

DIVERSITÉ DES CHAMPIGNONS MYCORRHIZIENS ARBUSCULAIRES ASSOCIÉS AU MAÏS (*ZEA MAYS*) SOUS DIFFÉRENTS RÉGIMES DE GESTION DURABLE DES TERRES AU NORD BÉNIN

T. CHABI BOGO*, K. I. TCHAN*, O. TAMMOU*, E. Y. TORÉ*, T. GODAU** & N. S. YOROU*.

**Unité de Recherche en "Mycologie Tropicale et Interactions Plantes-Champignons du Sol (MyTIPS)", Laboratoire d'Ecologie, Botanique et Biologie Végétale (LEB), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), BP 123, Parakou, Email : taibathc@gmail.com, Tel : (229)96133023/95103458, République du Bénin.*

***Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité alimentaire, (ProSOL/GIZ) 08 BP 1132 Cotonou, Bénin.*

RÉSUMÉ

Les champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) représentent une composante majeure des micro-organismes du sol, tout en contribuant efficacement à la mobilisation des sels minéraux du sol, à la biofertilisation et de ce fait améliorent les rendements agricoles. On estime que presque toutes les plantes cultivées forment la symbiose avec les CMA. Cependant, la diversité et l'abondance des CMA suivant différents systèmes culturaux ne sont pas clairement élucidées. Il est alors intéressant d'investiguer l'impact probable des techniques endogènes de Gestion Durable des Terres (GDT) sur les communautés fongiques. Des échantillons de sols ont été prélevés dans des champs de maïs soumis à 8 régimes culturaux différents. Les spores de CMA de chaque système cultural ont été isolées à partir de 50g de sol par centrifugation avec de l'eau et du saccharose. Les propagules retenues sont placées dans des boîtes de pétri pour examens microscopiques. L'isolement et l'identification des différents genres de CMA sont faits au binoculaire grossissement X60 et au microscope Leica de type DM2700. Pour apprécier la diversité des CMA et leur variabilité entre systèmes culturaux plusieurs indices de diversité ont été calculés. Au total, 2127 spores de CMA réparties en 8 genres ont été identifiées. La densité des spores varie de 63 à 340. Les résultats ont montré une forte abondance et de diversité de CMA sous régime GDT et biologique que dans le champ conventionnel, suggérant ainsi que ces régimes préservent l'intégrité biologique des sols.

Mot clés : CMA, symbiose mycorrhizienne, régime GDT, Maïs, Bénin

DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ASSOCIATED TO CORNS (*ZEA MAYS*) FARMLANDS UNDER DIFFERENT SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT TECHNIQUES IN NORTH OF BENIN

ABSTRACT

Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) represent a major component of soil microorganisms, while contributing effectively to the mobilization of mineral salts from the soil, to bio-fertilization and thereby improve agricultural yields. It is estimated that almost all cultivated plants form the symbiosis with AMF. However, the diversity and abundance of AMF under different land-use regimes is unclear. It is therefore interesting to investigate the possible impact of endogenous techniques of Sustainable Land Management (SLM) on soil fungal communities. Soil samples were taken from corn fields subjected to 8 different cropping regimes. The AMF spores of each cropping system were isolated from 50g of soil sample by centrifugation with water and sucrose. The different type of AMF are isolated and identified using the binocular magnification X 60 and the Leica microscope type DM2700. To assess the diversity of AMF spores and their variability between farming systems, several diversity indices were calculated. A total of 2,127 AMF spores divided into 8 different genera were identified in all cropping systems. The density of the spores varies from 63 to 340. The results showed a high abundance and diversity of AMF spores in the fields under SLM regime and biological than in the conventional field (63 spores), thus suggesting that these diets more preserve the biological integrity of the soils.

Keyword: CMAs, mycorrhizal symbiosis, regime SLM, corn fields, Benin

INTRODUCTION

Les céréales constituent l'aliment de base de nombreuses populations depuis des milliers d'années (Semassa, 2016). Le maïs (*Zea mays L.*) est la principale céréale la plus produite au monde après le blé et le riz (N'Da *et al.*, 2013). Au Bénin, le maïs fait partie des treize (13) filières retenues dans le Plan Stratégique de relance du Secteur Agricole du Bénin (PSRSA) par le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), à promouvoir pour assurer la sécurité alimentaire et la croissance économique (MAEP, 2011). Cependant, la production de cette culture rencontre plusieurs problèmes qui entraînent la baisse de son rendement.

Outre les aléas climatiques et les nuisibles, la faible productivité du maïs est due en grande partie à la baisse de la fertilité des sols et la mauvaise répartition des pluies (Balogoun, 2012). Au Bénin, la baisse de la fertilité des sols est devenue une préoccupation grandissante pour les producteurs et les chercheurs dont la vocation est d'œuvrer à la conservation et la restauration de la fertilité des sols (Saïdou, *et al.*, 2009). Le nord du Bénin, qui est le pôle agricole du pays (Vodounou & Doubogan, 2016), est la partie la plus exposée à la baisse de rendements à cause de la pauvreté en éléments nutritifs de ses sols. Pour résoudre le problème de la baisse de la fertilité, les producteurs font recours à l'usage des produits chimiques qui présente des effets extrêmement nocifs aux micro-organismes du sol mais aussi à la santé humaine (Dalgaard *et al.*, 2003).

Le Bénin s'est résolument engagé à entreprendre toutes les actions concourant à l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD) qui définissent globalement la marche à suivre pour un avenir meilleur. Pour ce qui concerne l'agriculture, les ODD2 (faim zéro à l'horizon 2030) et 13 (mesures relatives aux changements climatiques), sont les plus ciblés. Le défi est au moins de doubler les productions agricoles notamment alimentaires pour nourrir une population en plein essor tout en respectant les règles d'une agriculture durable à faibles apports d'intrants chimiques et n'ayant aucun risque pour la santé humaine et environnementale (Tilman *et al.*, 2002). La transition agricole, qui préconise la promotion de l'agroécologie, apparait comme l'une des voix pour répondre à ce double objectif. Pour la promotion de l'agriculture durable, ProSOL (Projet de Protection et de réhabilitation des Sols pour améliorer la sécurité alimentaire) a adopté depuis la campagne 2016 des techniques biologiques de productions visant le maintien durable de l'intégrité des terres agricoles, comprenant entre autres la gestion des résidus de récolte, le labour perpendiculaire, les associations des cultures, l'utilisation des plantes améliorantes afin de garantir un meilleur rendement des cultures (ProSOL, 2017). Toutefois, aucune étude au Bénin n'a essayé de connaître l'effet des techniques endogènes et approuvées de la gestion de la fertilité des sols sur les microorganismes du sol dont la diversité fonctionnelle est capitale pour restaurer durablement la fertilité des sols. Pour une promotion réussie des pratiques agroécologiques, la préservation de l'intégrité biologique des sols est

capitale aux vues des multiples fonctions jouées par les micro-organismes du sol dans la décomposition de la matière organique morte.

