

DIVERSITE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ARBUSCULAIRES DU CAMEROUN

par Ngonkeu M. E. L.^{1,2}, Nwaga D.¹, Adamou S.¹, Fokom R.¹, Tchameni N. S.¹,
Onguene N. A.², Nana W. L.¹, Chaintreuil C.³, The C.², Amougou A.¹, Moulin L.³, Prin Y.³,
Lebrun M.³, Dreyfus B.³

¹ Université de Yaoundé I. B.P 812. Yaoundé. Cameroun.

² Institut de recherche agricole pour le développement. B.P 2067. Yaoundé. Cameroun.

³ IRD. UMR 113 CIRAD/INRA/IRD/AGRO-M/UM2, Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM), Campus international de Baillarguet. Montpellier, France.

1. INTRODUCTION

Les mycorhizes sont des associations symbiotiques qui favorisent la croissance et le développement des plantes. Parmi les symbioses végétales, les mycorhizes à arbuscules sont les plus abondantes et les plus importantes sur les plans écologique et économique (Schüßler *et al.*, 2001). Leurs rôles dans l'amélioration de la production agricole ont été largement démontrés. Environ 80 % des plantes supérieures sont associées aux champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui assurent la stabilité écologique du milieu (Harley et Smith, 1983 ; Strullu, 1991). Ces champignons appartiennent à un groupe monophylétique (Glomeromycètes) constitué de quatre ordres (Archaeosporales, Diversisporales, Paraglomerales, Glomerales) et huit familles (Schüßler *et al.*, 2001). On dénombre aujourd'hui plus de 150 espèces dans ce groupe de champignons (Selosse et Le Tacon, 1998). Leur large distribution géographique se caractérise par une importante variabilité décelable au sein de la biologie de leur population, de la spécificité écologique et de l'activité symbiotique (Giovannetti et Gianinazzi-Pearson, 1994). Ces champignons sont capables d'influencer la biodiversité des espèces végétales (Van der Heijden *et al.*, 1998), de contribuer à la lutte contre les pathogènes et pestes (Newsham *et al.*, 1994), d'améliorer la nutrition des plantes dans les environnements pollués (Hildebrandt *et al.*, 1999) et de stabiliser les agrégats des sols à travers la libération de la glomaline (Wright et Upadhyaya, 1998). Malgré leur importance, ces associations symbiotiques sont non exploitées et presque ignorées des agriculteurs camerounais. Pourtant, elles sont une condition de la fertilité et de la biodisponibilité du phosphore dans le sol. Le but principal de l'utilisation de ces microorganismes est la réduction de l'emploi des fertilisants inorganiques. Cette dernière permettrait en effet de réduire les dépenses jusqu'à 70 % pour les fertilisants phosphatés et de 30 à 40 % pour l'azote, le potassium et les oligo-éléments (Johnson et Menge, 1982). Malheureusement, la plupart des contraintes environnementales et des pratiques culturales non adaptées réduisent leur nombre et leurs activités dans les sols, modifiant ainsi tout le statut mycorhizien du sol (Giovannetti et Gianinazzi-Pearson, 1994). Le Cameroun qui renferme la diversité végétale la plus grande des écosystèmes de la sous-région et des forêts parmi les plus riches du continent abritant plus de 8 000 espèces de plantes, regorge d'un potentiel d'espèces de CMA riche et très diversifié (Ngonkeu, 2003). De nombreuses études confirment l'exploitation massive des ressources naturelles au Cameroun (Onguene, 2000). La politique gouvernementale vise à pérenniser et développer ces zones écologiques. Raison pour laquelle, de 1992 à 2002 et même bien avant, le Cameroun s'est doté d'un ensemble d'instruments juridiques, politiques

et institutionnels qui régulent au mieux la conservation des ressources biologiques. Ainsi, la préservation des CMA est essentielle dans toutes tentatives de leur utilisation dans la conservation de l'environnement (Allen, 1991), dans la biotechnologie (Mulongoy *et al.*, 1992) et en agriculture durable (Bethlenfalvay et Linderman, 1992). Pour atteindre ces objectifs, une approche multidisciplinaire est ainsi nécessaire pour identifier les espèces de CMA, leurs fonctions et caractériser leurs capacités symbiotiques.

