

Quatrième article : Analyse de la dépendance mycorrhizienne du maïs (*Zea mays* L.) et du soja (*Glycine max* L. (Merr.)) sous différentes mesures de Gestion Durable des Terres (GDT) au Nord-Bénin

Par : O. Tammou, K. I. Tchan, E. Y. Toré, T. Chabi Bogo, T. Godau et N. S. Yorou

Pages (pp.) 43-53.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – Septembre 2020 – Volume 30 - Numéro 03

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> et peut être aussi consulté sur le site web de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) <http://www.inrab.org>

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



**Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)**

**Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)**

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : [sp.inrab@inrab.org](mailto:sp.inrab@inrab.org) / [inrabdg1@yahoo.fr](mailto:inrabdg1@yahoo.fr) / [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com)

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB)  
de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01

Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail: [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com)

République du Bénin

## Sommaire

Informations générales	ii
Indications aux auteurs	iii
Bulletin d'abonnement	vii
Analyse de l'efficacité du champignon entomopathogène <i>Beauveria bassiana</i> , sur la mortalité des stades larvaires de <i>Clavigralla tomentosicollis</i> Stål, 1855 (Hemiptera : Coreidae) <b>M. Abdourahmane Harouna, I. Baoua, O. K. Douro Kpindou, M. Akpoffo, L. Amadou, B. Datinon et M. Tamó</b>	1
Effet de la farine de lentille d'eau ( <i>Lemna minor</i> ) sur la croissance des alevins de <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758) <b>A. F. M. d'Almeida, J. E. Akotènou Agossou, M. Ogbon et G. A. Mensah</b>	12
Diversité faunique au Bénin, statut de conservation et stratégies de préservation de la biodiversité faunique dans les plantations de bois de feu au Sud-Bénin <b>J. Kpetere, A. R. A. Oualiou, S. G. A. Nago, A. K. Natta et G. A. Mensah</b>	25
Analyse de la dépendance mycorrhizienne du maïs ( <i>Zea mays</i> L.) et du soja ( <i>Glycine max</i> L. (Merr.)) sous différentes mesures de Gestion Durable des Terres (GDT) au Nord-Bénin <b>O. Tammou, K. I. Tchan, E. Y. Toré, T. Chabi Bogo, T. Godau et N. S. Yorou</b>	43
Évaluation de la contamination métallique (Pb, Cd et As) et analyse de risques toxicologiques à Houin Logbo (lac Toho) dans la commune de Lokossa au sud-ouest du Bénin <b>P. M. Hekpazo, A. S. Y. Hounkpatin, V. T. Dougnon, G. Boni, E. Pognon et R. C. Johnson</b>	54
Flores mellifères et potentialités apicoles du département des Collines au centre du Bénin <b>E. B. F. Sèdégan, S. C. B. Pomalégni, H. Dakpogan, S. Salifou, A. B. Gbangboché et G. A. Mensah</b>	65

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

**Informations générales**

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être obtenue sur demande adressée au secrétariat du BRAB. Pour recevoir la version électronique pdf du BRAB, il suffit de remplir la fiche d'abonnement et de l'envoyer au comité de rédaction avec les frais d'abonnement. La fiche d'abonnement peut être obtenue à la Direction Générale de l'INRAB, dans ses Centres de Recherches Agricoles ou à la page vii de tous les numéros. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Un thesaurus spécifique dénommé « TropicAgrif » (Tropical Agriculture and Forestry) a été développé pour caractériser les articles parus dans le BRAB et servir d'autres revues africaines du même genre. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette Principale - Cotonou 01 – Tél.: (+229) 21 30 02 64 - E-mail: [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com) – République du Bénin

**Éditeur :** Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

**Comité de Rédaction et de Publication :** -i- **Directeur de rédaction et de publication :** Directeur Général de l'INRAB ; -ii- **Rédacteur en chef :** Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- **Secrétaire documentaliste :** Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- **Maquettiste :** Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- **Opérateur de mise en ligne :** Dr Ir. Setchémè Charles Bertrand POMALEGNI, Chargé de recherche ; -vi- **Membres :** Dr Ir. Guy A. MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir. Angelo C. DJIHINTO, Maître de Recherche, Dr Ir. Rachida SIKIROU, Maître de Recherche et MSc. Ir. Gbènakpon A. Y. G. AMAGNIDE.

**Conseil Scientifique :** Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr. Dr Ir. Brice A. SINSIN (Ecologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr. Dr Michel BOKO (Climatologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Joseph D. HOUNHOUIGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr. Dr Ir. Abdourahmane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr. Dr Ir. Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr. Dr Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr. Dr Ir. Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr. Dr Ir. Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr. Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir. Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr. Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Dr Ir. Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir. Attanda Mouinou IGUE (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Dr Ir. Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Dr Ir. Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir. Gauthier BIAOU (Economie, Bénin), Dr Ir. Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir. Anne FLOQUET (Economie, Allemagne), Dr Ir. André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir. Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. Claude ADANDEDJAN (Zootechnie, Pastoralisme, Agrostologie, Bénin), Dr Ir. Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir. Adolphe ADJANOHOOUN (Agro-foresterie, Bénin), Dr Ir. Isidore T.GBEGO (Zootechnie, Bénin), Dr Ir. Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Elevage), Dr Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Dr Ir. Luc O.SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir. Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Sénégal)

**Comité de lecture :** Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

## Indications aux auteurs

### Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des rapports de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

### Soumission de manuscrits

Les articles doivent être envoyés par voie électronique et/ou en trois (3) exemplaires en version papier par une lettre de soumission (*covering letter*) au comité de rédaction et de publication du BRAB aux adresses électroniques suivantes : E-mail : [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com). Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris e-mail) d'au moins trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs (*referees*) revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin.

Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des lecteurs, spécialistes du domaine. Pour qu'un article soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses).

### Titre

On doit y retrouver l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum ou 100 caractères et espaces) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Il comporte les mots de l'index *Medicus* pour faciliter la recherche sur le plan mondial. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte. Ils doivent être écrits en minuscules, à part la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues.

### Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1<sup>ère</sup> lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs) sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Prof., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, Tél., e-mail, pays, etc.) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme et à la rédaction de l'article. L'auteur principal est celui qui a assuré la direction de la recherche et le plus en mesure d'assumer la responsabilité de l'article.

### Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est nécessaire. Ce résumé doit être précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est : un compte rendu succinct ; une représentation précise et abrégée ; une vitrine de plusieurs mois de dur labeur ; une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document ; etc. Il doit contenir l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Un bon résumé a besoin d'une bonne structuration. La structure apporte non seulement de la force à un résumé mais aussi de l'élégance. Il faut absolument éviter d'enrober le lecteur dans un amalgame de mots juxtaposés les uns après les autres et sans ordre ni structure logique. Un résumé doit contenir essentiellement : une courte **Introduction (Contexte)**, un **Objectif**,

---

la **Méthodologie** de collecte et d'analyse des données (**Type d'étude, Echantillonnage, Variables et Outils statistiques**), les principaux **Résultats** obtenus en 150 mots (**Résultats importants et nouveaux pour la science**), une courte discussion et une Conclusion (**Implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches**). La sagesse recommande d'être efficacement économe et d'utiliser des mots justes pour dire l'essentiel.

### Mots-clés

Les mots clés suivront chaque résumé et l'auteur retiendra 3 à 5 mots qu'il considère les plus descriptifs de l'article. On doit retrouver le pays (ou la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline et le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

### Texte

Tous les articles originaux doivent être structurés de la manière suivante : Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Discussion, Conclusion, Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques. Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible.

### Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

### Matériel et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

### Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

### Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs.



Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

### Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

### Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion. Il ne faut jamais laisser les résultats orphelins mais il faut les couvrir avec une conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion ne comporte jamais de résultats ou d'interprétations nouvelles. On doit y faire ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats. La conclusion n'est pas l'endroit pour présenter la synthèse des conclusions partielles du texte car c'est une des fonctions du résumé. Il faut retenir que la conclusion n'est pas un résumé de l'article.

### Références bibliographiques

Il existe deux normes internationales régulièrement mise à jour, la :

- **norme Harvard** : -i- West, J.M., Salm, R.V., 2003: Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, 17, 956-967. -ii- Pandolfi, J.M., R.H. Bradbury, E. Sala, T.P. Hughes, K.A. Bjorndal, R.G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, M.J.H. Newman, G. Paredes, R.R. Warner, J.B.C. Jackson, 2003: Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 301 (5635), 955-958.
- **norme Vancouver** : -i- WEST, J.M., SALM, R.V., (2003); Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, vol. 17, pp. 956-967. -ii- PANDOLFI, J.M., et al., (2003); Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, vol. 301 N° 5635, pp. 955-958.

Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées dans la liste des références et inversement. La bibliographie doit être présentée en ordre alphabétique conformément aux deux (2) exemples donnés ci-dessus comme suit : nom et initiales du prénom du 1<sup>er</sup> auteur, puis initiales du prénom et nom des autres auteurs ; année de publication (ajouter les lettres a, b, c, etc., si plusieurs publications sont citées du même auteur dans la même année) ; nom complet du journal ; numéro du volume en chiffre arabe, éditeur, ville, pays, première et dernière page de l'article. Dans le texte, les publications doivent être citées avec le nom de l'auteur et l'année de publication entre parenthèses de la manière suivante : Sinsin (1995) ou Sinsin et Assogbadjo (2002). Pour les références avec plus de deux auteurs, on cite seulement le premier suivi de « *et al.* » (mis pour *et alteri*), bien que dans la bibliographie tous les auteurs doivent être mentionnés : Sinsin *et al.* (2007). Les références d'autres sources que les journaux, par exemple les livres, devront inclure le nom de l'éditeur et le nom de la publication. Somme toute selon les ouvrages ou publications, les références bibliographiques seront présentées dans le BRAB de la manière suivante :

#### Pour les revues :

- Adjanohoun, E., 1962 : Etude phytosociologique des savanes de la base Côte-d'Ivoire (savanes lagunaires). *Vegetatio*, 11, 1-38.
- Grönblad, R., G.A. Prowse, A.M. Scott, 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 :

- Whithon, 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., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

#### **Pour les communications :**

Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sc. 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., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiology abstracts, 1980, 4533.

#### **Thèse ou mémoire :**

Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

#### **Pour les sites web :**

<http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h. - <http://www.cites.org>, consulté le 12/07/2008 à 09 h.

#### **Equations et formules**

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

#### **Unités et conversion**

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

#### **Abréviations**

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

#### **Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales**

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom (s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple : *Oryza sativa* = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

#### **Tableaux, figures et illustrations**

Chaque tableau (avec les colonnes rendus invisibles mais seules la première ligne et la dernière ligne sont visibles) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées. Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excell, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.

## Analyse de la dépendance mycorrhizienne du maïs (*Zea mays* L.) et du soja (*Glycine max* L. (Merr.)) sous différentes mesures de Gestion Durable des Terres (GDT) au Nord-Bénin

O. Tammou<sup>1\*</sup>, K. I. Tchan<sup>1</sup>, E. Y. Toré<sup>1</sup>, T. Chabi Bogo<sup>1</sup>, T. Godau<sup>2</sup> et N. S. Yorou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bsc. Omar TAMMOU, 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, E-mail : [tammoumar99@gmail.com](mailto:tammoumar99@gmail.com), Tél. : (+229)66888447, République du Bénin.

<sup>1</sup>Ir. Kassiml. TCHAN, MyTIPS/LEB/FA/UP, BP 123, Parakou, E-mail : [kassimtchan@gmail.com](mailto:kassimtchan@gmail.com), Tél. : (+229)95382237, République du Bénin.

<sup>1</sup>Bsc. Eric Y. TORE, MyTIPS/LEB/FA/UP, BP 123, Parakou, E-mail : [yto98@gmail.com](mailto:yto98@gmail.com), Tél. : (+229)66459645, République du Bénin.

<sup>1</sup>Bsc. Taïbatou CHABI BOGO, MyTIPS/LEB/FA/UP, BP 123, Parakou, E-mail : [taibathc@gmail.com](mailto:taibathc@gmail.com), Tél. : (+229)95103458, République du Bénin.

<sup>1</sup>Pr. Dr Ir. Nourou S. YOROU, MyTIPS/LEB/FA/UP, BP 123, Parakou, E-mail : [n.s.yorou@gmail.com](mailto:n.s.yorou@gmail.com), Tél. : (+229)94243866/62594676, République du Bénin.

<sup>2</sup>Dr Tobias GODAU, Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité alimentaire (ProSOL/GIZ), 08 BP 1132 Cotonou, E-mail : [tobias.godau@giz.de](mailto:tobias.godau@giz.de), Tél. : (+229)67015959 / 60306666, République du Bénin

\*Auteur de correspondance : [tammoumar99@gmail.com](mailto:tammoumar99@gmail.com)

### Résumé

La symbiose arbusculaire et vésiculaire (SAV) est reconnue pour sa capacité à s'associer et à améliorer la nutrition minérale d'environ 95% des plantes vasculaires ainsi que leurs rendements en milieu réel. Toutefois, les paramètres responsables de la colonisation ne sont pas connus. L'étude visait à apprécier le degré de colonisation du maïs (*Zea mays*) et du soja (*Glycine max*) suivant différentes techniques de Gestion Durable des Terres (GDT). Pour ce faire, les racines des deux plantes ont été récoltées sur 5 plants dans chacun des 5 placeaux installés dans 12 systèmes culturaux. Au laboratoire, après la coloration des racines, de petits fragments d'un centimètre ont été disposés entre lames et lamelles pour observations microscopiques. Les observations et captures d'images des structures fongiques ont été faites au microscope Leica DM2700. La dépendance mycorrhizienne a été calculée par le rapport du nombre de racines infectées sur l'ensemble des racines examinées. La régression bêta a permis de déterminer les pratiques culturales ayant les plus grands taux de mycorrhization. Les résultats ont montré que les taux de mycorrhization varient de 20% à 57,5% pour le maïs et de 4,76% à 34,7% pour le soja. Comparés au champ biologique, les champs GDT ont présenté des taux de mycorrhization faibles excepté un seul dont le taux de mycorrhization est supérieur à celui du champ biologique (55,83% chez le maïs et 32,85% chez le soja). L'étude permet de conclure que l'agriculture biologique sécurise mieux la SAV avec le maïs et le soja que les autres systèmes GDT investigués.

**Mots clés :** Mycorrhization, plantes cultivées, technique culturales, productivité, SAV.

### Analysis of the mycorrhizal dependence of maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. (Merr.)) under different measures of Sustainable Land Management (SLM) in Northern Bénin

#### Abstract

It is estimated that 95% of vascular plants form the mycorrhizal symbiosis. Almost all cultivated herbaceous plants in general and even forest trees form the Vesicular and Arbuscular Mycorrhizae (VAM). Still, the factor governing the colonization and mycorrhizal dependency are not yet understood. This study aims at assessing the colonization rate of maize (*Zea mays*) and bean (*Glycine max*) according to different techniques of sustainable land management. The roots of the target plants are sampled from 5 plant individual x 5 plots x 12 cropping systems. After staining the roots using the standard technique, small fragments were used for microscopic observations. Observations and image captures of fungal structures are made using the X40 binocular and the Leica DM2700 microscope. Mycorrhizal dependence is calculated by the ratio of the number of infected roots from all the roots examined. The beta regression (R software) made it possible to determine the cropping system having the highest mycorrhization rates. The results showed that the mycorrhization rate varies from 20% to 57.5% (corn) and from 4.76% to 34.7% (bean). Compared to the biological field, the fields under GDT measures have low mycorrhization rates except for one whose rate of mycorrhization is higher than that of the biological field (55.83% in corn and 32.85% in soybeans). This study suggests that biological farming sustain VAM better than the other cropping systems investigated.