Parmi les micro-organismes du sol d'importance capitale pour l'agriculture et le bio-fonctionnement du sol, se trouvent les Champignons Mycorrhiziens Arbusculaires (CMA) (Fortin *et al.* 2008 ; Cordell *et al.* 2011 ; Eslser, 2012). Les CMA entretiennent une association « intime » et « obligatoire » avec les plantes cultivées notamment ; ce qui présente de façon générale un caractère mutuellement bénéfique (symbiose). Dans le sol, ces champignons forment un réseau d'hyphes largement ramifié. De ce fait, le volume de sol accessible aux racines augmente, ce qui améliore l'approvisionnement de la plante en éléments nutritifs. Selon Benjelloun *et al.*, (2014), les plantes de maïs (*Zea mays*) inoculées par des souches indigènes de champignons mycorrhiziens présentent une meilleure croissance par rapport aux plantes non inoculées, ceci est maintenu même en conditions de stress hydrique. Par ailleurs, les CMA établissent ainsi des associations symbiotiques avec les racines des plantes ce qui permet d'améliorer leur rendement. Ils améliorent l'accès à l'eau et aux sels minéraux par les plantes, en échange ces dernières leur apportent des éléments carbonés (Balzergue, 2012). Les CMA permettant aussi de réduire les dommages causés par les pathogènes sur les plantes et d'augmenter leur tolérance au stress hydrique (Davies et Linderman, 1993). Il apparait clairement que la présence des champignons du sol est très importante pour une agriculture respectueuse de l'environnement. D'autant que ProSOL promeut les techniques endogènes de gestion durable des sols, il est convenable d'apprécier l'état biologique de ces sols et de savoir si les différentes techniques mises en œuvre préservent la diversité des champignons du sol et dans quelles mesures ces techniques peuvent contribuer à la fertilisation biologique des sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

L'étude a été menée dans la commune de Kandi qui se trouve au centre du département de l'Alibori au nord Bénin dans la zone agroécologique du bassin cotonnier située entre la latitude 11°01'34" N et la longitude 2°45'21" E (Dimon, 2008). Elle est limitée par les communes de Malanville (Nord), Gogounou (Sud), de Ségbana (Est) et de Banikoara (Ouest). Elle présente un climat tropical pur caractérisé par deux saisons contrastées avec des hauteurs annuelles de pluie variant considérablement entre 700 et 1400 mm. La température annuelle moyenne est de 27,8 ° C et l'humidité relative atteint 80% pendant les pluies mais descend jusqu'à 35% pendant la saison sèche. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux et la végétation est constituée de savanes arborées à arbustives avec quelques forêts galeries (Dimon, 2008). La figure 1 indique l'emplacement géographique de la commune de Kandi ainsi que les différents villages dans lesquels les systèmes cultureux ont été sélectionnés pour effectuer l'échantillonnage du sol.

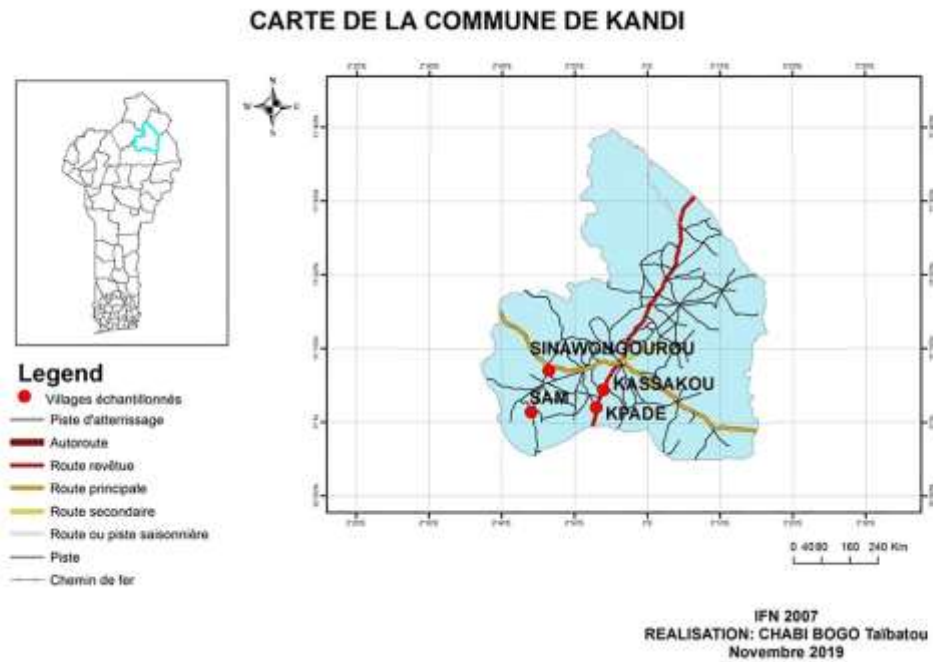


Figure 1. La carte de la commune de Kandi

Prélèvement des échantillons de sol

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), champs avec pratiques GDT plus utilisation d'une quantité faible d'engrais chimique et champ avec utilisation d'engrais chimique sans pratiques GDT (conventionnel). Au total, 8 systèmes cultureux différents ont été considérés pour l'échantillonnage à raison de 6 mesures de Gestion Durable des Terres (GDT), un champ biologique et un champ conventionnel pour servir de comparaison ou de champs témoins (tableau 1). Cinq (05) placeaux de 100m² ont été installés par champ ou par système culturel. Cinq échantillons de sol ou carottes de sol (10 à 15 cm de profondeur du sol représentant la zone d'activité intense des CMA) de chaque placeau sont échantillonnés à 1 m de chaque coin du placeau à l'aide d'une tarière. Les vingt-cinq (25) carottes de sol de chaque champ sont assemblées pour former un échantillon composite (Figure 2). Au total, 8 échantillons composites (40 placeaux de 100 m² et 200 carottes de sol) de 150g sont été prélevés.