2. DIVERSITE MORPHOLOGIQUE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES

Les premières descriptions de la diversité des CMA étaient basées sur les caractères morphologiques des spores (couleur, forme, taille, ornements). Ces critères ont abouti à la classification des CMA en six genres (Morton et Benny, 1990). Ainsi, la majorité des informations sur la diversité des CMA provenaient des régions tempérées. Il y a seulement quelques années que des tentatives d'exploration ont démarré dans les zones tropicales (Gianinazzi-Pearson et Diem, 1982). Les premières données enregistrées en Afrique tropicale ont été obtenues au Nigeria, en Côte d'Ivoire et au Sénégal.

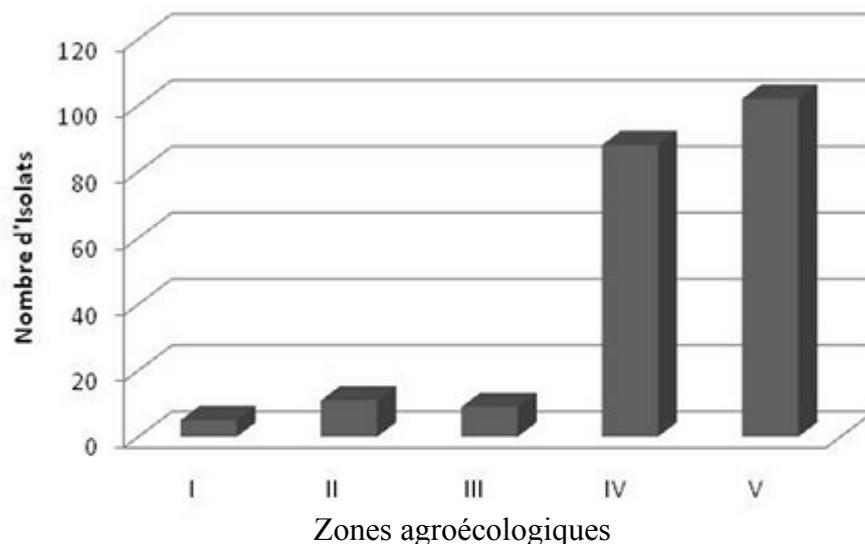
Au Cameroun, les études sur la diversité des CMA ont débuté dans les plantations de *Terminalia* de la forêt secondaire humide décidue de Mbalmayo (Mason *et al.*, 1992). Les caractères morphologique et anatomique ont permis de recenser 17 espèces de CMA avec 14 appartenant aux genres *Acaulospora*, *Glomus* et *Scutellospora* (Il s'agit de : *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus occultum*, *Glomus geosporum*, *Glomus rubiforme*, *Glomus clavisporum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora laevis*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowae*, *Scutellospora pellucida* et *Scutellospora coralloidea*).

La présence d'au moins 17 espèces de CMA décrites indique que la forêt de Mbalmayo est semblable à d'autres écosystèmes naturels des régions tropicales (Sieverding, 1989). Cette richesse spécifique est probablement le reflet de la richesse floristique du couvert végétal – plus de 200 espèces (la plupart associées au CMA) ont été inventoriées dans cette forêt étudiée (Mason *et al.*, 1988). Ces auteurs ont également montré que les pratiques d'agriculture mécanique conduisaient à la réduction du nombre des propagules de 27-55 % dans les sols en fonction du degré de perturbation. Ces résultats ont été confirmés par Musoko *et al.* (1994)

qui ont ensuite montré l'importante représentation du genre *Glomus* dans cette forêt secondaire semi-décidue.

Les structures caractéristiques plus larges des propagules de CMA (couleur, forme et taille des sporocarpes ; couleur, nombre, épaisseur et types d'ornementation des membranes sporales ; structures des hyphes associées ; forme et type d'occlusions), ont permis de décrire un nombre plus important d'espèces de CMA (Ngonkeu et Nwaga, 1998 ; Onguene, 2000 ; Ngonkeu, 2003). Ces espèces appartiennent à cinq genres bien distincts (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*) et proviennent des cinq zones agro-écologiques du Cameroun (fig. 1 et tabl. 1).