**Key words:** Mycorrhization, crops, lands use, productivity, VAM.



## Introduction

Le secteur agricole est d'une importance capitale pour le renforcement de l'économie béninoise, car il contribue pour 32,5% en moyenne au Produit Intérieur Brut (MAEP, 2011). Le maïs (*Zea mays*) est la céréale la plus produite au Bénin et a été ainsi retenu comme filière à promouvoir dans le Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole pour améliorer la sécurité alimentaire (MAEP, 2017). Il est beaucoup utilisé dans l'alimentation des Béninois sous plusieurs formes (Arouna *et al.*, 2011). Le soja (*Glycine max*) est une légumineuse très importante dans l'alimentation du fait de sa haute teneur en protéine et de son utilité en tant que complément alimentaire (Metohoue, 1994 ; Kpenavoun Chogou *et al.*, 2018). Cependant, une baisse progressive des rendements du maïs et du soja due aux mauvaises pratiques culturales est notée. Ces pratiques impliquant l'utilisation abusive et inappropriée des engrais chimiques conduisent à une dégradation physique, chimique et biologique du sol et une baisse de rendement agricole. Sur le plan biologique, l'usage des engrais chimiques affecte certaines fonctions microbiologiques du sol indispensables à la nutrition minérale de la plante. Entre autres fonction capitale pour la croissance des plantes, figure la symbiose arbusculaire et vésiculaire (SAV) (Alabouvette et Cordier, 2018), une relation écologique entre certains champignons du sol et la presque totalité des plantes cultivées (Smith et Read, 2008).

La SAV est une association entre les racines des plantes et un groupe spécifique de champignons classés dans le phylum des Gloméromycotina (Spatafora *et al.*, 2018). Elle est retrouvée chez presque toutes les plantes cultivées, à l'exception des Cypéracées et les Brassicacées (Smith et Read, 2008). La SAV permet aux plantes partenaires d'améliorer leur nutrition et la protection contre les pathogènes et les stress environnementaux. De ce fait, la SAV est indispensable à la survie des plantes (Fortin, 2008). Ainsi, leur disparition des agro-écosystèmes devait être une menace à la sécurité alimentaire. Il urge de trouver des alternatives aux mauvaises pratiques limitant l'établissement de la SAV en agriculture.

Au Bénin, dans le souci d'améliorer durablement les productions agricoles, le Projet de Protection et de Réhabilitation des Sols pour améliorer la sécurité alimentaire (ProSOL) a initié depuis 2016 la promotion de nouvelles pratiques agricoles dites de Gestion Durable des Terres (GDT). Ces pratiques font la promotion de l'utilisation des sources de fertilisants organiques, mais aussi de la protection des sols contre les érosions hydriques et éoliennes à travers des techniques écologiquement saines. Cependant, aucune étude sur l'état biologique des sols sous ces mesures GDT n'a été faite (ProSOL, 2017).

Le Bénin, dans sa politique de diversification agricole, fait la promotion des pratiques agricoles écologiquement saines et durables. Une agriculture écologiquement saine suppose la promotion et l'adoption des techniques de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols, à travers une combinaison judicieuse des engrais chimiques, organiques et biologiques (FAO, 2019). L'intégration de la composante biologique fait inéluctablement appel aux interactions biotiques/écologiques existant entre les différents éléments de la biodiversité du sol et les plantes cultivées. Ces relations écologiques sont diversement influencées par les différentes techniques culturales en jeu. La présente étude vise à examiner les paramètres de mycorrhization du maïs et du soja dans les champs soumis aux différentes mesures GDT dans le nord du Bénin en mettant en évidence les influences potentielles entre les mesures GDT et le pouvoir de mycorrhization des plantes cibles, afin de fournir des outils écologiques indispensables à la promotion d'une transition agricole basée sur l'agro-écologie.

## Milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans la commune de Kandi située dans le département de l'Alibori entre la latitude 11°01'34" N et la longitude 2°45'21" E (Figure 1). Elle est caractérisée par un relief constitué de plateaux de grès, entaillés par les vallées de la Sota et de l'Alibori qui sont les deux principaux cours d'eau de la commune. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux et la végétation est constituée de savanes arborées et arbustives avec quelques forêts galeries. Le climat est de type tropical pur avec une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La pluviosité moyenne se situe entre 800 et 1.200mm par ans (INRAB, 2016).

