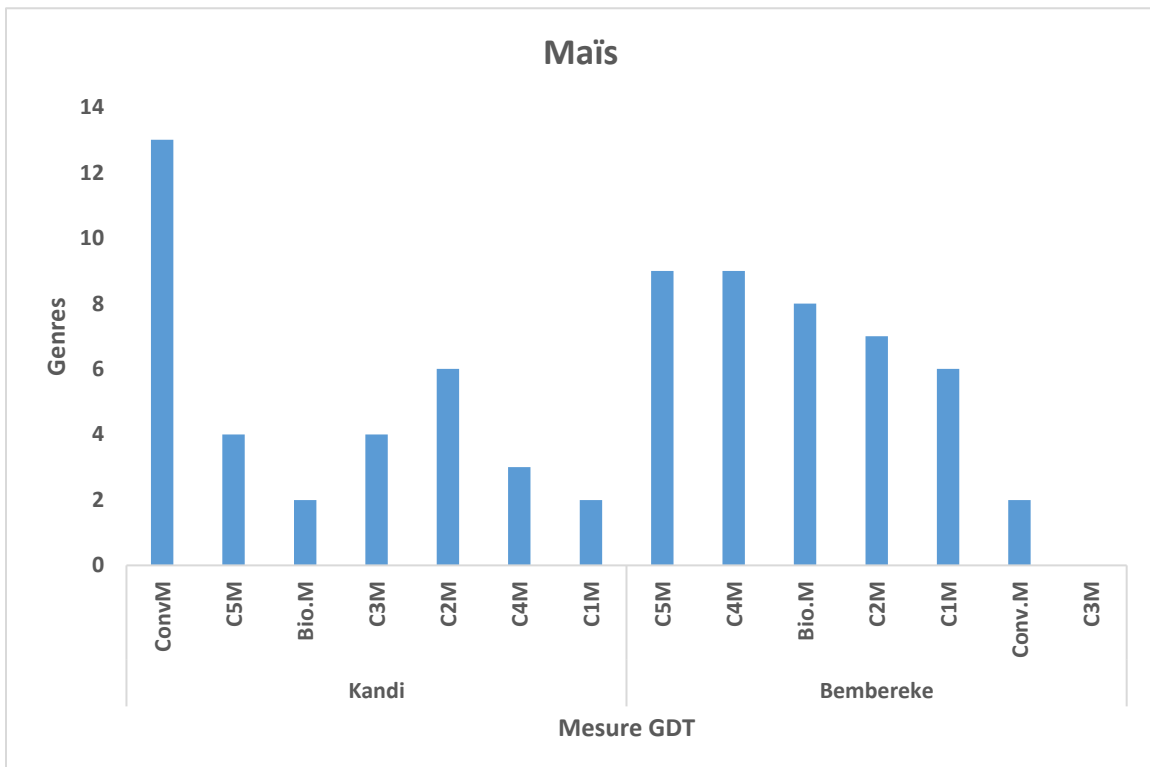


Figure 7: Diversité en genre des CMA par mesure GDT sous le Maïs

Légende : ConvM= Maïs conventionnel ; BioM= Maïs biologique ; (C1M, C2M, C3M, C4M, C5M) = combinaison de mesure GDT + numéro de la combinaison + Maïs ; GDT= gestion durable des terres

3.4.2. Densité des CMA par spéculation et par mesures GDT

Les résultats de la régression de poisson nous montrent qu'aucune différence significative n'a été observée entre la densité des spores isolés sous les champs de Coton et de Maïs au sein de la commune de Bembèrèkè contrairement à celle de Kandi. Aussi, seule la densité des spores des combinaisons 5 a présenté une différence significative avec les champs biologiques au sein de la commune de Bembèrèkè tandis qu'au niveau de la commune de Kandi, la densité des spores de toutes les combinaisons GDT a montré une différence significative avec celles des champs biologiques à l'exception de la combinaison 2 (tableau 1 et 2).

Tableau 1 : Densité des spores par spéculation et mesures GDT dans la commune de Bembèrèkè

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.30422	0.4063	0.7487	4.543e-01
SpéculationMaïs	-0.03852	0.1024	-0.3762	7.069e-01
GDTC1	0.02429	0.1917	0.1267	8.992e-01
GDTC2	0.29933	0.1826	1.6391	1.017e-01
GDTC3	-0.04090	0.2127	-0.1923	8.476e-01
GDTC4	-0.18109	0.2733	-0.6626	5.078e-01
GDTC5	0.97645	0.1974	4.9458	9.566e-07
GDTConv	0.05427	0.1968	0.2758	7.828e-01

Tableau 2 : Densité des spores par spéculation et mesures GDT dans la commune de Kandi

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.4502	0.3182	4.5575	6.118e-06
SpéculationMaïs	0.3753	0.1001	3.7481	1.930e-04

GDTC1	-0.4740	0.1819	-2.6052	9.379e-03
GDTC2	-0.2095	0.1728	-1.2124	2.258e-01
GDTC3	-0.4796	0.1833	-2.6169	9.066e-03
GDTC4	-0.4321	0.1799	-2.4019	1.657e-02
GDTC5	-0.3625	0.1783	-2.0331	4.242e-02
GDTConv	-0.5926	0.2478	-2.3914	1.705e-02

3.5. Diversité des nématodes par spéculation et par mesures GDT

3.5.1. Densité des nématodes

La figure 8 et 9 présente la densité de population des nématodes dans les sols et racines au sein des deux communes cibles. On remarque que les nématodes ont été plus abondants dans les sols que dans les racines. A Kandi, on a observé une plus forte densité sous le champ biologique (Mbio/Kandi) du maïs à l'opposé du champ du coton avec la combinaison de mesure GDT CC2 : Gestion des résidus de récoltes + Assolement + Déchets d'animaux « GR+A+DA » (figure 8). La combinaison de mesure GDT C4 : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » du champ du coton a enregistré les plus fortes densités des nématodes au sein de la commune de Bembèrèkè contrairement au coton Biologique (Cbio) qui a obtenu les plus faibles densités (figure 9). Par ailleurs, de façon générale les nématodes ont été moins abondants dans les racines. Cela pourrait être dû au fait que les échantillons ont été collectés en saison sèche.