Figure 1. Estimation du nombre d'isolats de CMA dans les différentes zones agroécologiques du Cameroun sur la base de 50 échantillons par zone.



I : soudano-sahélienne. II : Hautes savanes guinéennes. III : Hauts plateaux de l'Ouest. IV : Forêt à pluviométrie monomodale. V : Forêt à pluviométrie bimodale

Ces résultats montrent des particularités au niveau des spores entre les isolats appartenant à la même espèce (cas de *Gigaspora margarita*) ou à des espèces différentes (fig. 2). Des différences de structures anatomiques de colonisation racinaire ont été observées chez le maïs

inoculé par différentes espèces de CMA (fig. 3). Les espèces appartenant à la famille de Gigasporaceae ont été distinguées avec précision à l'aide des structures de la membrane des spores et des cellules auxiliaires.

Tableau 1. Espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules identifiés à l'aide des critères morphologiques dans 5 zones agroécologiques du Cameroun (Ngonkeu, 2003).

Genres et espèces	Zones	Plantes hôtes	Nombre d'isolats
<i>Acaulospora appendiculata</i>	IV, V	manioc, tabac, <i>Albizia</i>	3
<i>Acaulospora delicata</i>	V	manioc, tabac, <i>Albizia</i>	2
<i>Acaulospora delatata</i>	V	<i>Leucena</i>	1
<i>Acaulospora rugosa</i>	V	Polyculture	1
<i>Acaulospora spinosa</i>	V	Polyculture	1
<i>Glomus aggregatum</i>	V, IV, II	Polyculture	10
<i>Glomus albidum</i>	V	<i>Crotalaria</i>	4
<i>Glomus claroideum</i>	IV, V	Polyculture	5
<i>Glomus clarum</i>	IV, V	Polyculture	9
<i>Glomus deserticola</i>	V	Manioc	1
<i>Glomus caledonium</i>	V	Maïs	1
<i>Glomus etunicatum</i>	IV, V	<i>Chromoleana</i> , <i>Rinorea</i>	4
<i>Glomus fragilistratum</i>	V	<i>Rinorea</i> , <i>Leucena</i>	3
<i>Glomus geosporum</i>	V, IV	<i>Rinorea</i>	2
<i>Glomus intraradices</i>	IV, V	Polyculture	5
<i>Glomus lamellosum</i>	V, IV	<i>Crotalaria</i> , Igname	2
<i>Glomus macrocarpum</i>	V, IV	Polyculture	3
<i>Glomus monosporum</i>	V	Polyculture	5
<i>Glomus manihotis</i>		Polyculture	
<i>Glomus occultum</i>	IV, V	<i>Chromoleana</i>	4
<i>Glomus pansihalos</i>	V	Tabac	2
<i>Glomus tortuosum</i>	V, IV	Polyculture	4
<i>Glomus tenue</i>	V	Polyculture	1
<i>Glomus versiforme</i>	V	Polyculture	10
<i>Gigaspora gigantea</i>	III	Arachide	1
<i>Gigaspora margarita</i>	II, IV, V	Polyculture	4