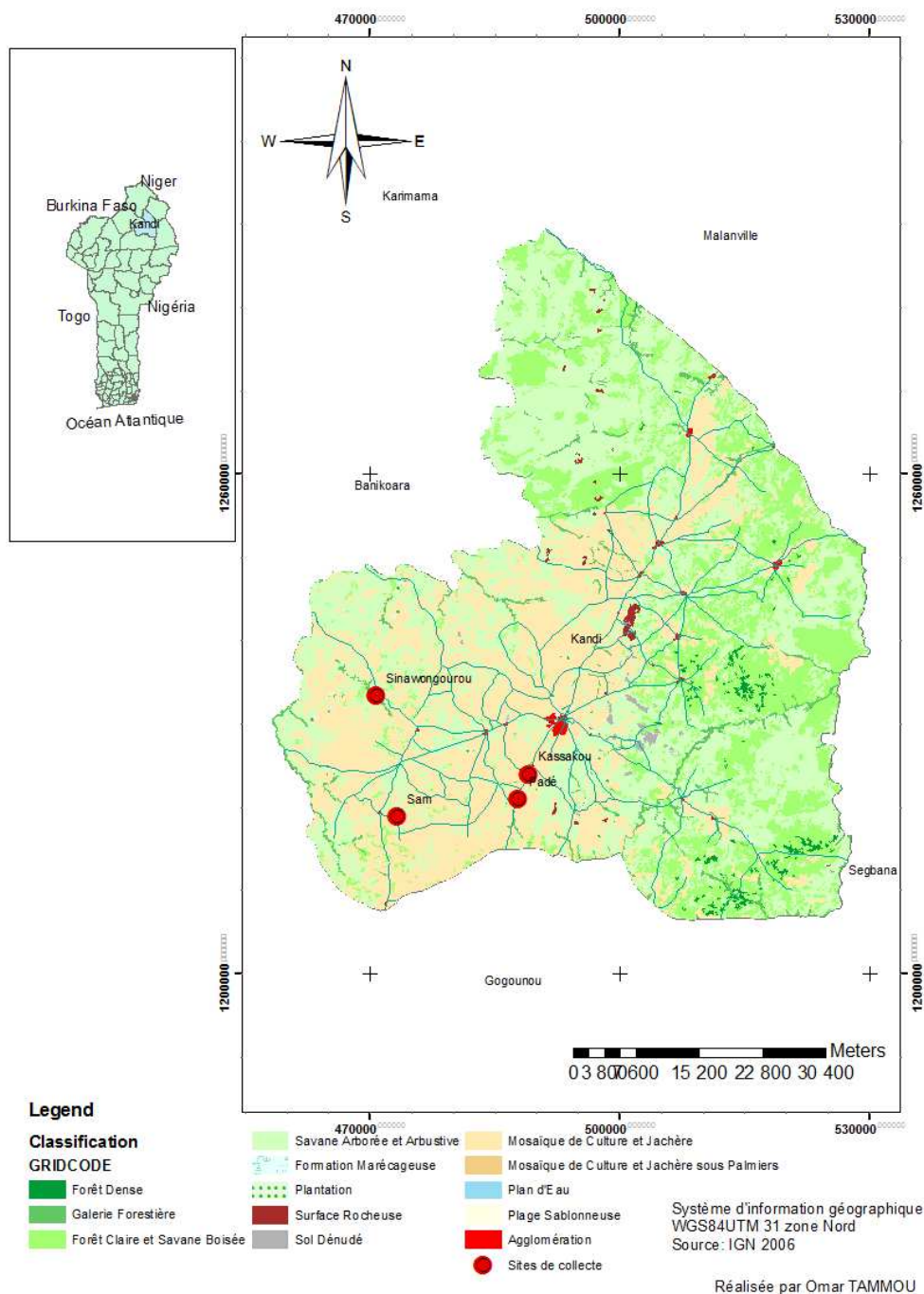


Figure1. Carte du milieu d'étude

## Matériels et Méthodes

### Sélection des champs et des mesures GDT

Les champs sélectionnés appartenaient aux agriculteurs suivis par le Projet ProSOL pour l'application des mesures GDT. Au total 12 systèmes culturaux regroupant 9 champs GDT dont 6 champs de maïs (KMP1, KMP2, PMP1, SMP1, SMP2, SMZ), 3 champs de soja (KSP, SSC et PSP); 2 champs biologiques (SMB pour le maïs et SSB pour le soja) et un champ conventionnel (KMC) ont été échantillonnés. Le choix des champs GDT échantillonnés était basé sur trois critères à savoir: la présence sur le champ d'une combinaison d'au moins trois mesure GDT, la qualité et la rigueur mis par les producteurs dans l'installation des mesures GDT et enfin le suivi permanent du producteur par le technicien en charge du Projet. Les caractéristiques des différentes mesures GDT et des champs témoins (champs Claire biologiques et conventionnel) sont fournies dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des différentes mesures GDT et champs témoins considérés dans cette étude

Champs identifiés	Mesures
Kassakou Maïs Placeau 1 (KMP1)	Labour perpendiculaire, enfouissement de résidus de récoltes de pois d'Angole, clôture avec pois d'Angole.
Kassakou Maïs Placeau 2 (KMP2)	Labour perpendiculaire, enfouissement de résidus de récoltes de Mucuna, association avec Mucuna, cordons pierreux, fascines.
Sam Maïs Placeau 1 (SMP1)	Enfouissement des résidus de récoltes de soja et de pois d'angole, parage de bœufs, labour perpendiculaire, rotation.
Sam Maïs Placeau 2 (SMP2)	Enfouissement des résidus de récoltes de coton et de pois d'angole, labour perpendiculaire, rotation, cordons pierreux, fascines clôture avec Jatropha, agroforesterie avec Gmelina, culture en bande du Pois d'Angole.
Padé Maïs Placeau 1 (PMP1)	Labour perpendiculaire, enfouissement des résidus de récoltes de coton et de pois d'angole, association avec le Pois d'Angole, fumure organique.
Sinawongourou Maïs Biologique (SMB)	Maïs biologique sur un terrain jamais fertilisé à l'engrais chimique.
Sinawongourou Maïs sur Zaï (SMZ)	Enfouissement des résidus de récoltes de maïs, parage de bœufs, semis sur technique de Zaï, non-utilisation d'engrais chimique.
Kassakou Maïs Conventionnel(KMC)	Champ de maïs avec usage exclusif d'engrais chimique (Maïs conventionnel).
Padé Soja Plecau (PSP)	Labour perpendiculaire, enfouissement des résidus de Mucuna, fumure organique, utilisation d'engrais.
Kassakou Soja Placeau (KSP)	Labour perpendiculaire, cordon pierreux, association de Styloxanthes et Aeschynomène, enfouissement des résidus de Mucuna, utilisation d'engrais.
Sinawongourou Soja Biologique (SSB)	Labour perpendiculaire, non-utilisation d'engrais, friche.
Sinawongourou SojaSSC (GDT)	Labour perpendiculaire, enfouissement des résidus de maïs, rotation, parage de bœufs, apport de fumure organique, utilisation d'engrais.

### Échantillonnage des plants, prélèvement et conservation des racines de maïs et du soja

A l'intérieur de chaque champ sélectionné, 05 placeaux de 100m<sup>2</sup> ont été installés par système cultural. Cinq pieds ou systèmes racinaires des plants ont été prélevés au niveau de chaque placeau. Les vingt-cinq (25) systèmes racinaires des plants de chaque champ ont été assemblés pour former un échantillon composite (Figure 2). En somme, 12 échantillons composites (60 placeaux de 100 m<sup>2</sup> et 300 systèmes racinaires des plants) ont été prélevés lors cette étude pour les deux spéculations. Les racines collectées ont été rincées à l'eau puis conservées dans de l'éthanol à 70% dans des boites étiquetées pour des analyses de laboratoire.

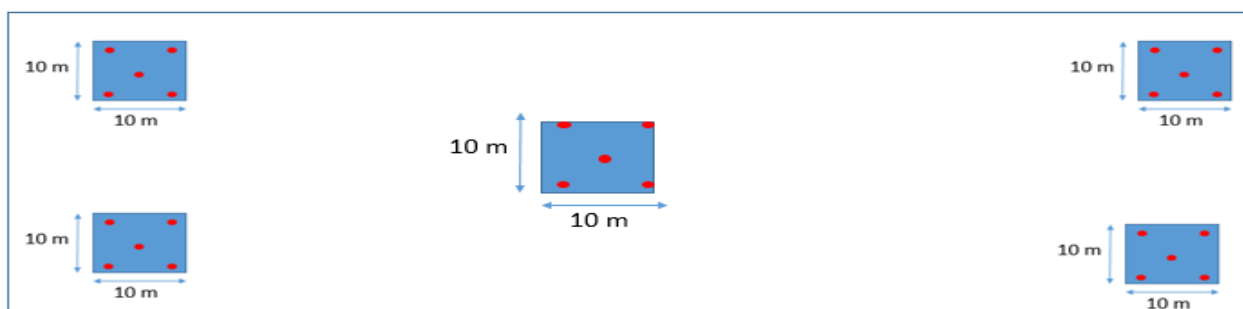


Figure2. Dispositif d'échantillonnage des racines par champ

## **Coloration des racines selon la méthode adaptée de Philips et Hayman (1970)**

Afin d'observer la mycorrhization chez les racines de maïs et de soja, il a fallu les colorer selon une méthode adaptée de Philips et Hayman (1970). Les racines préalablement conservées dans une solution d'éthanol à 70% ont été retirées puis les plus fines (racines secondaires) ont été prélevées et découpées en petits morceaux d'environ 1cm avant de passer à l'éclaircissement. Afin de faciliter l'observation au microscopique, les cellules racinaires ont été vidées de leur contenu cytoplasmique grâce à une solution d'hydroxyde de potassium (KOH à 10%) dans laquelle les racines ont été trempées pendant 1 heure à 90°C. Les racines ont été ensuite rincées à l'eau sous tamis de 200 µm pour éviter les pertes de racines fines puis blanchies avec une solution de peroxyde d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>). Les racines adoucies et éclaircies ont été rincées à l'eau et passées dans de l'acide chlorhydrique (HCl) à 1% pendant 1 heure pour préparer les structures fongiques à absorber le colorant. Le colorant utilisé était une solution de bleu de trypan (0,25g de bleu de trypan, 250g de glycérol ; 25 ml de HCL à 1% et 225 ml d'eau distillée). La dernière phase du traitement est appelée la décoloration et s'est fait grâce à une solution (250g de glycérol ; 25 ml de HCL à 1% et 225 ml d'eau distillée) qui permet d'éliminer le reste de bleu de trypan non fixé par les structures fongiques. Ce traitement donnait suite à l'observation microscopique des racines.