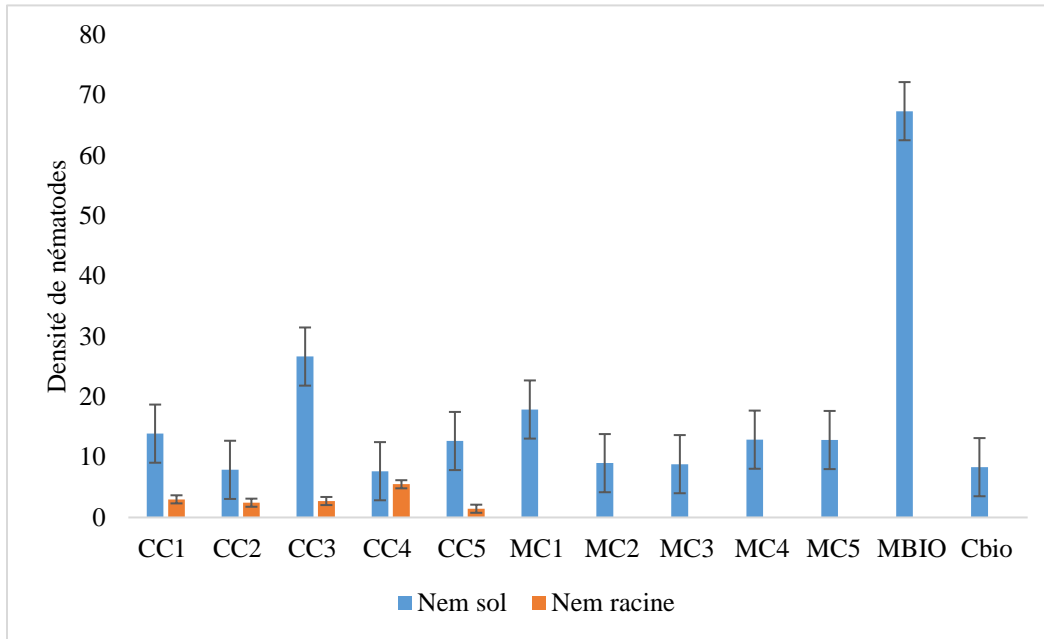


Figure 8: Densité de population des nématodes dans les sols et racines collectés à Kandi

Légende : Mbio=maïs bio ; Cbio=coton bio ; (CC1,CC2,CC3,CC4,CC5)=coton + combinaison de mesure GDT (C1,C2,C3,C4,C5) ; (MC1,MC2,MC3,MC4,MC5)= Maïs + combinaison de mesure GDT (C1,C2,C3,C4,C5)

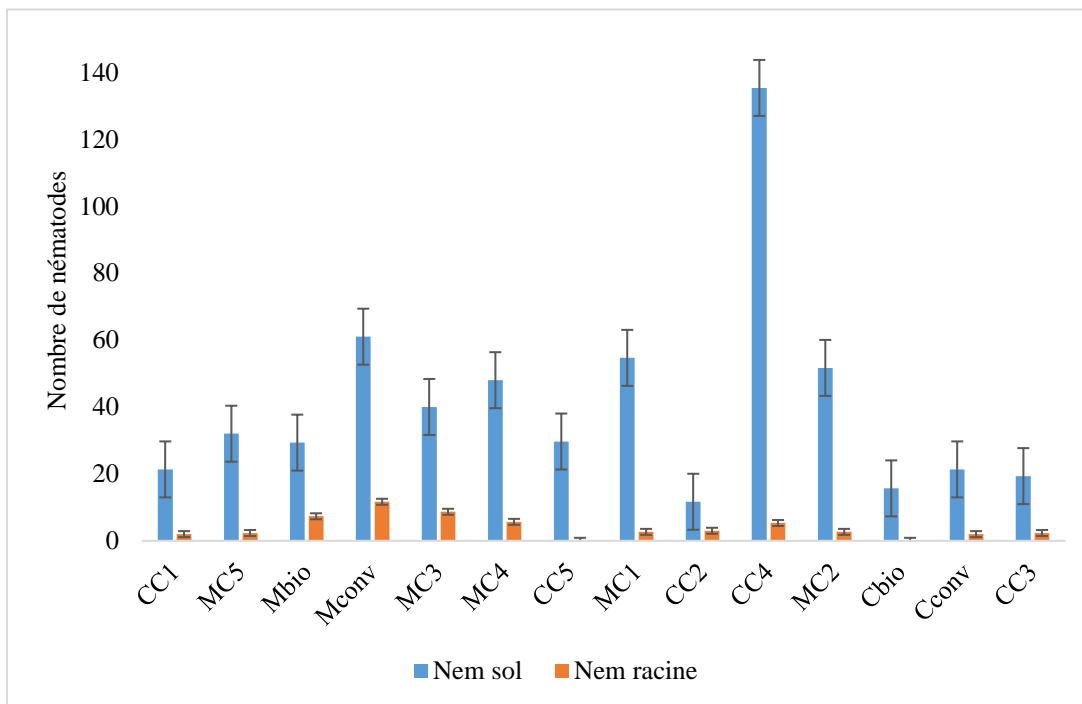


Figure 9 : Densité de population des nématodes dans les sols et racines collectés à Bembèrèkè

3.5.2. Diversité des Nématodes

Les tableaux 3 et 4 ci-dessous nous indiquent la présence de 9 et 8 genres de nématodes parasites des plantes inféodés au coton et au maïs à Kandi et à Bembereke, respectivement. Globalement, les champs de Bembereke ont été plus infestés de nématodes que ceux de Kandi. Les nématodes du genre *Helicotylenchus* ont été les plus abondants dans les 2 communes suivis d'*Aphelenchoides* à Kandi et *Hoplolaimus* et *Meloidogyne* à Bembèrèkè (voir annexe pour planche photo des principaux genres). Des nématodes menant une vie libre dans le sol (Free living) ont été les nématodes les plus abondants dans les 2 communes. Ce sont des nématodes qui participent à la vie du sol à travers la transformation de la matière organique.

Tableau 3 : Densité de population des nématodes par genre de nématodes à Kandi

Echantillon	Free Living	<i>Helico tylenchus</i>	<i>Praty lenchus</i>	<i>Roty lenchus</i>	<i>Hoplo laimus</i>	<i>Meloido gyne</i>	<i>Xiphi nema</i>	<i>Hetero dera</i>	<i>Aphelen choides</i>	<i>Aphe lenchus</i>	Total
C conv Sonsoro	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
Cbio Sonsoro	20,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0
CC1	11,7	3,3	3,3	0,0	1,7	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3
CC2	16,7	1,7	3,3	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	5,0	31,7
CC3	11,7	6,7	5,0	0,0	1,7	3,3	1,7	0,0	1,7	1,7	33,3
CC4	15,0	12,5	0,0	0,0	7,5	2,5	0,0	2,5	0,0	2,5	42,5
CC5	8,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	14,0
M Conv Sonsoro	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
MBIO Sonsoro	10,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	40,0
MC1	0,0	3,3	0,0	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
MC2	6,7	10,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	6,7	0,0	26,7
MC3	5,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
MC4	3,3	6,7	3,3	0,0	0,0	3,3	3,3	0,0	10,0	0,0	30,0
MC5	15,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	5,0	0,0	35,0
Moyenne	9,50	7,23	1,07	0,71	1,37	1,13	1,21	0,89	1,90	0,80	25,8

Tableau 4 : Densité de population des nématodes par genre de nématodes à Bembèrèkè