Tableau 1. Différents systèmes culturaux ou combinaison des mesures de Gestion Durable des Terres

Nom des champs et village de collecte	Stade de développement du maïs	Mesures appliquées	Précédant cultural
KMP1 (Kassakou, Maïs Placette 1)	Maïs en pleine épiaison	- Labour perpendiculaire, - Enfouissement de résidus de récoltes, - Clôture avec pois d'angole,	Pois d'angole
KMP2 (Kassakou maïs Placette 2)	Maïs à maturité	- Labour perpendiculaire, - Enfouissement de résidus de <i>mucuna</i> , - Association avec <i>mucuna</i> , - cordons pierreux, - Fascines	<i>Mucuna</i>
SMP1 (Sam Maïs Placette 1)	Maïs à maturité	- Enfouissement des résidus de récoltes, - Parcage de bœufs, - Labour perpendiculaire, rotation	Soja + pois d'angole
SMP2 (Sam Maïs Placette 2)	Maïs en pleine floraison	- Enfouissement des résidus de récoltes, - Labour perpendiculaire, - Cordons pierreux, - Fascines, - Clôture avec <i>Jatropha</i> , - Agroforesterie avec <i>Gmelina</i> , - Culture en bande du pois d'Angole.	Coton + pois d'angole
PMP (Padé Maïs Placette)	Maïs à maturité	- Labour perpendiculaire, - Enfouissement des résidus de récoltes, - Association avec le pois d'angole, - Fumure organique	Coton + pois d'angole
SMB (Sinawongourou Maïs Biologique)	Maïs en pleine épiaison	- Enfouissement des résidus de récolte de riz et maïs, - Parcage des bœufs chaque année - Labour perpendiculaire - Non utilisation d'engrais chimique (le champ n'a jamais connu l'usage des engrais chimique)	Maïs
SMZ (Sinawongourou Maïs Zaï)	Maïs à maturité	- Enfouissement des résidus de récoltes, - Parcage de bœufs, - Semis sur technique de Zaï, - Non utilisation d'engrais chimique	Maïs
KMC (Kassakou Maïs Conventionnel)	Maïs à maturité	Non application d'aucune mesure GDT (usage exclusive des engrais chimique NPK et Urée)	Maïs

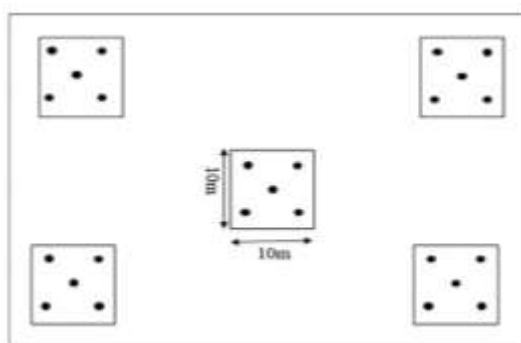


Figure 2. Dispositif de collecte des échantillons de sol dans les champs

Traitement et conservation des échantillons du sol

Après la collecte, les échantillons du sol passent au traitement. Ce traitement consiste d'abord à sécher les échantillons avec leurs labels (nom et acronyme du champ) au séchoir électrique type Dorrex Stockli à une température de 35°C pendant 24h selon le taux d'humidité et ensuite à débarrasser chaque échantillon des fragments de racines, de feuilles mortes, ou autres débris. Ensuite, ces échantillons de sol sont versés dans des sachets de collecte, malaxés à la main afin de séparer le sol des grosses particules en s'assurant de ne pas laisser les spores s'échapper sous forme de poussière. Pour obtenir un sol très fin, les échantillons sont tamisés avec l'aide des tamis de 1 mm tout en s'assurant toujours de ne pas laisser les spores s'échapper. Une fois tamisés, 50g de sol sont prélevés de chaque échantillon pour des études au laboratoire. Afin d'éviter une éventuelle ré-humidification des échantillons, environ 20g de silica gel sont ajoutés à chaque échantillon.

Extraction des champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) contenus dans le sol

Les spores de CMA ont été isolées à partir de 50 g d'échantillon de sol par centrifugation avec de l'eau en suivant la technique conventionnelle (Jefwa *et al.*, 2009, 2012). Cinquante (50 g) de sol de chaque système cultural est mélangé avec 300 ml d'eau dans un bécher de 500 ml. Le mélange est bien remué et décanté à travers des séries de tamis emboîtables : de 300, 200 et 40 micromètres (chaque collection est examinée séparément). Après le tamisage, les contenus des tamis de 300 et 200 µm sont versés dans des boîtes de pétri et le contenu de tamis de 40 µm est versé dans les flacons de 15 ml et centrifugé à 3000 tours / minute pendant 5 minutes. Après centrifugation, les surnageants des flacons sont versés délicatement dans une boîte de pétri afin de ne pas les mélanger avec les dépôts. Une solution de saccharose est ajoutée dans les flacons contenant les dépôts, agitée et centrifugée à 2000 tours/minute pendant 3 minutes pour séparer les débris des spores. Immédiatement après la centrifugation, la solution de saccharose est décantée soigneusement dans un tamis de 40 µm. Le dépôt est soigneusement rincé avec de l'eau afin de laver le saccharose. Ensuite, le contenu du tamis est versé dans une boîte de pétri afin de pouvoir observer au stéréo-microscope et extraire les spores. Les spores extraites ou isolées sont ensuite placées dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée. Deux (2) à trois (3) gouttes de glutaraldéhyde ont été ajoutées dans la boîte de Pétri pour prévenir l'attaque des spores par les nématodes et les acariens pour le stockage à long terme.

Identification morphologique, dénombrement et illustration des CMA

Pour l'identification, les spores sont posées sur des lames et légèrement macérées pour révéler les détails des couches de la paroi des spores et des attaches d'hyphes. Les caractéristiques observées sont comparées à celles existantes dans le code d'identification des spores afin de rallier chaque spore au genre correspondant. Pour apprécier l'abondance des spores des CMA, les

morphotypes (tenant compte de la couleur, épaisseur de la membrane, taille, présence des hyphes...) ont été regroupés par genre de champignons CMA, en utilisant le guide d'identification des genres (Blaszkowski, 2012). Un simple comptage du nombre de spores a permis d'avoir l'abondance et la représentativité de chacun des genres pour 50g de sol. Des captures d'images des spores observées sont faites aux grossissements 100 avec l'aide d'une caméra digitale de type GRYPHAX rattachée au microscope BMS.