### **Observations microscopiques**

Après le traitement, 30 racines ont été prélevées et disposées en deux lignes de 15 coupes entre lame et lamelle avec une goutte de PolyVinilLactoGlycérol (PVLG) pour permettre une vue plus claire. Au total, 1800 fragments de racines ont été observés pour les deux spéculations confondues. Pour le maïs, 960 fragments de racines (30 racines × 4 observations × 8 pratiques culturales). Concernant le soja, 840 fragments ont été observés (30 racines × 7 observations × 4 pratiques culturales). L'observation a été faite avec un microscope de type Leica DM2700. L'observation s'était faite en utilisant graduellement les objectifs dans cet ordre 04, 10, 40 et 100X. Le type de microscope utilisé donne la possibilité d'installer une caméra de type Breukhoven 766105100A pour permettre pour la prise des images directement depuis le microscope.

### **Dépendance mycorrhizienne.**

Après la microscopie, le calcul des taux de mycorrhization par mesure GDT ainsi que des taux d'arbuscules et de vésicules a été fait selon la méthode des proportions d'Inglebly (2007) en utilisant les formules mathématiques suivantes :

$$P = \frac{\text{Nombre de racines infectées}}{\text{Nombre total de racines observées}} \times 100 ;$$

$$P1 = \frac{\text{Nombre de racines vésiculées}}{\text{Nombres de racines observées}} \times 100 ;$$

$$P2 = \frac{\text{Nombre de racines arbusculées}}{\text{Nombre de racines observées}} \times 100.$$

Avec : P = le pourcentage de racines colonisées ; P2 = le pourcentage d'arbuscules par échantillon ; P1 = le pourcentage de vésicules par échantillon.

Pour ressortir l'existence d'une différence entre les taux de mycorrhization (P) des pratiques culturales et aussi les comparer, une régression bêta à l'aide de la bibliothèque (package en anglais) betareg (Cribari-Neto et Zeileis, 2010) a été réalisée sous logiciel R version 3.5.1 (R Core team, 2018).

## **Résultats**

### **Caractérisation anatomo-morphologique des racines de maïs et de soja**

La présence des structures caractéristiques de la symbiose arbusculaire et vésiculaire (SAV) a été mise en évidence dans les cellules végétales observées. Il s'agissait notamment des arbuscules, des vésicules intra- et intercellulaires et des hyphes. Ces structures ont été illustrées par les figures 3 et 4.



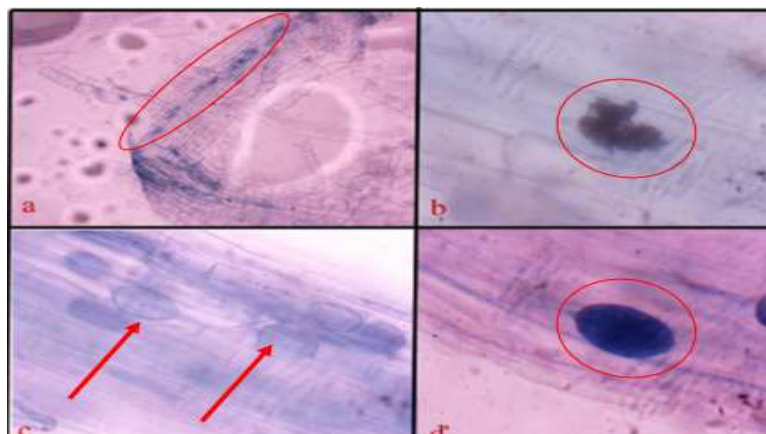


Figure 3. Structures fongiques observées au niveau des racines du maïs (a- arbuscules au grossissement X10, b- arbuscules au grossissement X100, c- vésicules au grossissement X 40, d- vésicule au grossissement X100)

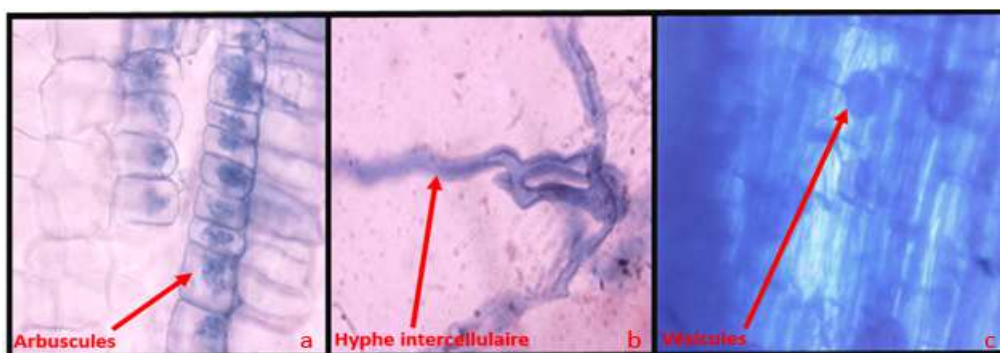
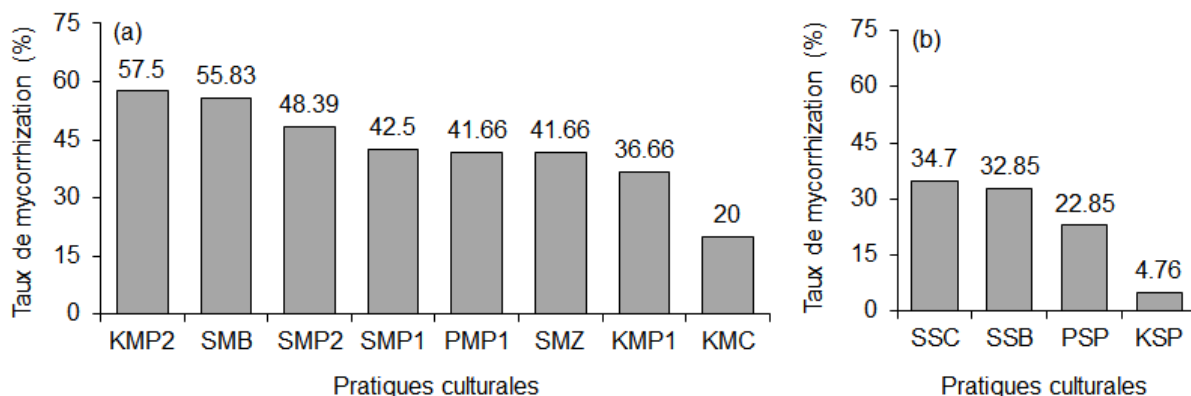


Figure 4. Structures fongiques observées au niveau des racines du soja (a- arbuscules au grossissement X10, b- hyphes intercellulaires, c- vésicule intracellulaire)

**Taux de mycorrhization du maïs et du soja en fonction des pratiques culturales**

La détermination des taux de mycorrhization et leur illustration ont permis de noter une variation d'une pratique culturale à une autre (figure 5).



PtC : Pratique Culturelle ; KMP1 : Kassakou Maïs Placeau 1 ; KMP2 : Kassakou Maïs Placeau 2 ; SMP1 : Sam Maïs Placeau 1 ; SMB : Sinawongourou Maïs Biologique ; SMP2 : Sam Maïs Placeau 2 ; PMP1 : Padé Maïs Placeau 1 ; SMZ : Sinawongourou Maïs Zaï ; PSP : Padé Soja Placeau ; KSP : Kassakou Soja Placeau ; SSB : Sinawongourou Soja Biologique ; KSC : Kassakou Soja Conventionnel.