Echantillon	Free Living	<i>Helico tylenchus</i>	<i>Praty lenchus</i>	<i>Roty lenchus</i>	<i>Hoplo laimus</i>	<i>Meloido gyne</i>	<i>Xiphi nema</i>	<i>Hetero dera</i>	<i>Aphelen choides</i>	<i>Aphe lenchus</i>	Total
CC1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MC5	5,00	20,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00
Mbio	40,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	10,00	10,00	70,00
Mconv	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
MC3	110,00	25,00	0,00	10,00	25,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	185,00
MC4	25,00	0,00	10,00	0,00	25,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	70,00
CC5	5,00	45,00	10,00	5,00	30,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	105,00
MC1	20,00	10,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00
CC2	0,00	10,00	10,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	30,00
CC4	5,00	0,00	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00
MC2	10,00	5,00	0,00	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	5,00	30,00
Cbio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Cconv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CC3	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00
Moyenne	16,43	8,93	2,14	1,43	6,79	4,29	0,00	0,36	1,07	1,07	42,86

3.6. Fonctions primaires des microorganismes du sol

Sur la base des annotations fonctionnelles des différentes espèces, nous avons enregistré au total 21 différentes fonction primaire ou modes de vie des communautés de microbiennes du sol (voir fichier Excel base de donnée). On a observé dans l'ensemble une forte prédominance des saprotrophes du sol (7933 UTO) suivi des pathogènes des plantes (6836 UTO), des mycoparasites (2739 UTO), des champignons mycorrhiziens arbusculaires (1320 UTO) et des endophytes des racines (1198 UTO) et des feuilles (175 UTO) au niveau de toutes les combinaisons GDT ciblées au sein des deux communes. Sous les champs du Maïs, les plus fortes richesses des pathogènes des plantes (603 UTO), des endophytes des racines (464 UTO), des saprotrophes du sol (1336 UTO) et des bouses de vache (217 UTO) ont été enregistrées au niveau du champ conventionnel du Kandi (ConvM/Kandi). La présence d'une forte proportion de microorganismes saprotrophes s'expliquerait par l'application des mesures GDT (parcage d'animaux ou application d'une quantité importance de bouses de vache) dans les années antérieures sur ce champ ce qui veut dire que ce champ ne peut pas être considéré comme champ conventionnel comme l'a mentionné les producteurs. Aussi cela peut expliquer la forte diversité des microorganismes obtenue sur ce site. Les mycoparasites (527 UTO) ont été dominants au niveau du champ C3M de Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'angole + Mucuna + Labour perpendiculaire « GR+PA/M+LP » tandis que les CMA (140 UTO) et les endophytes des feuilles (34 UTO) prédominaient respectivement au niveau des champs C4M : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » et Biologique de la commune de Bembèrèkè (figure 10).

Sous le coton, le champ C1C : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'Angole « GR + PA » de la commune de Kandi il a été obtenu les fortes richesses spécifiques des CMA (116 UTO), des saprotrophes des bouses de vaches (191 UTO) et des endophytes des feuilles (13 UTO) (Figure 11). Les mycoparasites (183 UTO) et les endophytes des racines (60 OTU) ont été dominants au niveau du champ C3C de Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Clôture avec pois d'angole + Mucuna + Labour perpendiculaire « GR+PA/M+LP » contrairement au champ C5C/Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP » qui a enregistré les plus fortes valeurs des pathogènes des plantes (581 UTO) et des saprotrophes du sol (715 UTO).

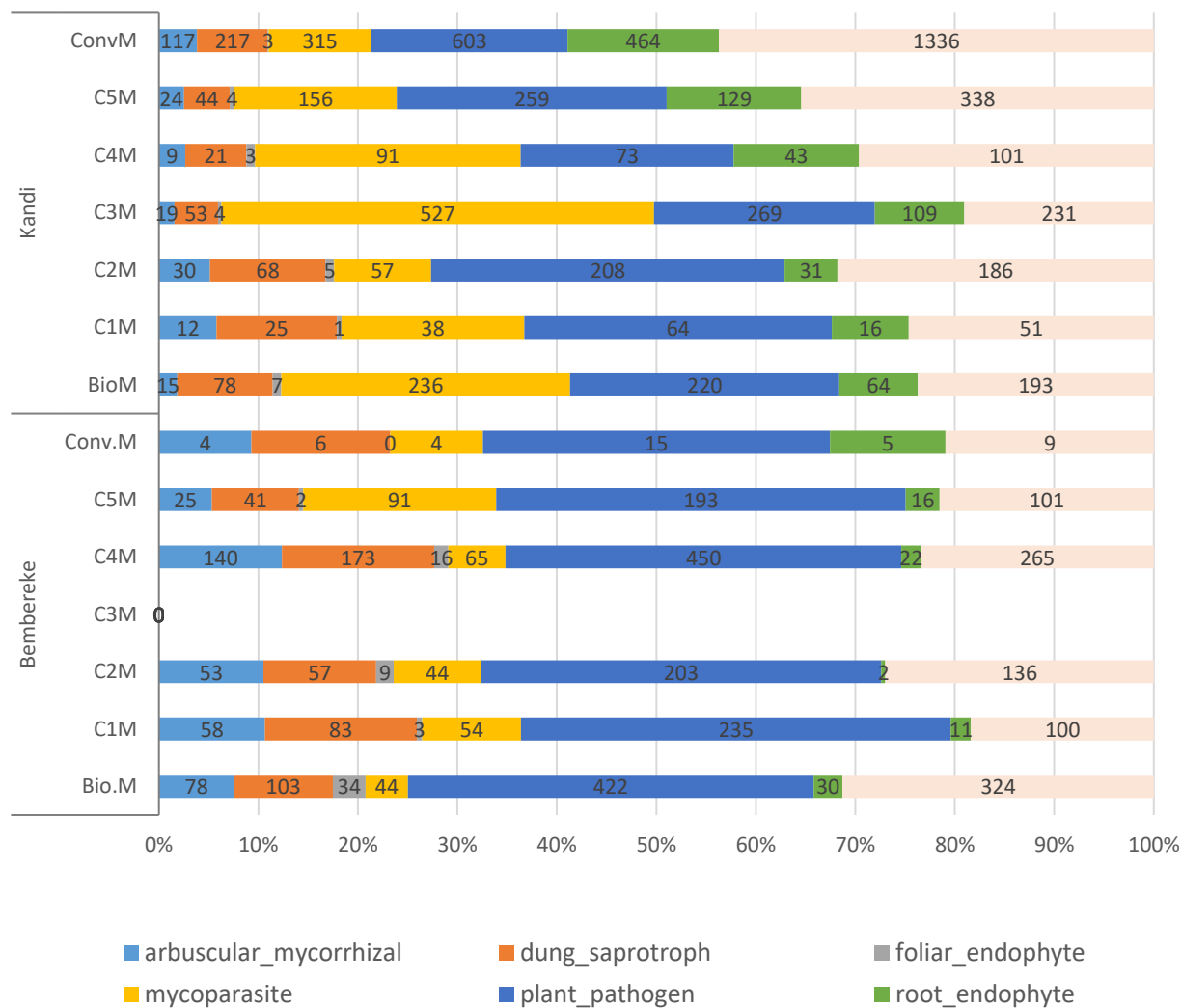


Figure 10: Richesse spécifique des microorganismes par fonction primaire sous les champs du Maïs