Analyse statistique et appréciation de la richesse et abondance en CMA

Les bases de données ont été constituées à l'aide du tableur excel (Microsoft excel 2016) puis tous les tests statistiques ont été réalisés sous le logiciel R version 3.5.1 (R Core Team 2018) et R studio. En effet, l'abondance des CMA par genre (tous systèmes cultureux confondus) a été visualisée à travers un diagramme en bâtons. L'abondance des CMA a été comparée d'une part entre les genres et d'autre part entre les systèmes cultureux grâce à une régression linéaire généralisée (GLM). La structure d'erreur quasi-poisson a été utilisée pour palier à la sur-dispersion ($\phi=7.76$). Ces résultats ont été illustrés grâce aux graphes des moyennes affichant les comparaisons multiples (selon la méthode Turkey) des moyennes marginales d'abondance respectivement par genre et par système culturel. Pour apprécier la diversité des CMA, l'indice de diversité de Shannon a été calculé après avoir jaugé la prédominance des genres peu représentés à l'aide d'un diagramme rang-fréquence à l'aide du package "vegan" (Oksanen et al. 2019). L'indice d'équitable de Pielou a été aussi calculé en complément à l'indice de Shannon pour mieux apprécier la régularité des CMA. Dans le but de comparer la diversité taxonomique des différents systèmes cultureux et en déduire l'effet des pratiques agricoles sur la diversité des CMA, une matrice de similarité a été calculée en utilisant l'indice de Jaccard à l'aide du package "vegan" et ade4 (Dray & Dufour 2007). Le test d'indépendance de X^2 a été réalisé pour voir s'il existe une affinité entre les genres et les différentes pratiques culturelles. Ensuite, une analyse factorielle des correspondances AFC est réalisée sous le package "FactoMineR" (Le et al. 2008) pour visualiser les différentes associations entre les systèmes de cultures et les genres. Enfin, la classification hiérarchique ascendante a permis de catégoriser les systèmes de cultures sur la base des taxa qu'ils partagent en commun.

RÉSULTATS

Diversité des genres de CMA des échantillons étudiés

Nous avons isolé un total de 2127 spores de CMA pour tous les champs ou systèmes cultureux étudiés. Toutes ces spores se répartissent en 8 genres différents que sont : *Funneliformis*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Septoglomus*, *Diversispora*, *Racocetra*, *Gigaspora* et *Ambispora* (Figure 3).

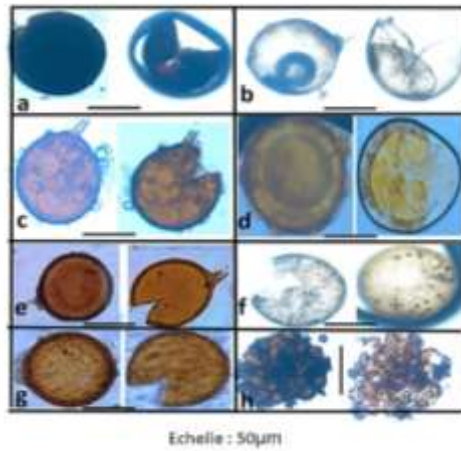


Figure 3 : Spores des différents genres de CMA des échantillons étudiés. (a) *Funneliformis*, (b) *Acaulospora*, (c) *Glomus*, (d) *Septoglomus*, (e) *Diversispora*, (f) *Racocetra*, (g) *Gigaspora* et (h) *Ambispora*.

Abondance des CMA par Genre

Dans l'ensemble, les genres *Septoglomus* et *Funneliformis* sont les plus représentés avec respectivement 699 et 560 spores, tandis que les genres *Gigaspora* (42 spores) et *Diversispora* (17 spores) sont les moins abondants lors de cette étude (Figure 4). Les deux genres *Septoglomus* et *Funneliformis* représentent à eux seuls plus de 50% (1259 spores) de l'ensemble des spores de nos échantillons.

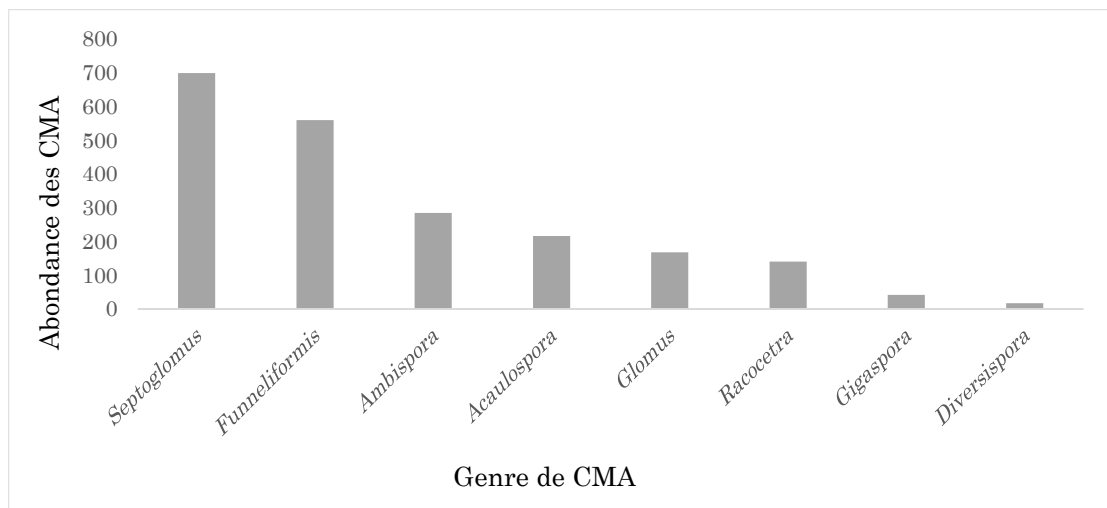


Figure 4. Abondance des spores de CMA par genre

Abondance des spores des CMA par pratique culturale

On observe une forte abondance des spores de CMA aux seins des pratiques culturales sous régime GDT et biologique que sous régime conventionnel (témoin KMC). Les plus fortes abondances sont enregistrées dans des champs KMP2 (340), SMB (324) et SMP1 (311) tandis que la plus faible abondance est enregistrée au sein du champ KMC (63) comme le présente la figure 5.