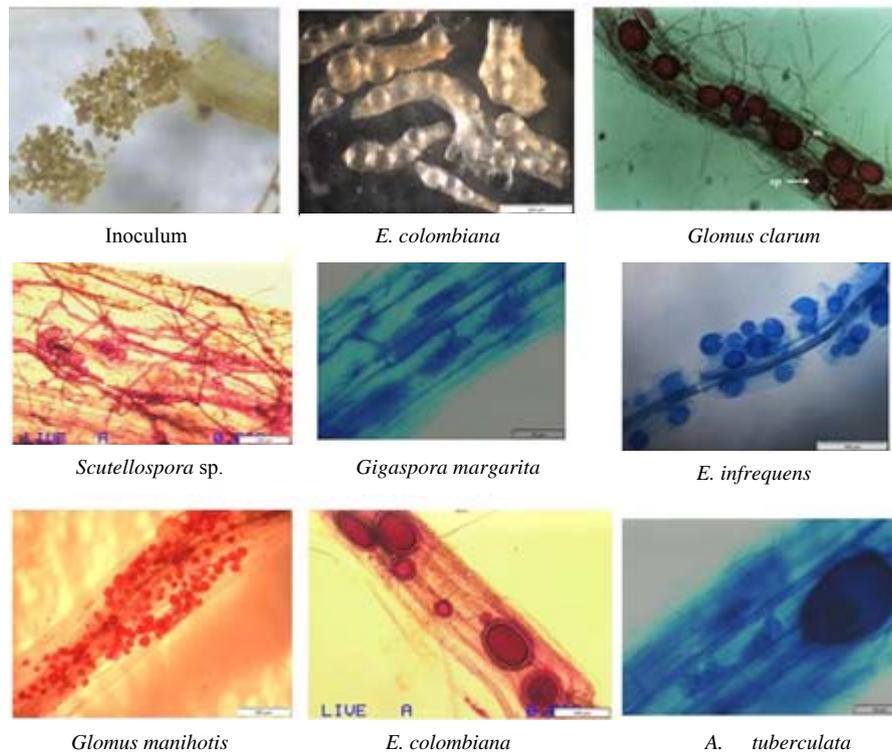
<i>Gigaspora rosea</i>	V	Arbre	4
<i>Gigaspora ramisporophora</i>	V	Polyculture	7
<i>Scutellospora aurigloba</i>	IV	<i>Crotalaria</i>	1
<i>Scutellospora arenicola</i>	IV	Légumineuses	1

Figure 2. Diversité morphologique des CMA des sols du Cameroun.



L'ensemble de ces caractères a contribué à la détermination de 37 espèces de CMA décrites au Cameroun. La majeure partie de ces espèces est localisée en zones de forêts humides (Zone IV et V) (fig. 1). Parmi ces espèces, 73 % appartiennent au genre *Glomus*, 14 % à *Gigaspora*, 4 % à *Scutellospora*, 6 % à *Acaulospora* et 3 % à *Sclerocystis*. Les souches appartenant au genre *Sclerocystis* n'ont pas été identifiées sur le plan morphologique. Les cinq zones agroécologiques du Cameroun montrent une représentation importante du genre *Glomus*. Cependant, à l'exception de quelques structures telles les hyphes associées aux spores, les caractéristiques des membranes sporales, les caractères morphologiques sont peu stables et sont sujets aux interprétations personnelles. Les aspects moléculaires sont fondamentaux pour comprendre véritablement la biodiversité des CMA.

Figure 3. Diversité des structures anatomiques de colonisation des racines par les différentes espèces de CMA.



3. DIVERSITE MOLECULAIRE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES

La caractérisation de la diversité moléculaire des CMA au Cameroun a porté sur l'amplification de la Large Sous-Unité ribosomale (LSU) de l'ADNr des spores et des racines récoltées dans deux sites de la zone agroécologique V (Ngonkeu, 2009). Deux grands groupes phylogénétiques bien distincts appartenant à trois familles différentes (Gigasporaceae, Glomaceae et Acaulosporaceae) ont été obtenus. Cinq espèces principales ont été décrites (*Glomus manihotis*, *Acaulospora spinosa*, *Entrophospora infrequens*, *Gigaspora margarita* et *Scutellospora nigra*). Parmi ces espèces, *Gigaspora margarita* était très représentée dans les sols acides de la Zone V. Ces résultats montrent que certaines souches de CMA présentant des structures morphologiques et anatomiques différentes peuvent appartenir à la même espèce. C'est le cas des genres *Gigaspora* et *Entrophospora* qui ont présenté respectivement 13 et 5 morphotypes différents après évaluation morphologique. Par contre, l'analyse moléculaire de ces morphotypes révèle qu'il s'agit de *Gigaspora margarita* pour le premier cas et de *Entrophospora infrequens* et *Entrophospora colombiana* pour le deuxième.