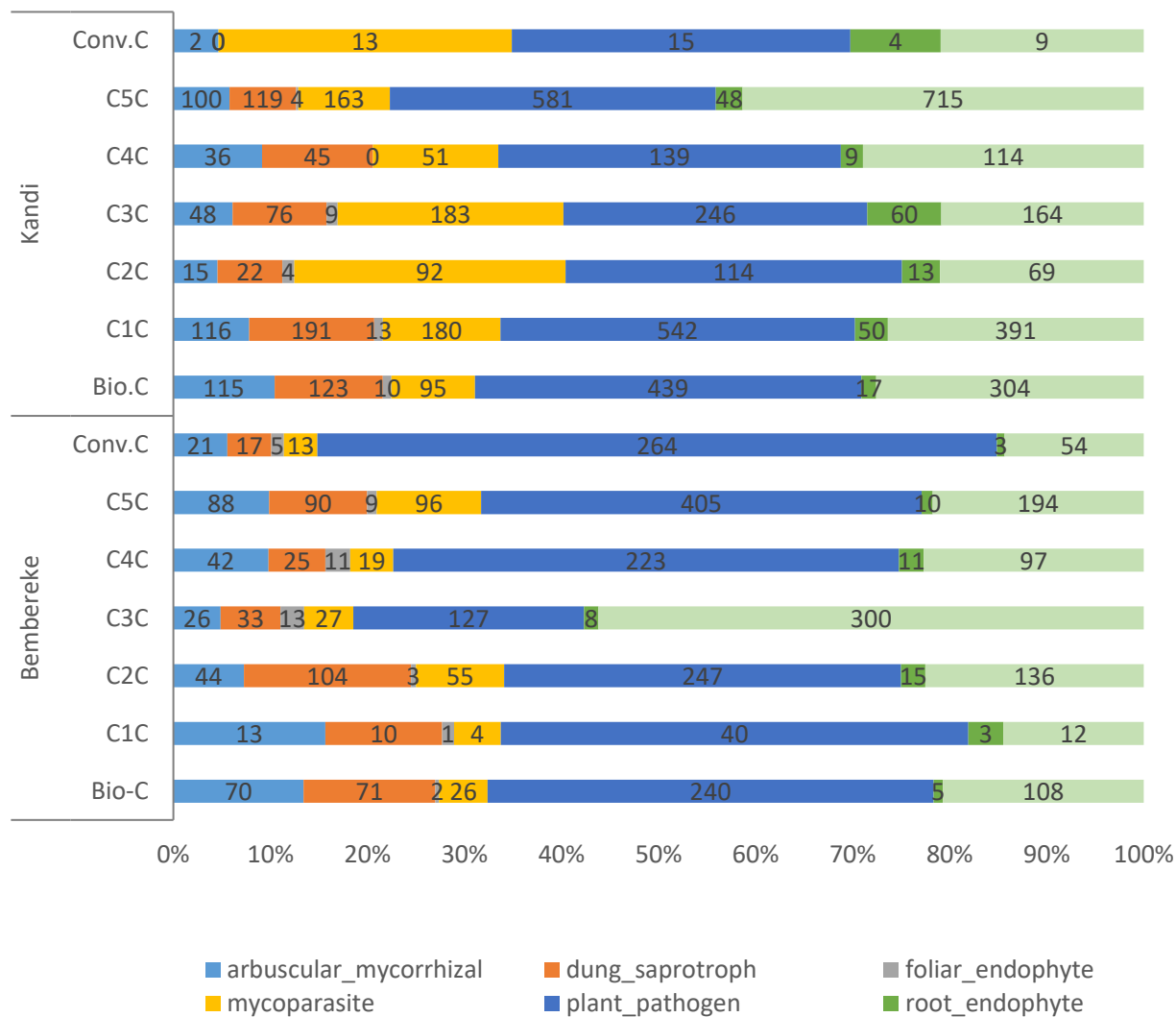


Figure 11: Richesse spécifique des microorganismes par fonction primaire sous les champs du Coton

3.7. Analyse des paramètres chimiques et taux de séquestration du carbone par mesure GDT et par spéculation

Les différents échantillons composites traités ont été envoyés à l'Université de Tartu en Estonie pour déterminer les différents paramètres chimiques. Comme variables mesurées nous avons : le pH, delta 15N, delta 13C, carbone organique total (Corg total), azote total, rapport C/N, phosphore, potassium, calcium et le magnésium. On a observé généralement une faible variation des différents paramètres chimiques au sein des différents champs sélectionnés. Il ressort de l'analyse du tableau 4 que seule la combinaison C4C/Bembèrèkè : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » et C2M/Kandi :

Gestion des résidus de récoltes + Assolement + Déchets d'animaux « GR+A+DA » permettaient de mieux conserver les paramètres chimiques du sol respectivement pour les champs du Coton et ceux du Maïs. En effet, la variable chimique la plus déterminante (notamment le carbone organique total) pour calculer le stock du carbone ainsi que les meilleures valeurs du potassium, de l'azote total, du calcium et du magnésium ont été obtenues au sein de ces deux champs ou combinaison de mesure GDT. Ces différentes observations ont été confirmées par les Figures 12 et 13 qui illustrent que les combinaisons C2M/kandi (maïs) et C4C/Bembèrèkè (coton) ont permis d'avoir un meilleur stock de carbone au sein des champs du Maïs (0,84 t/ha) et du Coton (0,991t/ha) respectivement.