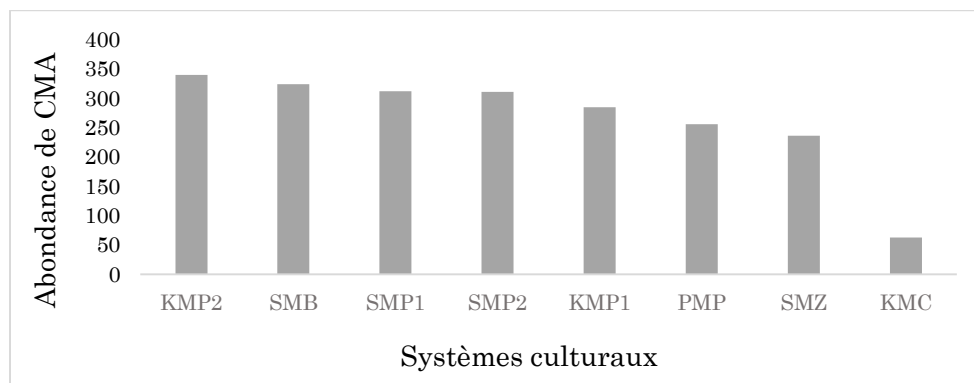


Figure 5. Abondance des CMA par systèmes cultureaux tous genres confondus

Comparaison du nombre moyen de spores pour tous genres de CMA

Le nombre moyen de spores varie énormément d'un genre à un autre (Figure 6). Les genres *Acaulospora* et *Ambispora* sont représentés par un nombre similaire de spores. Il en a de même pour les genres *Glomus* et *Racocetra*. Aussi, on note une différence non significative du nombre de spores pour les genres *Funneliformis* et *Septoglomus* qui sont par ailleurs les plus représentés en nombre de spores. Cependant, *Diversispora* et *Gigaspora* présentent un nombre moyen de spore significativement différent entre eux mais aussi entre les autres genres. On note par ailleurs que le nombre total de spores pour ces genres varie beaucoup d'un champ à un autre comme l'atteste l'écart type.

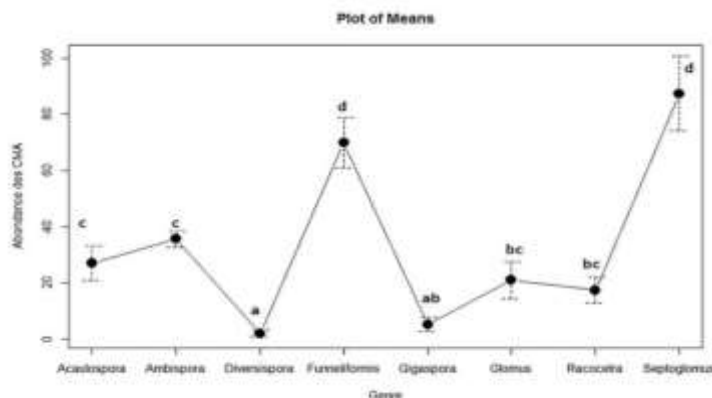


Figure 6. Moyenne des spores pour tous genres de CMA

Comparaison du nombre de spores de CMA par système de culture

On observe sur la Figure 7 une similarité du nombre moyen de spores entre les différents champs sous mesures GDT (tous les champs avec la même lettre) et le champ biologique. Seul le champ KMC se démarque avec un nombre moyen significativement différent et très faible comparé aux autres champs.

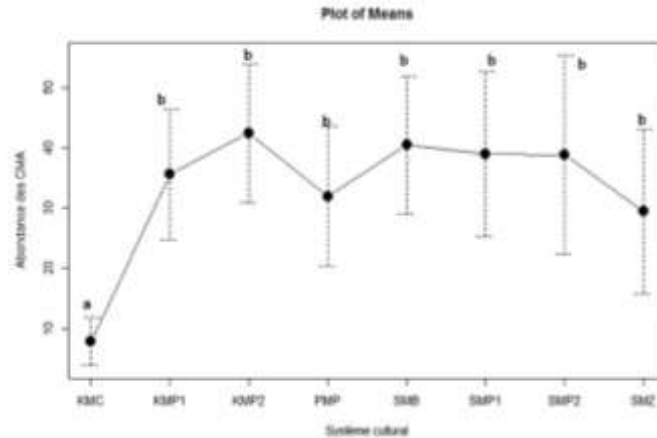


Figure 7. Moyennes des spores de CMA pour tous systèmes culturaux

Diversité des CMA par système culturaux

L'analyse comparative de l'indice de diversité de Shannon montre que la moyenne de la diversité de CMA des mesures GDT est égale à la diversité de CMA de la mesure biologique SMB. La plus faible diversité est enregistrée au niveau du champ conventionnel KMC (Tableau 2). On en déduit alors que la diversité des CMA est plus élevée dans les champs sous mesures GDT et les champs biologiques (SMB) que dans le champ conventionnel KMC.

Tableau 2. Diversité des CMA par système culturaux

	Richesse en genres	Indice de diversité de Shannon	Indice d'équitabilité de Pielou
KMP1	7	1.742	0.8952
KMP2	8	1.830	0.8802
SMP1	8	1.646	0.7916
SMP2	6	1.455	0.8121
PMP	7	1.608	0.8263
SMB	7	1.734	0.8911
SMZ	6	1.380	0.7705
KMC	5	1.206	0.7491

Relation entre les CMA et les champs investigués

La Figure 8 suivante montre la répartition des genres de CMA en corrélation avec les différents champs. L'axe 1 qui explique 40 % des variations est relié aux différents systèmes culturaux étudiés. L'axe 2 (22,7 %) met le gradient des genres. On note clairement que les genres *Funneliformis*, *Septoglomus* et *Ambispora* sont concentrés au niveau des champs SMP1, SMP2, SMZ, et PMP tandis que le genre *Glomus* est associé au champ SMB et le genre *Racocetra*

aux champs KMP1 et KMP2. Cependant, on ne note pas une spécificité de genre au niveau du champ KMC qui représente ici le champ conventionnel utilisant uniquement les intrants chimiques.