Figure 5. Taux de mycorrhization des racines de (a) maïs et (b) soja par pratique culturale

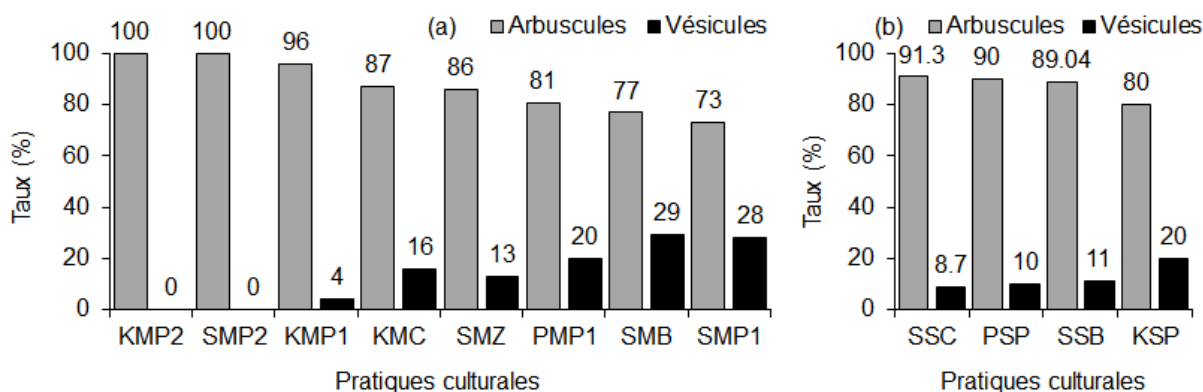
Le taux de mycorrhization a varié de 20 % au niveau de KMC à 57,5% au niveau de KMP2 pour le maïs (figure 5.a) et de 4,76 % au niveau de KSP à 34,7 % au niveau de SSC pour le soja (figure 5.b). Ainsi, les plus forts taux de mycorrhization sont notés au niveau des pratiques GDT notamment KMP2



pour le maïs et KSP pour le soja. Le plus faible taux de mycorrhization a été observé pour le maïs du champ conventionnel (KMC) caractérisé par une utilisation exclusive des engrais chimiques.

### Taux d'arbuscules et de vésicules au sein des champs de maïs et de soja

Les résultats ont révélé la présence des arbuscules dans tous les échantillons collectés de maïs (Figure 6.a). Par contre, les vésicules n'ont pas été observées dans les racines issues des champs SMZ et KMP2. Les arbuscules étaient les structures dominantes de la mycorrhization. Plus le taux d'arbuscules est élevé (100% aux niveaux de SMZ et KMP2), plus le taux de vésicules est faible (0 % aux niveaux de SMZ et KMP2). La présence simultanée des arbuscules et des vésicules a été remarquée dans tous les échantillons considérés. Cependant, les arbuscules ont été plus fréquents, soit environs trois à cinq fois plus que les vésicules, quelle qu'ait été la pratique culturale considérée. Aussi, conformément aux échantillons de maïs, plus le taux d'arbuscule a été élevé, plus le taux de vésicule a été bas (Figure 6.b).



KMP1 : Kassakou Maïs Placeau 1 ; KMP2 : Kassakou Maïs Placeau 2 ; SMP1 : Sam Maïs Placeau 1 ; SMB : Sinawongourou Maïs Biologique ; SMP2 : Sam Maïs Placeau 2 ; PMP1 : Padé Maïs Placeau 1 ; SMZ : Sinawongourou Maïs Zaï ; PSP : Padé Soja Placeau ; KSP : Kassakou Soja Placeau ; SSB : Sinawongourou Soja Biologique ; KSC : Kassakou Soja Conventionnel

Figure 6. Taux d'arbuscules et de vésicules des racines de (a) maïs et (b) soja par pratique culturelle

### Dépendance mycorrhizienne des plants de maïs

Les résultats de la régression Beta ont révélé un effet significatif ( $P < 0,05$ ) de la pratique culturelle sur le taux de mycorrhization (tableau 2).

Tableau 2. Tableau récapitulatif de la régression Beta

Caractéristiques	Coefficients	Erreur types	Valeurs de z	Pr (> z )
Ordonnée à l'origine	-1,3718	0,1954	-7,022	0,000
PtCKMP1	0,8315	0,2553	3,258	0,001
PtCKMP2	1,6839	0,2531	6,652	0,000
PtCPMP1	1,0370	0,2531	4,097	0,000
PtCSMB	1,6023	0,2526	6,344	0,000
PtCSMP1	1,0746	0,2528	4,250	0,000
PtCSMP2	1,3048	0,2519	5,180	0,000
PtCSMZ	1,0250	0,2532	4,048	0,000

PtC : Pratique Culturelle ; KMP1 : Kassakou Maïs Placeau 1 ; KMP2 : Kassakou Maïs Placeau 2 ; SMP1 : Sam Maïs Placeau 1 ; SMB : Sinawongourou Maïs Biologique ; SMP2 : Sam Maïs Placeau 2 ; PMP1 : Padé Maïs Placeau 1 ; SMZ : Sinawongourou Maïs Zaï.

Le coefficient le plus élevé était obtenu au niveau du champ GDT KMP2 (1,68), ce qui signifiait que la plus grande différence de taux de mycorrhization comparé à KMC a été obtenue par ce champ. Aussi, les coefficients de régression des champs GDT (KMP2, KMP1, SMP1, SMP2, PMP1 et SMZ) étaient-ils supérieurs à celui du champ conventionnel (KMC), ce qui traduisait que ces différents champs GDT présentent des taux de mycorrhization plus élevés que celui du témoin (KMC). Excepté le champ

KMP2, les coefficients obtenus au niveau des champs GDT (KMP1, SMP1, SMP2, PMP1, SMZ) (tableau 2) étaient inférieurs à celui du champ biologique (SMB). Par conséquent, seul le champ KMP2 pouvait avoir un taux de mycorrhization supérieur à celui du champ Biologique (SMB). Les résultats du tableau 2 ont été plus clairement mis en exergue par la figure 7.a.

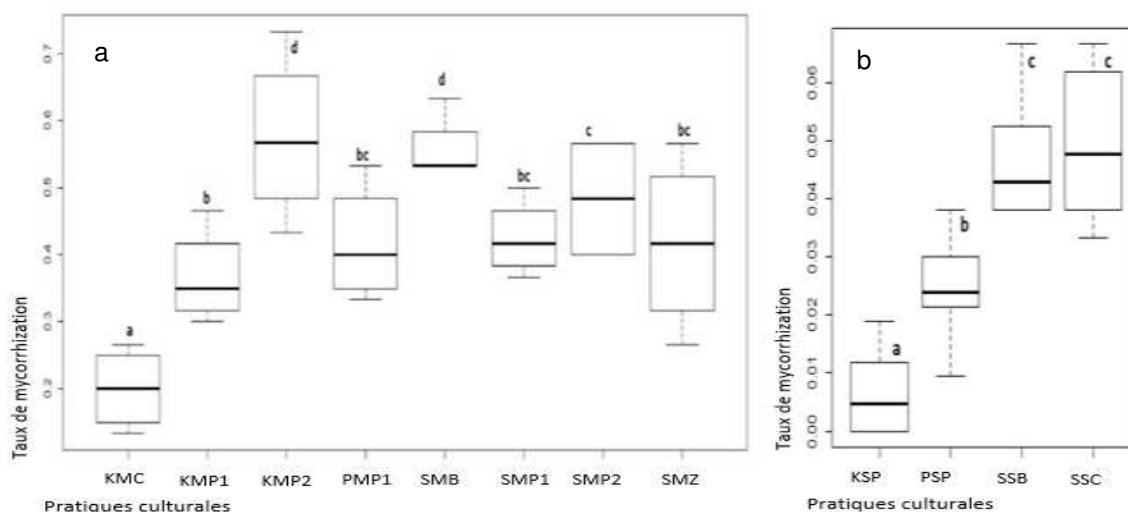
### Dépendance mycorrhizienne du soja

Les différentes pratiques culturales ont été significativement ( $P < 0,05$ ) différentes de celle du champ GDTKSP pris comme référence dans notre modèle de régression bêta (Tableau 3). Le coefficient le plus élevé correspondait au champ GDT SSC tandis que le plus faible correspond au champ GDTKSP. Ce qui signifiait que la mesure SSC (GDT) présentait un taux de mycorrhization plus important que celle de PSP par rapport à la pratique référence qui était KSP (GDT) (tableau 3). La figure 7 a illustré ces différences de taux de mycorrhization plus clairement. Le champ GDT KSP a eu le taux de mycorrhization le plus bas de tous les échantillons étudiés. Les taux de mycorrhization les plus élevés étaient détenus par les champs SSB (champ biologique) et SSC (champ GDT).