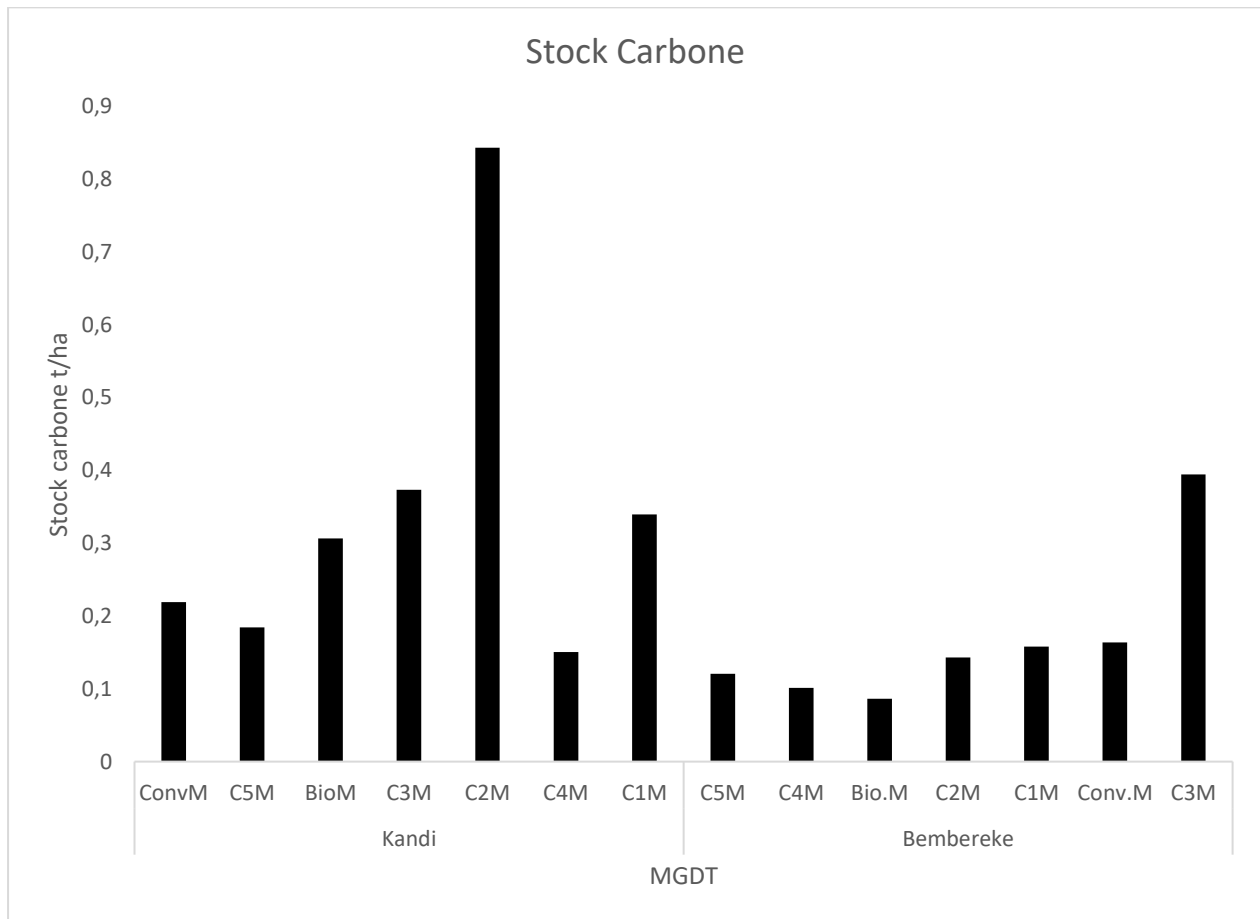


Figure 12: Stock du carbone par mesure GDT sous les champs du Maïs

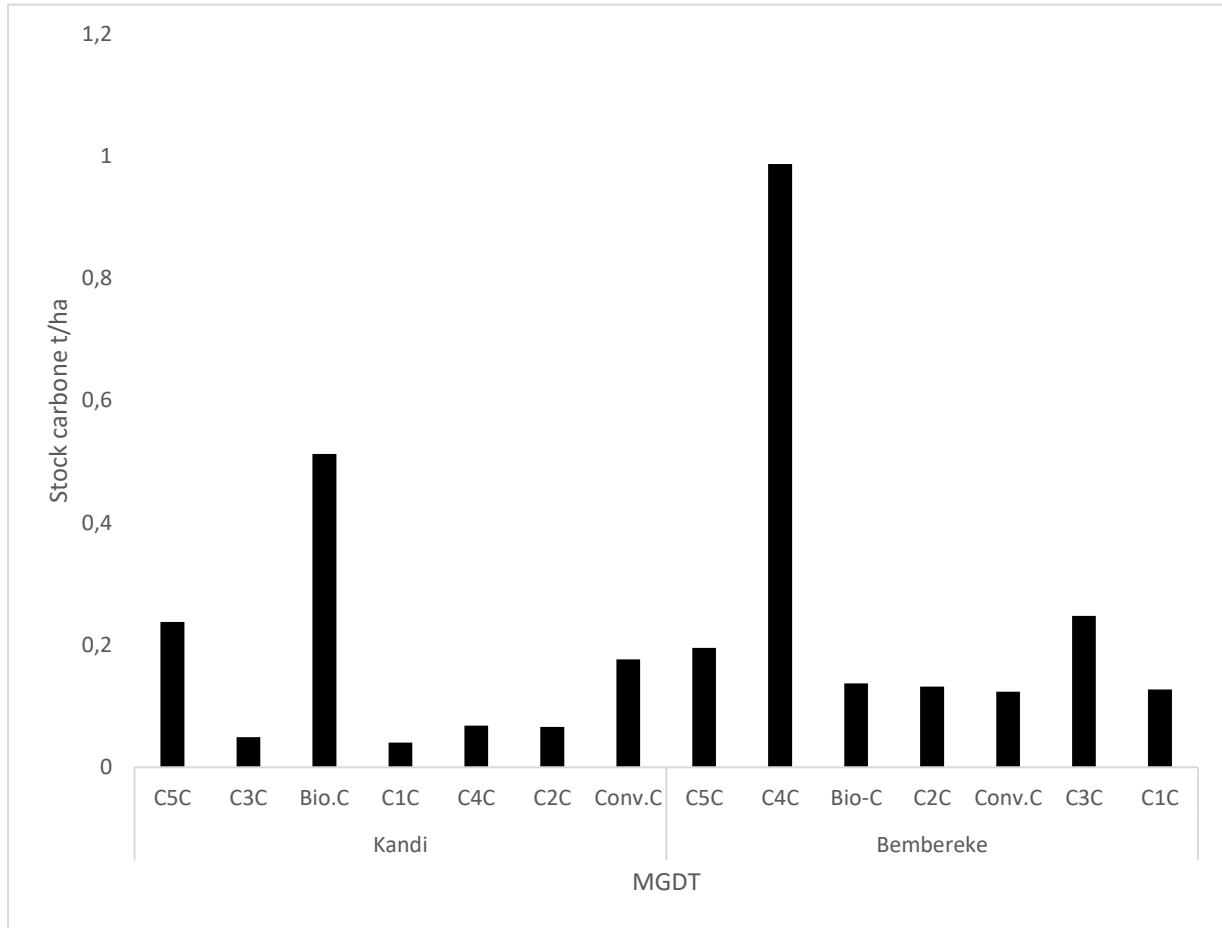


Figure 13: Stock du carbone par mesure GDT sous les champs du Coton

Tableau 5: Synthèse des paramètres physico-chimiques des champs GDT sélectionnés

GDT	pH	delta15N	delta13C	Corg total (g/kg)	Azote total (g/kg)	C/N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
C3C/Bem	5,84	5,412	-20,678	8,735	0,585	14,936	6,273	43,719	372,612	48,898
C4M/Bem	6,75	4,738	-19,251	3,688	0,262	14,054	21,111	60,646	585,253	57,929
C5C/Bem	6,41	2,447	-20,390	6,118	0,391	15,657	12,879	42,922	445,512	74,018
Bio-C/Bem	6,2	3,833	-20,085	3,852	0,305	12,621	3,980	86,634	352,873	71,765
Conv.C/Bem	5,1	4,029	-19,573	4,024	0,294	13,691	0,201	38,316	219,944	39,111
Bio.M/Bem	5,58	3,712	-19,471	2,952	0,220	13,450	0,261	52,517	315,124	47,170
Conv.M/Bem	6,02	4,053	-21,310	5,250	0,327	16,031	0,382	98,216	441,527	81,562
C1C/Bem	6,07	2,924	-22,169	4,410	0,334	13,189	0,362	67,938	387,313	85,188
C2C/Bem	7,51	3,901	-21,457	4,299	0,313	13,733	35,28	60,127	551,526	69,275
BioM/Kandi	5,87	4,530	-21,950	9,371	0,745	12,584	0,242	42,635	510,020	118,156
C3M/Bem	7,22	6,367	-20,962	12,765	0,998	12,776	154,503	92,179	780,702	91,590
C2M/Bem	6,01	4,354	-22,005	4,761	0,341	13,975	0,121	55,171	354,171	64,762
C5M/Bem	5,42	4,327	-18,866	3,811	0,282	13,519	0,241	19,152	235,647	28,799
C4C/Bem	6,29	3,324	-22,262	29,456	2,188	13,465	54,488	254,644	1129,679	217,260
Conv.C/Kandi	5,43	4,696	-21,051	6,675	0,543	12,304	0,182	46,608	704,799	244,994
Bio.C/Kandi	6,14	3,982	-24,202	17,044	1,387	12,292	7,796	141,335	743,150	206,027
C1M/Bem	5,63	3,878	-20,901	5,142	0,372	13,840	17,273	39,078	271,951	43,255
C1M/Kandi	7,14	4,977	-21,259	11,536	0,847	13,626	4,529	52,219	763,779	131,214

C1C/Kandi	5,51	2,405	-20,435	1,263	0,101	12,440	0,321	22,185	233,822	25,412
C2M/Kandi	7,36	8,106	-23,026	25,631	2,274	11,270	87,459	317,382	1239,401	243,541
C2C/Kandi	6,33	5,610	-21,153	2,174	0,165	13,176	21,657	41,003	391,928	39,829
C3C/Kandi	5,56	5,059	-21,892	1,588	0,113	14,063	4,638	33,704	306,525	33,421
C3M/Kandi	7,66	6,769	-26,149	13,152	0,751	17,510	91,108	123,698	2267,996	213,191
C5C/Kandi	5,68	5,152	-21,192	7,884	0,583	13,512	10,550	43,695	404,088	60,998
C5M/Kandi	5,48	4,899	-21,675	6,349	0,493	12,880	2,177	56,517	546,857	118,285
C4M/Kandi	5,73	4,343	-22,853	4,869	0,330	14,738	0,341	39,439	281,590	34,668
C4C/Kandi	6,77	3,389	-21,831	2,183	0,172	12,698	1,967	29,872	309,510	44,239
ConvM/Kandi	6,84	5,498	-19,646	7,129	0,527	13,534	4,655	83,394	738,029	147,085

Légende : pH du sol, Corg total : Carbone organique total, P : Phosphore total, K : Potassium total, Ca : Calcium, Mg : Magnésium

4. Discussion générale des résultats

Cette étude a fourni un total de 6479 unités taxonomiques opérationnelles (UTO) différentes réparties en 49 phylums, 102 classes, 203 ordres, 369 familles, 614 genres et 533 espèces tous sites et communes confondus. Cette diversité phylogénétique est beaucoup plus représentée par les champignons du sol (plus de 52%), suivi des Alveolata (19,45%), Metazoa (6,44) et Viridiplantae (5,85). Ces résultats s'expliqueraient par le rôle fonctionnel joué par les champignons du sol. En effet, parmi les micro-organismes du sol d'importance capitale pour l'agriculture et le bio-fonctionnement du sol, se trouvent les Champignons du sol qui possèdent un réseau d'hyphes largement ramifié leur permettant d'entrer en symbiose avec la quasi-totalité des plantes cultivées (Fortin *et al.*, 2008 ; Cordell *et al.