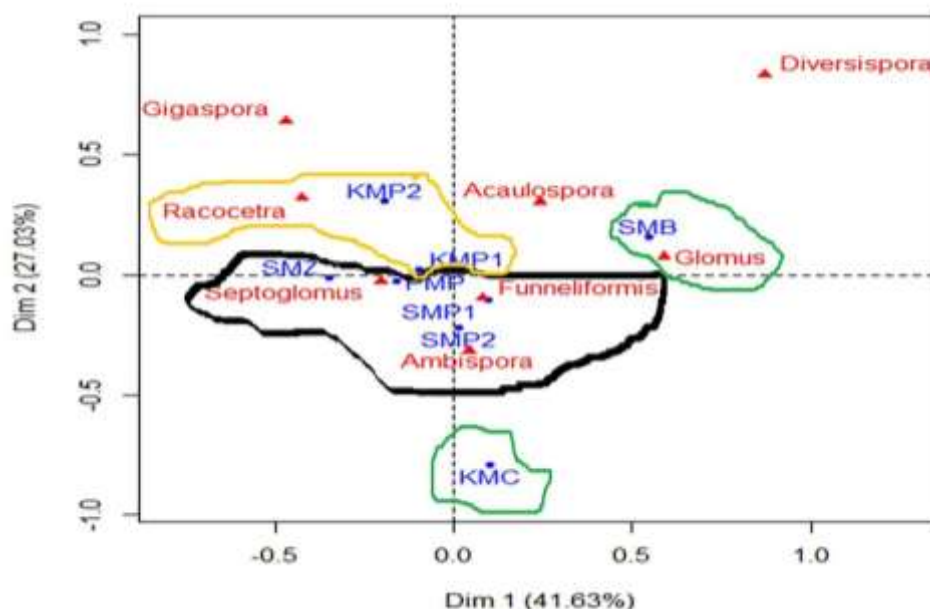


Figure 8. Corrélation entre les CMA et les champs investigués (voir la figure en attachement)

DISCUSSION

Diversité et l'abondance des CMA associés aux cultures de maïs

Cette étude montre que les champignons mycorrhiziens à arbuscules sont présents dans les différentes pratiques culturales développées dans le milieu d'étude. Au total 2127 spores ont été identifiées répartir en 8 genres : *Funnelformis*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Septoglomus*, *Diversispora*, *Racocetra*, *Gigaspora* et *Ambispora*. A travers la présente étude, les genres tels que *Funnelformis*, *Septoglomus*, *Racocetra*, *Diversispora* et *Ambispora* sont reportés pour la première fois au Bénin. La diversité obtenue pour cette étude est nettement supérieure à celle obtenue par Bossou et al., (2019) sous la culture de maïs qui ont recensé 4 genres. Cette grande diversité peut s'expliquer par la combinaison de plusieurs mesures GDT et surtout les légumineuses, qui, à en croire les résultats de cette étude, promeuvent la prolifération des CMA.

Quant à la diversité entre les systèmes culturaux, les moyennes de la diversité enregistrée dans les champs GDT et biologique sont égales mais supérieures à celle du champ KMC. Ce résultat peut s'expliquer par l'utilisation des engrais chimiques tel que le NPK et Urée au niveau du champ KMC, ce qui confirme

les résultats de Gosling *et al.*, (2006), Garbaye (2013), et Dai *et al.*, (2014). En effet, ces auteurs ont démontré que le nombre de spores ainsi que la diversité des CMA semblent être plus favorisés par les pratiques d'agriculture biologique que par l'usage des intrants chimiques.

Influence des techniques agricoles sur la diversité et l'abondance des CMA

Le nombre de spores enregistré par système cultural varie de 63 à 340. Les différents genres observés dans les abondances des CMA témoignent que les mesures GDT et biologique préservent mieux les champignons du sol. Les pratiques culturales favorisées dans l'agriculture intensive moderne ont des incidences directes et indirectes sur l'abondance des CMA en endommageant leurs structures et en créant des conditions plus ou moins défavorables pour leur croissance et leur reproduction (Willis *et al.*, 2013). Par ailleurs, il est en effet prouvé que les pesticides, en particulier les fongicides, peuvent impacter négativement la colonisation et la sporulation des CMA, voire même leur disparition des agroécosystèmes (Fortin *et al.*, 2008).

Dans l'ensemble, on a noté une plus grande diversité des spores des CMA dans les champs sous mesures GDT et biologique que dans le champ conventionnel. Les mesures GDT sont caractérisées par l'enfouissement des résidus agricoles issus des cultures précédentes, mais aussi par l'application de certaines techniques antiérosives. De façon générale, ces résultats s'expliqueraient par le fait que l'enfouissement de la matière organique morte crée dans le sol des sites, micro-habitats et substrats favorables à la vie des champignons du sol. En effet, aussi bien en milieu forestier qu'agricole, il est connu que la grande densité des champignons est généralement observée dans les couches superficielles du sol qui hébergent de grandes quantités de matières organiques mortes et/ou de la litière en décomposition. Cette matière organique en décomposition crée un microclimat (température, humidité, éclaircissement) optimal pour l'établissement et la croissance des communautés fongiques (Rivaton, 2016). Dans le champ conventionnel, non seulement le substrat pour créer un microclimat adéquat pour le développement des CMA manque, mais l'usage des engrais chimique crée plutôt de dommages pour les organismes fongiques. Les propagules des champignons vivant dans les sols sont en effet dépourvues d'enveloppes de protection, mettant donc les cellules fongiques directement en contact avec les polluants, ce qui conduit à ralentir leur prolifération. En effet, les champignons du sol sont très sensibles aux variations du pH du sol (Fortin *et al.*, 2008). De nombreux travaux ont démontré l'impact négatif des engrais chimiques sur les communautés fongiques du sol, en ce sens que sur le long terme, on assiste à une acidification des sols qui tue les spores de CMA et favorise ainsi le développement des parasites des spores (Gosling *et al.*, 2006 ; Rivaton, 2016).

Par ailleurs, les propriétés physico-chimiques du sol de même que leur rôle dans la variation spatiale de la diversité et abondance des champignons du sol n'ont pas été prises en compte dans la présente étude. Quand bien même le sol du milieu d'étude est globalement de type ferrugineux tropical (Kate *et al.*,

2016), une grande hétérogénéité peut être observée suivant les différentes propriétés physiques et chimiques même à petite échelle. Les champignons étant des organismes très sensibles aux variables abiotiques du milieu, les variations des propriétés physico-chimiques du sol peuvent, voir, contribuer pour une grande part aux variabilités observées au niveau des communautés fongiques. Dans le même ordre d'idées, Jefwa *et al* (2009) ont démontré que les associations culturelles de même que les antécédents cultureux ont un impact sur la composition des communautés fongiques. Ces aspects n'ont pas été pris en compte dans la présente étude.