4. DIVERSITE FONCTIONNELLE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES

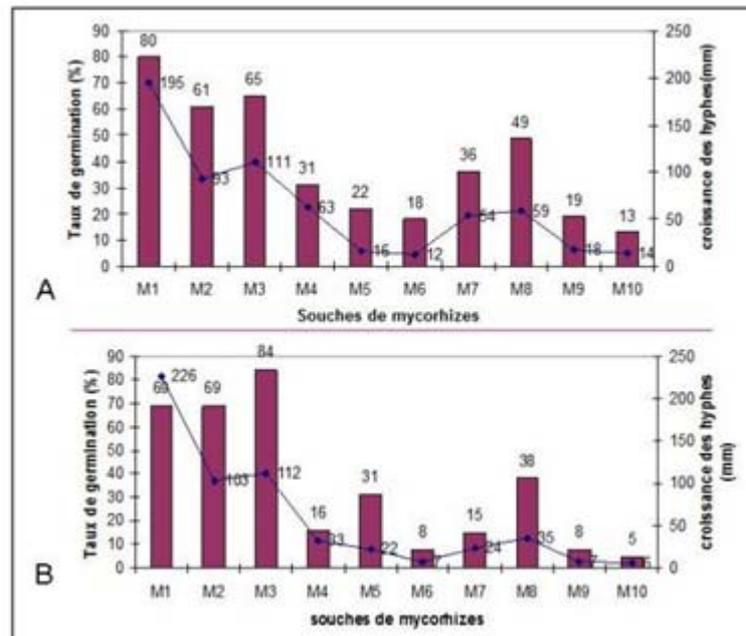
L'activité symbiotique des CMA est variable en fonction de la spécificité fonctionnelle de chaque souche. Ceci nécessite une sélection préalable des souches en fonction des objectifs de recherche visés. Ainsi, une souche peut être spécialisée à une fonction donnée ou être généraliste. Au préalable, il est nécessaire de déterminer le meilleur paramètre mycorhizien (germination, colonisation racinaire, production d'enzymes, les métabolites secondaires) indispensable à la composition d'un bon inoculum.

4.1. DIVERSITE DE LA TOLERANCE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES A AL ET MN

Presque tous les sols des zones forestières du Cameroun sont acides (75 à 95 %) et présentent une toxicité aluminique ou manganique (Ambassa-kiki *et al.*, 2002).

Jusqu'à une certaine époque, le développement des variétés de plantes adaptées aux sols acides ne prenait pas en compte l'apport des CMA dans les programmes de sélection variétale. C'est pourquoi deux expérimentations ont été menées dans le but d'évaluer la contribution des CMA dans la tolérance à l'acidité et la toxicité des variétés de maïs. La première a permis de présélectionner en boîte de Petri les souches tolérantes aux conditions acides à différentes doses de Al et Mn, tandis que la seconde a contribué à 'évaluer les performances des souches présélectionnées sur la croissance, le développement et le degré d'adaptation à la toxicité Al du maïs sur substrat acide en serre. Les souches *Archaeospora* sp. (M1), *Gigaspora margarita* (M2) et *Acaulospora tuberculata* (M3) ont montré les meilleurs taux moyens de germination et de la croissance mycélienne dans le milieu de culture (fig. 4). L'inoculation du mélange de ces trois meilleures souches à deux variétés contrastées de maïs (ATP : variétés tolérantes aux sols acides et CAM : variété sensible) a permis de tirer deux enseignements (fig. 5) : 1) l'apport des CMA permet incontestablement d'améliorer la croissance du maïs sur sol à différentes concentrations en Al même chez la variété tolérante à l'acidité ; 2) les CMA permettent à la variété sensible de tolérer l'acidité à la concentration élevée en Al (400 µm).

Figure 4. Taux moyens de germination des spores de mycorhizes sur gélose à différentes concentrations moyennes en Al et Mn après 10 jours d'incubation à 30°C. (A) : Al (0-50-100-200-400-800 μ M) et B) : Mn (0-50-100-200-400-800 μ M).