*, 2011 ; Eslser, 2012). Quant à la diversité entre les combinaisons de mesures de gestion durable des terres, dans l'ensemble la diversité et l'abondance des microorganismes du sol enregistrée dans les champs GDT étaient supérieures à celle des champs biologiques et les champs conventionnels à l'exception du champ de Maïs conventionnel de Kandi (ConM/Kandi). Ces résultats témoignent ainsi que les mesures GDT préservent mieux les microbiomes du sol que les champs dit biologique et conventionnels (utilisant uniquement les intrants agricoles). Ceci s'explique par le fait que l'utilisation d'une forte dose d'intrants chimiques au sein des champs conventionnels a des effets directs sur l'abondance et la richesse des microbiomes du sol en endommageant leurs structures et en créant des conditions plus ou moins défavorables pour leur croissance et leur reproduction (Willis *et al.*, 2013). Pour certains auteurs, les pesticides, en particulier les fongicides, utilisés dans les champs conventionnels peuvent avoir un impact direct sur la colonisation et la sporulation des microorganismes du sol et même aboutir à leur disparition (Fortin *et al.*, 2008 ; Willis *et al.*, 2013). Quant aux systèmes biologiques, ces résultats pourraient être dû à l'application d'une faible quantité d'engrais organique et de la monoculture effectuée sur les champs car pour certains producteurs enquêtés, depuis quelques années (4 ans minimum) c'est toujours la même spéculature qui est installée sur le champ ce qui ne favorise pas une prolifération des autres espèces de microorganismes du sol en symbiose avec d'autres cultures.

Les plus fortes diversités des microorganismes du sol (richesse et abondance) toutes mesures GDT et communes confondues ont été obtenues sous la combinaison 5 de Kandi : Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP ». Ces observations

pourraient s'expliquer par l'enfouissement des résidus de récolte des précédentes récoltes plus les cultures sous paillis. En effet, l'enfouissement des résidus de récolte augmentent le taux de la matière organique dans le sol ; la culture sous paillis couvre et protège le sol contre les rayons du soleil et le labour perpendiculaire empêche les ruissellements d'emporter les matières organiques enfouis dans le sol et ainsi protège le sol des érosions hydriques. L'action combinée de ces deux mesures GDT améliore les paramètres physico chimiques du sol et crée des conditions pédologiques optimales pour la plante et la prolifération des microorganismes du sol.

La forte diversité observée sous le champ dit conventionnel prélevé sous le Maïs à Kandi (ConvM/Kandi) s'explique par l'application des mesures GDT des années antérieures sur ce champ comme parage d'animaux ou application d'une quantité importante de bouses de vache et le labour perpendiculaire (ce qui expliquerait la forte proportion des saprotrophes spécialistes de la décomposition des bouses de vaches). En effet ce champ a reçu depuis des années l'application de ces mesures ou combinaison de mesures à l'exception des trois dernières années. Ce champ dit conventionnel regorge donc d'une quantité importante de matière organique favorable à la vie et au fonctionnement des microorganismes. Pareils résultats ont été trouvés par Daï *et al.*, (2014) qui ressortait le fait que les champs recevant des engrais contenant du phosphate non assimilable, prennent plusieurs années pour minéraliser le phosphate à travers la symbiose mycorrhizienne ou les microorganismes saprotrophes afin de le rendre bio disponible. Pour Gosling *et al.*, (2006), ils pensent que les engrais de ferme comme le fumier, le compost et les bouses de vaches qui libèrent plus lentement les éléments nutritifs, lorsqu'ils ne sont pas surutilisés permettent de stimuler la communauté des microorganismes du sol.