CONCLUSION

Quand bien même nous recommandons l'intégration des paramètres physico-chimiques du sol dans les investigations ultérieures, la présente étude nous permet de conclure que les mesures de GDT mise en œuvre par ProSOL dans la commune de Kandi promeuvent l'établissement et prolifération des communautés fongiques du sol que les champs conventionnels. L'importance des mesures GDT dans la restauration des sols et l'amélioration des rendements est reconnue aussi bien au sein de la communauté scientifique quand dans le monde paysan. Cependant, le lien avec la communauté fongique du sol n'est pas toujours clairement élucidé. La présente étude donne l'évidence et quelques pistes pour des prospections approfondies en intégrant tous les facteurs régulant les interactions entre les mesures GDT plantes-organismes du sol afin de sécuriser une transition agricole réussie par la promotion des pratiques agroécologiques saines sécurisant de meilleurs rendements agricoles et respectueuses de l'environnement.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le *Projet de Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité alimentaire*, (ProSOL/GIZ), pour avoir financé cette étude. De même, la fondation Volkswagen (Allemagne) et le Service Allemand des Exchanges universitaire (DAAD) sont remerciés pour l'octroi des binoculaires et des microscopes ayant permis les travaux microscopiques, à travers les financement n° Az 90127 et PKW300499 respectivement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALOGOUN I. 2012. Essai de validation des formules d'engrais et des périodes de semis recommandées par le modèle DSSAT pour la production de maïs (*Zea mays L.*) au Sud et Centre Bénin. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, Bénin, p. 78.
- BALZERGUE C., PUECH-PAGÈS V., BÉCARD G. & ROCHANGE S.F. 2011. The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. *Journal of experimental botany*, 62: 1049-1060.

- BOSSOU L-D.R., HOUNGNANDAN B.H., ADANDONON A., ZOUNDEJI C. & HOUNGNANDAN P. 2019. Diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires associés à la culture du maïs (*Zea mays* L.) au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 : 597-609.
- CORDELL D., ROSEMARIN A., SCHRÖDER J.J. & SMIT A.L. 2011. Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*, 84: 747-58.
- DAI M., HAMEL C., BAINARD L.D., ARNAUD M.S., GRANT C.A., LUPWAYI N.Z., MALHI S.S. & LEMKE R. 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.
- DALGAARD T., HUTCHINGS, N.J. & PORTER, J.R. 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agricultural, Ecosystems, Environment*, 100: 39-51.
- DAVIES F., POTTER J. & LINDERMAN R. 1993. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants. *Physiologia Plantarum*, 87: 45-53.
- DIMON R. 2008. Adaptation aux changements climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles des communes de Kandi et de Banikoara au Nord du Bénin. Cotonou : Thèse d'ingénieur agronome, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, 132 p.
- ESLSER J. 2012. Phosphorus: a limiting nutrient for humanity? *Current opinion in biotechnology*, 23: 833-838.
- FORTIN J.A., PLENCHETTE C. & PICHE Y. 2008. Les mycorhizes la nouvelle révolution verte. Chapitres 10, Les mycorhizes en agriculture. *Ed. MultiMondes*, Québec, 87-108 p.
- GARBAYE J. 2013. La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. *Ed. Quae*, Versailles, 251 p.
- GOSLING P., HODGE A., GOODLASS G. BENDING G.D. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113: 17-35.
- JEFWA J.M., OKOTH S., WACHIRA P., KARANJA N., KAHINDI J., NJUGUINI S., ICHAMI S., MUNG'ATU J., OKOTHA P. & HUISING J. 2012. Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 157 : 32-39
- JEFWA, J. M., MUNG'ATU, J., OKHOT, P., MUYA, E., ROIMEN, H. & NJUGUINI S. 2009: Influence of land use type on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in the high altitude region of MT Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 11: 277-290.
- MAEP-Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. (2011). Plan stratégique de relance du secteur agricole (PSRSA), Cotonou, 115 p.
- N'DA H. A., AKANVOU L. & KOUAKOU C.K. 2013. Gestion locale de la diversité variétale du maïs (*Zeamays* L.) violet par les Tagouana au Centre Nord de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7: 2058-2068.
- 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. 2009. 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*, 1: 363-376.
- TILMAN D., CASSMAN K.G., MATSON P.A., NAYLOR R. & POLASKY S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677.
- VODOUNOU J.K. & DOUBOGAN O.Y. 2016. Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. *Cybergeog: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 6p.
- WILLIS A., RODRIGUE B., HARRIS P.J.C. 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Review in Plant Sciences*, 32 : 1-20.

b) Page 2, le résumé

Un bref résumé (max. 250 mots) dans la langue de l'article est nécessaire. Ce résumé sera précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (Français ou Anglais selon le cas), le titre sera traduit dans cette seconde langue. Quatre (4) ou Cinq (5) mots clés suivront chaque résumé.

c) Le corps du texte

Le texte doit être dans un langage simple et compréhensible. On utilisera le Système International pour les symboles. Les abréviations internationales sont acceptées (FAO, DDT, etc.). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira un nom scientifique dans le texte. Les formules et équations seront éditées avec l'éditeur de Word ou tout autre outil logiciel approprié. L'emplacement des figures et tableaux devra être clairement indiqué. **Les notes infra-paginales ne sont pas acceptées.**

Les manuscrits seront structurés de la manière suivante :

-Introduction : assez précise, concise, justifiant la problématique posée au regard des faits d'observation et des travaux scientifiques les plus récents et plus pertinents. Les objectifs de l'étude doivent être clairement énoncés.

-Matériel et méthodes : les méthodes de collectes et de traitement des données en fonction des objectifs ou hypothèses devront être clairement indiquées et référencées.

-Résultats : Les principaux résultats devront être soutenus au besoin par des figures (photos, cartes) ou des tableaux assez pertinents et illustratifs.

-Discussion : Une interprétation des résultats devra être soutenue par des références récentes et pertinentes (en majorité de sources scientifiquement crédibles : articles, mémoires, thèses, livres, ...) en vue d'une mise en évidence

de leur contribution à l'avancée de la science ou au développement.

-Conclusion : doit répondre clairement à la question de recherche posée.

-Remerciements (si nécessaire)

-Références bibliographiques.

d) Les références bibliographiques

Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Dans le texte, les références sont citées en précisant les noms des auteurs et la date de publication de la manière suivante : Dupont (1995) ou Dupont & Dupont (1990) ou dans le cas de plus de deux (2) auteurs, Dupont *et al.* (1978). Dans la liste des références bibliographiques, les noms d'auteurs seront rangés par ordre alphabétique. Selon les ouvrages, les références bibliographiques seront présentées de la manière suivante :

* Pour les revues

- ADJANOHOUN E. 1962. Etude phytosociologique des savanes de la basse Côte-d'Ivoire (savanes lagunaires). *Vegetatio* 11 : 1-38.