Tableau 3. Récapitulatif de de la régression Beta des champs de soja

Caractéristiques	Coefficients	Erreur types	Valeurs de z	Pr ( $> z $ )
Ordonnée à l'origine	-3,8779	0,3961	-9,790	0,000
PCPSP	2,1405	0,4380	4,886	0,000
PCSSB	3,1842	0,4270	7,458	0,000
PCSSC	3,2558	0,4267	7,629	0,000

PtC : Pratique Culturelle PSP : Padé Soja Placeau ; KSP : Kassakou Soja Placeau ; SSB : Sinawongourou Soja Biologique ; KSC : Kassakou Soja Conventionnel



KMP1 : Kassakou Maïs Placeau 1 ; KMP2 : Kassakou Maïs Placeau 2 ; SMP1 : Sam Maïs Placeau 1 ; SMB : Sinawongourou Maïs Biologique ; SMP2 : Sam Maïs Placeau 2 ; PMP1 : Padé Maïs Placeau 1 ; SMZ : Sinawongourou Maïs Zai ; PSP : Padé Soja Placeau ; KSP : Kassakou Soja Placeau ; SSB : Sinawongourou Soja Biologique ; KSC : Kassakou Soja Conventionnel

Figure 7. Boîtes à moustache des taux de mycorrhization des racines de maïs (a) et du soja (b) suivant les différentes mesures/champs GDT

## Discussion

### Dépendance mycorrhizienne du maïs

#### Comparaison des taux de mycorrhization des différents champs GDT au champ conventionnel

Tous les champs GDT (KMP1, KMP2, SMP1, SMP2 ; PMP1 et SMZ) ont des taux de mycorrhization largement supérieurs à celui du champ conventionnel (KMC). Cela peut s'expliquer par le fait que le champ conventionnel est investi dans une politique d'utilisation excessive des intrants chimiques (engrais minéraux riches en phosphore et en azote, pesticides et autres) rendant ainsi difficile les conditions de vie des microorganismes et limitant de ce fait la mycorrhization. En effet, du fait de la

disponibilité immédiate et l'accessibilité aux sels minéraux dans ce champ (KMC), les plantes n'ont plus forcément besoin d'entrer en symbiose pour obtenir les éléments nutritifs nécessaires à leur survie. Par conséquent, la mise à disposition des engrais chimiques au champ est néfaste pour la mise en place de la SAV. Ces résultats sont en conformité avec ceux de Nyaga *et al.* (2014) qui ont prouvé que l'utilisation des intrants chimiques a pour effet de réduire le taux de colonisation des racines de maïs en comparant les taux de mycorrhization d'un champ fertilisé uniquement avec des AMF et un autre fertilisé avec la combinaison AMF + engrais chimiques. Par contre, les mesures GDT entraînent une réduction de la quantité d'engrais chimiquement utilisée en promouvant l'apport d'engrais organique (enfouissement de résidus de récoltes, parcsages de bœufs et apport de déchets organiques), la protection du sol contre les érosions à travers la confection des fascines, de cordons pierreux (érosion hydrique) et de clôture des champs avec les arbres (érosion éolienne). Ces mesures créent ainsi des conditions de vie agréables aux microorganismes du sol et favorisent ainsi la mycorrhization et la prolifération des champignons du sol.

### **Comparaison du taux de mycorrhization des différents champs GDT avec le champ biologique**

La dépendance mycorrhizienne est plus importante au niveau du champ biologique qu'au niveau des champs sous mesures GDT. Cette supériorité peut s'expliquer par le fait que le champ biologique reçoit depuis plusieurs années des déjections de bétails lors des parcsages. Ainsi, cette parcelle regorge d'une quantité importante de matière organique favorable à la vie et au fonctionnement des microorganismes. Par conséquent, c'est un site adéquat pour la mycorrhization. De pareils résultats ont été trouvés par Daï *et al.* (2014) qui ont démontré que l'usage des engrais contenant du phosphate non assimilable au niveau des champs biologiques fait que les plantes ont plus besoin des mycorrhizes pour minéraliser le phosphate et le rendre biodisponible. Pour Gosling *et al.* (2006), les engrais de ferme comme le fumier et le compost qui libèrent plus lentement les éléments nutritifs, lorsqu'ils ne sont pas sur utilisés, permettent de stimuler la communauté des champignons mycorrhiziens arbusculaires et la formation des mycorrhizes.

Par contre les champs GDT utilisant des intrants chimiques, peu importe la quantité, gardent des résidus toxiques qui impactent négativement le potentiel mycorrhizogène des lieux. Parmi toutes les combinaisons GDT investiguées, la pratique la plus conservatrice des mycorrhizes est la combinaison KMP2. Cette combinaison est constituée de labour perpendiculaire, enfouissement de résidus de récoltes de *Mucuna*, association de maïs avec le *Mucuna*, cordons pierreux et les fascines. On pourrait relier ce fort taux de mycorrhization à l'enfouissement de résidus de récolte opéré sur le site. En effet, lorsque les résidus de récoltes sont enfouis dans le sol, le taux de matière organique augmente considérablement, ce qui a pour effet une optimisation de la mycorrhization. Rivaton (2017) a aussi démontré que la matière organique enfouie dans le sol est un facteur favorisant la mycorrhization. Une autre explication pourrait être la présence de cordon pierreux et de fascines qui sont des dispositifs installés dans les champs pour empêcher les eaux d'érosions d'emporter la matière organique du champ. D'autre part, le *Mucuna* est une plante de couverture qui crée des conditions de température et de lumière optimales à la prolifération des champignons du sol et par conséquent de la mycorrhization. En effet, Johnson *et al.* (2010) démontrent clairement que l'exposition du sol à la lumière et la température forte limitent la mycorrhization.

### **Dépendance mycorrhizienne du soja**

Nos résultats révèlent des proportions d'arbuscules supérieures aux proportions des vésicules. Cette différence de proportion est justifiée par le stade phénologique de la plante. En effet, les vésicules sont des organes de stockage et les arbuscules représentent le lieu d'échange entre la plante et le champignon. Tous les plants de soja échantillonnés étaient au stade de floraison, stade auquel la plante a le plus besoin de plus de milieux d'échanges cytoplasmiques pour mobiliser assez de ressources nécessaires pour la floraison et la fructification. Le stade phénologique de la plante détermine la disponibilité des carbohydrates pour la plante (Adriano-Anaya *et al.*, 2006). De ce fait, la SAV s'intensifie et la formation des arbuscules devient indispensable pour maximiser les échanges de nutriments.