Un total de 21 différentes fonction primaire ou modes de vie ont été répertorié pour les communautés de microbiennes du sol. Dans l'ensemble, les saprotrophes (microorganismes spécialisés dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques mortes) dominent les sous-sols des sites échantillonnées suivis des pathogènes des plantes. La présence d'une forte proportion de saprotrophe s'explique à travers la forte application des mesures GDT telles que l'enfouissement ou gestion des résidus de récoltes et parage d'animaux ou déchets d'animaux. En effet, l'utilisation de ces mesures ou combinaison de mesures entraîne une augmentation considérable de matière organique morte dans le sous-sol. Grâce aux enzymes sécrétées par les microbiomes saprotrophes, cette matière organique morte est décomposée et minéralisée dans le

but d'absorber le carbone utile à leur survie et prolifération. Quant à l'abondance des pathogènes ou parasite des plantes, elle pourrait s'expliquer par l'utilisation encore des engrais chimiques dans les sites échantillonnés qui à long terme acidifie le sol et favorise ainsi le développement des microorganismes parasites des plantes cultivées (Rivaton *et al.*, 2016).

Cette étude nous a montré une faible variation des variables chimiques au sein des champs ou combinaison de mesures GDT échantillonné. Cependant, les combinaisons C4C/Bembèrèkè: : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » et C2M/Kandi: Gestion des résidus de récoltes + Assolement + Déchets d'animaux « GR+A+DA » permettent un meilleur stock de carbone au sein des champs du Maïs et du Coton respectivement. Ces résultats mettent en exergue l'importance de ces mesures ou combinaison de mesures dans la séquestration du carbone organique du sol.

Conclusion

En somme, il faut retenir de cette étude que les combinaisons de mesure de gestion durable des terres prouvent leur efficacité en terme de la préservation et la conservation des microorganismes du sol surtout les mycobiomes du sol, comparées aux champs témoins (champs conventionnels et biologique). Sur dix combinaisons de mesures GDT appliqué sous deux spéculations (Maïs et Coton) au sein de deux communes, une seule abrite une forte diversité de microbiomes du sol. Il s'agit de la mesure combinant « Gestion des résidus de récoltes + Culture sous paillis + Labour perpendiculaire « GR+CSP+LP ». Quant aux combinaisons C4C/Bembèrèkè: : Labour perpendiculaire + Gestion des résidus de récoltes + Déchets d'animaux + Succession de culture « LP+GRR+DA+SC » et C2M/Kandi: Gestion des résidus de récoltes + Assolement + Déchets d'animaux « GR+A+DA », ils assurent un meilleur stock de carbone au sein des champs du Maïs et du Coton respectivement. Nous conseillons alors à nos producteurs d'adopter les mesures GDT pour non seulement assurer la préservation ou la conservation des microorganismes de leurs sols mais également améliorer la fertilité et la séquestration du carbone au sein de leurs champs respectifs.

Références bibliographiques

Akpo, M.A., Saidou, A., Balogoun, I., Yabi, I., Bio Bigou, L.B., 2016. Evaluation de la performance des pratiques de gestion de la fertilité des sols dans le bassin de la rivière Okpara au Bénin. *Scientific Resaech*, 33: 370-390.

Balogoun, I., Saïdou, A., Ahoton, L.E., Adjanohoun, A., Amadji, G.L., Ezui, G., Youl, S., Mando, A., Igué, A.M., Sinsin, B.A., 2013. Détermination des formules d'engrais minéraux et des périodes de semis pour une meilleure production du maïs (*Zea mays* L.) au Sud et au Centre Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 1025-2355 et ISSN en ligne (online):1840-7099, <http://www.slire.net>.

Chabi Bogo, T., Tchan, I. K., Tammou, O., Toré, E. Y., Godau, T., Yorou, N. S., 2020. Diversité des champignons mycorrhiziens arbusculaires associés au Maïs (*Zea mays*) sous différents régimes de gestion durable des terres au Nord-Bénin. 2020. *Annales des sciences agronomiques*, Vol 24-1 : 75-88, 2020 ISSN 1659 – 5009.

Cordell D., Rosmarin A., Schröder J. J. et Smit., 2011. Towards global phosphorus security : A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*, 84 : 747-758.

Dai, M., Hamel, C., Bainard, L.D., Arnaud, M.S., Grant, C.A., Lupwayi, N.Z., Malhi, S.S., R. Lemke, 2014. Negative and positive contributions of arbuscular mycorrhizal fungal taxa to wheat production and nutrients uptake efficiency in organic and conventional systems in the Canadian prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 74:156-166.

Elser, J., 2012. Phosphorus: A limiting nutriment for humanity? *Current opinion in Biotechnology*, 23:833-838.

Fortin, J. A., C. Plenchette, Y.Piché, 2008. Les mycorrhizes : la nouvelle révolution verte. *Edition Quae Editions Multimondes*, 163 p.

Gosling, P., Hodge A., Goodlass G., Bending G.D., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113:17-35.

Hooper, D.J., 1990. Extraction and processing of plant and soil nematodes. Pages 45-68. In: *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Luc, M., Sikora, R.A. & Bridge, J., eds. CAB International. Wallingford, UK.

Rivaton, D., 2016. Étude des champignons mycorhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. Mémoire de Master, *Agrocampus Ouest, Renne*, 68 p.

Saïdou, A., Kossou, D., Acakpo, C., Richards, P., Kuyper, W.T., 2012. Effects of farmers' practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in Central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(1):363-376.

Salako, F.K., Dada, P.O., Adesodun, J.K., Olowokere, F.A., Adekunle, I.O., 2007. Variation in soil strength, bulk density and gravel concentration along a toposequence in Abeokuta, southwestern Nigeria. *Australian Journal of Soil Research* 45: 643-650.

Schlecht, E., Buerkert, A., Tielkes, E., Bationo, A., 2006. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76:109–136.

Van der Gast, C.J., Gosling, P., Tiwari, B., Bending, G.D., 2011. Spatial scaling of arbuscular mycorrhizal fungal diversity is affected by farming practice. *Environmental Microbiology*, 13 (1): 241-249.

Willis, A., Rodrigues, B.F., Harris, P.J.C., 2013. The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32: 1-20.