- GRÖNBLAD R., PROWSE G. A. & SCOTT A. M. 1958. Sudanese Desmids. *Acta Bot. Fenn.* 58 : 1-82.

- THOMASSON K. 1965. Notes on algal vegetation of lake Kariba. *Nova Acta R. Soc.Sc. Upsal.*, ser. 4, 19(1) : 1-31.

- POCHE R. M. 1974a. Notes on the roan antelope (*Hippotragus equinus* (Desmarest)) in West Africa. *J. Applied Ecology*, 11 : 963-968.

- POCHE R. M. 1974b. Ecology of the African elephant (*Loxodonta a. africana*) in Niger, West Africa. *Mammalia*, 38 : 567-580.

* Pour les contributions dans les livres

- WHITTON B. A. & POTTS M. 1982. Marine littoral : 515-542. *In* : Carr N. G. & Whitton B. A. (eds.), The biology of cyanobacteria. Oxford, Blackwell.

-ANNEROSE D. & CORNAIRE B.1994. Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches : 137-150. *In* : Reyniers F. N. & Netoyo L. (eds.). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

* Pour les livres

- ZRYD J. P. 1988. Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.

- STUART S. N., ADAMS R. J. & JENKINS M .D. 1990. Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN - The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

* Pour les communications

- VIERA DA SILVA J. B., NAYLOR A. W. & KRAMER P. J. 1974. Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sci. USA: 3243-3247.

- LAMACHERE J. M. 1991. Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n°199 : 109-119.

* Pour les abstracts

- TAKAIWA F. & TANIFUJI S. 1979. RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiol., 20(5) : 875-884. *In* : Crop Physiology Abstracts, 1980, 4533.

NB : Un article qui ne répond pas aux conditions de forme ne sera pas examiné quand au fond.

Instructions to authors

The "Annales des Sciences Agronomiques" publishes the results of original applied research articles and communications and scientific reviews in the fields of plant sciences, soil sciences, animal sciences, ecology, food technology, nutrition, in tropical and subtropical areas. Short notes covering current topics are also given consideration.

The Editor-in-Chief acknowledges receipt of the manuscripts and submits them to the editorial Board. The manuscripts may then be accepted, rejected or revisions may be requested. These must have been addressed when submitting a new version.

- *The Editor Board may return without refereeing any manuscript that does not comply to the following guidelines.*

- French is mandatory for French and Francophone authors. English may be used in all other cases.

- Complete manuscripts are submitted in *triplicate*, including one original. The text and is typed, double-space, the pages are numbered. A 3,5" *diskette* is included. The text and tables are in separate files saved under Microsoft Word (clearly indicate on the *diskette* of the software used).

- *First and second page contents* : 1) a precise, complete title in English and French ; 2) a running title not exceeding 60 characters or spaces in English and French ; 3) author's names, postal office box and fax numbers, E-mail address ; 5) abstracts : in English and in French, 250 words at most, and both contain the same information ; 6) five key words.

- *Article structure* : Introduction, materials and methods, results, discussion, conclusion, acknowledgements (when appropriate), references.

Note : In the materials and methods, and results sections the past tense is mandatory. In the discussion the present tense may be used when refereeing to already published results, but the past tense is mandatory when refereeing to results of the present study.

Tables : arabic numerals are used, in the order they appear in the text.

- *Figures* : (photos, graphs, drawings, maps) : originals submitted on paper only, separate from the text, numbered (Arabic num) in the order they appeared in the text ; legend are listed separately, meaningful by themselves ; high-quality is required from the start as they may be reproduced without any modification (except in size) : photos ; contrasted, in black and white if the subject justifies it.

- *References* presented as below. A very special care is given to their presentation and no item may be omitted (e. g. do not forget the publisher's city and country when quoting a book), using the following examples as guidelines.

BERTHE D. 1987 Epidémiologie et prophylaxie des maladies infectieuses majeures : bilan et perspectives. Thèse doct. Vét. EISMV, Dakar, Sénégal.

DENIS J. P. 1971. L'intervalle entre les vèlages chez le zébu Gobra (Peul sénégalais). *Revue Elev ; vét ; pays trop.*, 24 : 635-647.

GUYOT B., TOBAR M. & VINCENT J. C. 1988. Essai de détermination de la couleur verte du café en système modèle. *In* : XIIe colloque scientifique international sur le café. Montreux, Suisse, 28 juin-3 juillet 1987. Paris, France, ASIC, pp. 143-147.

RICORDEAU G. 1981. Genetics : breeding plants. *In* : Gall C., (ed) Goat production. London, UK, Academic Press, pp. 111-161.

Anonymous publications are listed under the title first word.

The complete guidelines are available upon request.

International ISO norms are used to abbreviate journal names.

Proofs are sent to the first author or to the correspondent who then has a few days to return the corrections.

10 reprints free of charge are sent solely to the first author or to the designated correspondent.

TABLES DES MATIÈRES

(Volume 24, numéro 1, 2020)

CONTENU

- A. ZANNOU, A. BONOU, P. BABADANKPODJI, M. A. M. ZANOU, C. J. S. SACCRAMENTO & G. BIAOU** : Adaptation to climate change by rice farmers in central and northern Benin 1-13
- AHAMIDE B., HOUNSOU B. M. & TODE K. M** : Impacts de la micro-irrigation sur la production de la banane plantain (*Musa paradisiaca*) à Glo-Djigbé, commune d'Abomey-Calavi au Bénin 14 - 24
- S. B-V K. KPANOU, H. DEDEHOUANOU & TH. DOGOT** : Dynamique socio-économique et institutionnelle de la pêche continentale dans les milieux estuariens et lagunaires du sud Bénin : synthèse bibliographique 25-39
- B. M. HOUNSOU, B AHAMIDÉ, O. L. SINTONDI, J. C. HOUNDAGBA & V. P. CODJO** : Caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de Zagbo dans la commune de Za-Kpota en vue de leur aménagement 41-57
- A. ZANNOU, P. BABADANKPODJI, A. K. N. AOUDJI, C. G. K. SOYIGBE, S. B. E. HOUNGBO, I. O. SALIOU, E. AHO, D. HOUSSOU & F. THOTO** : Technical and economic performance of women fish processors in southern Benin fish basin 59-73
- T. CHABI BOGO, K. I. TCHAN, O. TAMMOU, E. Y. TORÉ, T. GODAU & N. S. YOROU** : .Diversité des champignons mycorrhiziens arbusculaires associés au maïs (*Zea mays*) sous différents régimes de gestion durable des terres au nord Bénin 75-88