### **Comparaison des taux de mycorrhization en fonction des pratiques culturales**

De l'ensemble des régimes GDT investigués chez le soja, un seul a présenté un taux de colonisation mycorrhizienne supérieur à celui du régime biologique (34,7% < 32,85%). Ceci pourrait être expliqué par la monoculture effectuée sur le champ biologique SSB. Ce système cultural principalement basé sur la monoculture répétée sur plusieurs années mène à la sélection d'un nombre réduit d'espèces de champignons mycorrhiziens arbusculaires-CMA- (Burrows et Pflieger, 2002). La densité des spores et

des hyphes des champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) et leur capacité à coloniser les racines sont plus importantes dans des sols abritant des plantes mycorrhizogènes comparées à des sols nus ou avec des plantes non mycorrhiziennes (Jansa *et al.*, 2002). Johnson (1992) argumente que la monoculture ne sélectionne que des espèces peu ou pas avantageuses pour la culture. Cela peut expliquer en partie la chute des niveaux de production agricole (Johnson, 1992). Il est reconnu que les rotations de culture permettent de maintenir une certaine biodiversité des CMA. Cependant, Jefwa *et al.* (2009) ont montré que même si la rotation agricole améliore la diversité des AMF, elle ne favorise pas pour autant le taux de colonisation. Toutefois, les plantes agricoles n'ont pas toute la même dépendance aux mycorrhizes et leur choix pour les rotations influencera le potentiel mycorrhizogène du sol.

Le fort taux de mycorrhization observé au niveau du champ SSC (Soja) serait dû à une alternance de culture effectuée sur cette parcelle chaque année. En effet, la rotation de culture incluant des couverts entre les cultures, améliore le potentiel mycorrhizogène des sols (Mäder *et al.*, 2000). De plus, les rotations des cultures affectent à la fois la diversité et la composition des communautés de spores de CMA dans le sol, avec une plus grande diversité des CMA sous rotations des cultures par rapport à de la monoculture (Jansa *et al.*, 2002).

Dans les régimes GDT, les producteurs utilisaient des engrais NPK même si la quantité est faible comparé au régime conventionnel. Ces engrais ne sont pas sans effet sur les CMA. L'apport de l'engrais augmente l'offre de phosphore assimilable disponible pour les plantes. Lorsque la concentration de phosphore biodisponible est supérieure au besoin de la plante, la dépendance de celle-ci aux mycorrhizes sur le plan nutritionnel est réduite. Jensen et Jakobsen (1980) ont montré en faisant varier de manière conjointe la fertilisation en N et P que la colonisation racinaire ainsi que le nombre de spores de CMA étaient plus élevés pour les sols ayant reçu 0 kg N/ha et 0 kg P/ha par rapport à ceux ayant reçu 75 kg N/ha et 12 kg P/ha. Un apport même modéré de fertilisants phosphatés réduit le nombre de spores de 50 % sur cinq ans (Gosling *et al.*, 2006).

## Conclusion

Les mesures GDT prouvent leur efficacité en matière de protection de la biodiversité fongiques des sols et plus précisément en matière de protection des mycorrhizes arbusculaire et vésiculaire sous culture du maïs et du soja. Cependant, la pratique biologique excluant l'utilisation des intrants chimiques reste la meilleure conservatrice des mycorrhizes arbusculaire et vésiculaire.

## Remerciements

L'étude a été possible grâce à un financement du Projet de Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité alimentaire (ProSOL) de la Coopération Allemande GIZ. L'examen microscopique est rendu possible grâce aux équipements gracieusement offert par la fondation Volkswagen en Allemagne (VW financement n° 90-127) et le Service Allemand des Échanges Académiques (DAAD, PKZ 300499). Les auteurs adressent leur gratitude à tout le staff technique et aux techniciens de ProSOL pour les échanges fructueux depuis la conception de l'étude jusqu'à sa mise en œuvre. Leurs remerciements vont aussi à l'endroit des producteurs qui ont accepté consacrer du temps et de l'énergie pour des échanges sur le terrain.

## Références bibliographiques

- Adriano-Anaya, M., F. Solis-Dominguez, M.E. Gavito-Pardo, M. Salvador-Figueroa, 2006: Agronomical and Environmental Factors Influence Root Colonization, Sporulation and Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi at a Specific Phenological Stage of Banana Trees. *Journal of Agronomy*, 5, 11-15.
- Alabouvette, C., Cordier, C., 2018 : Fertilité biologique des plantes: des microorganismes utiles à la croissance des plantes. *Innovations Agronomiques*, 63, 61-70.
- Arouna, A., P. Y. Adégbola, G. Biao, 2011: Analyse des coûts de stockage et de conservation du maïs au Sud bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 2, 13-23.
- Burrows, R.L., Pflieger, F.L., 2002: Arbuscular mycorrhizal fungicides respond to increasing plant diversity. *Canadian Journal of Botany*, 80, 120-130.
- 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.
- FAO, 2019 : Code de la conduite international sur l'utilisation de la gestion durable des engrais. Rome, 56 p.
- Fortin, J. A., C. Plenchette, Y.Piché, 2008 : Les mycorrhizes : la nouvelle révolution verte. *Edition Quae Editions Multimondes*, 163 p.

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

Ingebly, K., 2007: Assessment of mycorrhizal diversity in soils and roots and nursery inoculation to improve the survival and growth of seeding. *EH26OQB, Midlothian*, KEFRI, 87p.

INRAB, 2016 : Rapport d'études sur les enquêtes de base du Projet « Mise en œuvre mutuellement soutenue du Protocole de Nagoya et de Traité international sur les ressources Phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture ». République du Bénin, 103p.

Jansa, J., A. Mozafar, T. Anken, R. Ruh, I.R. Sanders, E. Frossard, 2002: Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza*, 12, 225-234.

Jefwa, J. M., J. Mung'atu, P. Okhot, E. Muya, H. Roimen, S. Njuguini, 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.

Jensen, A., Jakobsen, I., 1980: The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in barley and wheat grown in some Danish soils with different fertilizer treatments. *Plants and Soil*, 55, 403-414.

Johnson, N.C., P.J. Copeland, R.K. Crookston, F.L. Pflieger, 1992: Mycorrhizae possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Mycorrhiza*, 84, 387-390.

Kpenavoun Chogou, S., C.P. Kpadé, F. Santos, G.A. Mensah, 2018: Efficacité technique et rentabilité économique de la production de soja au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, Numéro spécial Développement Agricole Durable 01-11.

Mäder, P., S. Edenhofer, T. Boller, A. Wiemken, U. Niggli, 2000: Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input ("organic," "biological") and high-input ("conventional") farming systems in a crop rotation. *Biology & Fertility of Soils*, 31, 150-156.

MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche), 2011: Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole (PSRSA). République du Bénin, 115 p.

MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche), 2017: Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissement Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN 2017-2025). République du Bénin, 139 p.

Metohoue, R. Z., 1994 : Les merveilles du soja. MAEP, Bénin, Cotonou, 6 p.

Nyaga, J., J.M. Jefwa, C. Muthuri, S. Okoth, 2014: Influence of soil fertility amendment practices on ex-situ utilisation of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and performance of maize and common bean in Kenyan highlands. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 17, 129-141.

Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970: Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of British Mycological Society*, 55, 158-161.

ProSOL, 2017 : Compendium de fiche technique du formateur. Mesures de gestion durable des terres (GDT) et d'adaptation au changement climatique (ACC). *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, 61 p.

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

Smith, S.E., D.J. Read, 2008: Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed. Academic, San Diego, 800 p.

Spatafora, J.W., M.C. Aime, I.V. Grigoriev, F. Martin, J.E. Stajich, M. Blackwell, 2017: The fungal tree of Life. From Molecular systematic to Genouè-Scale Phylogenies. *Microbiology Spectrum*, 5(5): FUNK-0053-2016. doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0053-2016.