ANNEXES

Annexe 1: Liste des champs échantillonnés au sein de la commune de Kandi

Combinaison	Spéculation	Répétition	Village	Coordonnées	Code	Metabarcoding
GR + PA (1)	Maïs	1	Sonsoro Peulh	N 11,102876 ; E 2,804719	C1M1	C1M
		2	Sonsoro bariba	N 11,100244 ; E 2,689858	C1M2	
		3	Gogbede	N 11,026185 ; E 3,118642	C1M3	
	Coton	1	Donwari	N 11,109577 ; E 2,837639	C1C1	C1C
		2	Sonsoro Peulh	N 11,096248 ; E 2,808801	C1C2	
		3	Gogbede	N 11,026185 ; E 3,118642	C1C3	
GR+A+DA (2)	Maïs	1	Donwari	N 11,107368 ; E 2,841466	C2M1	C2M
		2	Sonsoro bariba	N 11,100382 ; E 2,689659	C2M2	
		3	Sonsoro peulh	N 11,102628 ; E 2,789063	C2M3	
	Coton	1	Donwari	N 11,107263 ; E 2,841621	C2C1	C2C
		2	Padé	N 11,023942 ; E 2,888793	C2C2	
GR+PA/M+LP (3)	Maïs	1	Donwari	N 11,108749 ; E 2,84874	C3M1	C3M
		2	Padé	N 11,045848 ; E 2,904259	C3M2	
	Coton	1	Donwari	N 11,105917 ; E 2,844708	C3C1	C3C
		2	Sonsoro Peulh	N 11,101968 ; E 2,790385	C3C2	
		3	Kassakou	N 11,026185 ; E 3,118642	C3C3	
	GR+PA/M+ AR (4)	Maïs	1	Donwari	N 11,098259 ; E 2,821606	C4M1
2			Kassakou	N 11,046084 ; E 2,900642	C4M2	
3			Sonsoro Bariba	N 11,098498 ; E 2,687943	C4M3	
Coton		1	Kassakou	N 11,045325 ; E 2,901999	C4C1	C4C
		2	Sonsoro Bariba	N 11,099813 ; E 2,689446	C4C2	
		3	Gogbede	N 11,026185 ; E 3,118642	C4C3	
GR+CSP+LP (5)	Maïs	1	Kassakou	N 11,050134 ; E 2,891207	C5M1	C5M
		2	Donwari	N 11,099022 ; E 2,851925	C5M2	
	Coton	1	Padé	N 11,0457486 ; E 2,904237	C5C1	C5C
		2	Sonsoro Bariba	N 11,100233 ; E 2,689581	C5C2	
		3	Donwari	N 11,100662 ; E 2,850803	C5C3	
Biologique	Maïs	1	Sonsoro Bariba	N 11,10011 ; E 2,689743	BioM	Bio M
	Coton	1	Sonsoro Bariba	N 11,10523 ; E 2,737505	Bio C1	Bio C
2		Sonsoro Bariba	N 11,108136 ; E 2,729704	Bio C2		
Conventionnel	Maïs	1	Sonsoro Bariba	N 11,0457486 ; E 2,904237	Conv M	Conv M
	Coton	1	Sonsoro Bariba	N 11,107883 ; E 2,728769	Conv C	Conv C

Légende : **GR** : Gestion de résidus de récolte ; **A** : Assolement ; **DA** : Déchets d'animaux ; **PA** : Clôture avec pois d'Angole ; **M** : Mucuna ; **LP** : Labour perpendiculaire ; **AR** : Assolement + Rotation ; **CSP** : Culture sous paillis.

Annexe 2 : Liste des champs échantillonnés au sein de la commune de Bembèrèkè

Combinaison		Spéculation	Répétition	Village	Code	Coordonnées
1	LP+SC+GRR+SC	MAÏS	1	Kossou	C1M1	31 P 0471742 UTM 1129742
			2	Kossou	C1M2	31 P 0471881 UTM 1130055
			3	Bembereke-Est	C1M3	31 P 0462095 UTM 1127644
		COTON	1	Gamia/Doro	C1C1	31 P 0466477 UTM 1154073
			2	Guessou Sud/ Gando Baka	C1C2	31 P 0464852 1126165
			3	Guessou Sud/ Gando Baka	C1C3	31 P 0460158 UTM 1101225
2	LP+GRR+PA+SC	MAÏS	1	Gamia/Kpébera	C2M1	31 P 0467159 UTM 1137696
			2	Gamia/ Kpébera	C2M2	31 P 0465768 UTM 1154220
			3	Gamia/Doro	C2M3	31 P 0466352 UTM 1154012
		COTON	1	Gamia/Kpébera	C2C1	31 P 0465729 UTM 1154215
			2	Gamia/ Kpébera	C2C2	31 P 0465877 UTM 1154251
			3	Gamia/Doro	C2C3	31 P 0466432 UTM 1154044
3	LP+GRR+PK+SC+DA	MAÏS	1	Gamia/Doro	C3M1	31 P 0466516 UTM 1154137
			2	Gamia/Doro	C3M2	31 P 0466121 UTM 1155189
		COTON	1	Guessou-Sud	C3C1	31 P 0458214 UTM 1107864
			2	Guessou-Sud	C3C2	31 P 0458082 UTM 1107883
4	LP+GRR+DA+SC	MAÏS	1	Guessou-Sud	C4M1	31 P 0458328 UTM 1107990
		COTON	1	Pédarou	C4C1	31 P 0467813 UTM 1138053
5	LP+GRR+DF+SC	MAÏS	1	Kossou	C5M1	31 P 0467433 UTM 1138511
		COTON	1	Guessou-Sud/ Gando Baka	C5C1	31 P 0459931 UTM 1102189
Conventionnel		MAÏS	1	Guessou-Sud	ConvM1	31 P 0466113 UTM 1155140
			2	Guessou-Sud/ Gando Baka	ConvM2	31 P 0460127 UTM 1098664
			3	Gamia/Kpébera	ConvM3	31 P 0465821

					UTM 1154309
	COTON	1	Bembereke-Est	ConvC1	31 P 0464836 UTM 1126125
		2	Bembereke-Est	ConvC2	31 P 0465632 UTM 1126322
		3	Guessou-Sud/ Gando Baka	ConvC3	31 P 0460127 UTM 1098663
Biologique	MAÏS	1	Guessou-Sud	BioM1	31 P 0467440 UTM 1138496
		2	Pédarou	BioM2	31 P 0471844 UTM 1129792
		3	Bembereke-Est	BioM3	31 P 0465628 UTM 1126295
	COTON	1	Guessou-Sud/ Gando Baka	BioC1	31 P 0460073 UTM 1098687

Légende : **LP :** Labour perpendiculaire **GRR :** Gestion de résidus de récolte **SC :** Succession de culture **PA :** Pois d'Angole **PK :** Parcage d'animaux **DA :** Déchets d'animaux **DF :** Diguettes filtrantes.

Annexe 3: Planche photo des genres dominants du milieu d'échantillonnage



(A) *Acaulospora*; (B) *Ambispora*; (C) *Cetraspora*; (D) *Dentiscutata* ; (E) *Diversispora* ; (F) *Funneliformis* ; (G) *Gigaspora* ; (H) *Glomus* ; (I) *Scutellospora* ; <https://invam.wvu.edu/>

Annexe 4 : Planche photo des principaux genres rencontrés au sein des deux communes d'études



(A) *Helicotylenchus* ; (B) *Pratylenchus* ; (C) *Rotylenchus* ; (D) *Hoplolaimus* ; (E) *Meloidogyne* ; (F) *Xiphinema* ; (G) *Heterodera* ; (H) *Aphelenchoides* ; (I) *Aphelenchus*