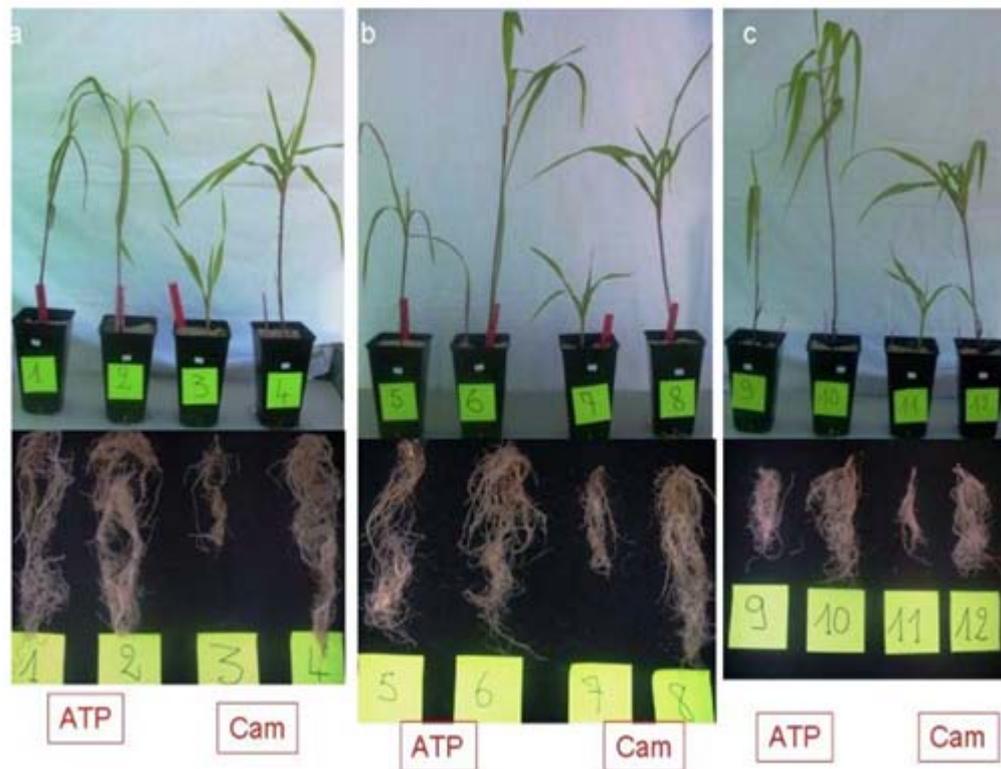


4.2. DIVERSITE DE L'INFECTIVITE DES RACINES DE L'OIGNON PAR CINQ ISOLATS DE CMA

Un essai a été mis en place en serre dans le but de déterminer la meilleure composition d'inoculum pour la production de l'oignon en champ. Le taux de colonisation racinaire a été le paramètre retenu et évalué à différents stades de croissance de la plante (15, 30, 60 et 90 jours après semis en serre) inoculée avec 5 espèces différentes de CMA (*Glomus hoi*, *Glomus intraradices*, *Glomus aggregatum*, *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*). Une variabilité du taux de colonisation a été observé à différents stades de croissance et deux groupes d'espèces se distinguent avec des taux de colonisation significativement différents : le 1^{er} groupe étant constitué de *Glomus clarum*, *Glomus intraradices* et *Glomus aggregatum* avec des taux de colonisation d'environ 70 % (fig. 6). Le 2^e groupe est constitué de *Glomus hoi* et *Gigaspora margarita* avec des taux de colonisation racinaire allant de 42 à 46 %. *In fine*, plusieurs inocula peuvent être produits à partir de ces résultats. Un inoculum est composé de chaque groupe de CMA pris individuellement ou de la combinaison des CMA issus de chaque groupe (Adamou, 2003).

Figure 5. Effet des CMA sur la croissance et le développement racinaire de deux variétés contrastées de maïs (ATP : variété tolérante ; Cam : variété sensible) à différentes doses d'Al (a : 0 μ M, b : 200 μ M, c : 400 μ M) en pépinière sur sol stérilisé.

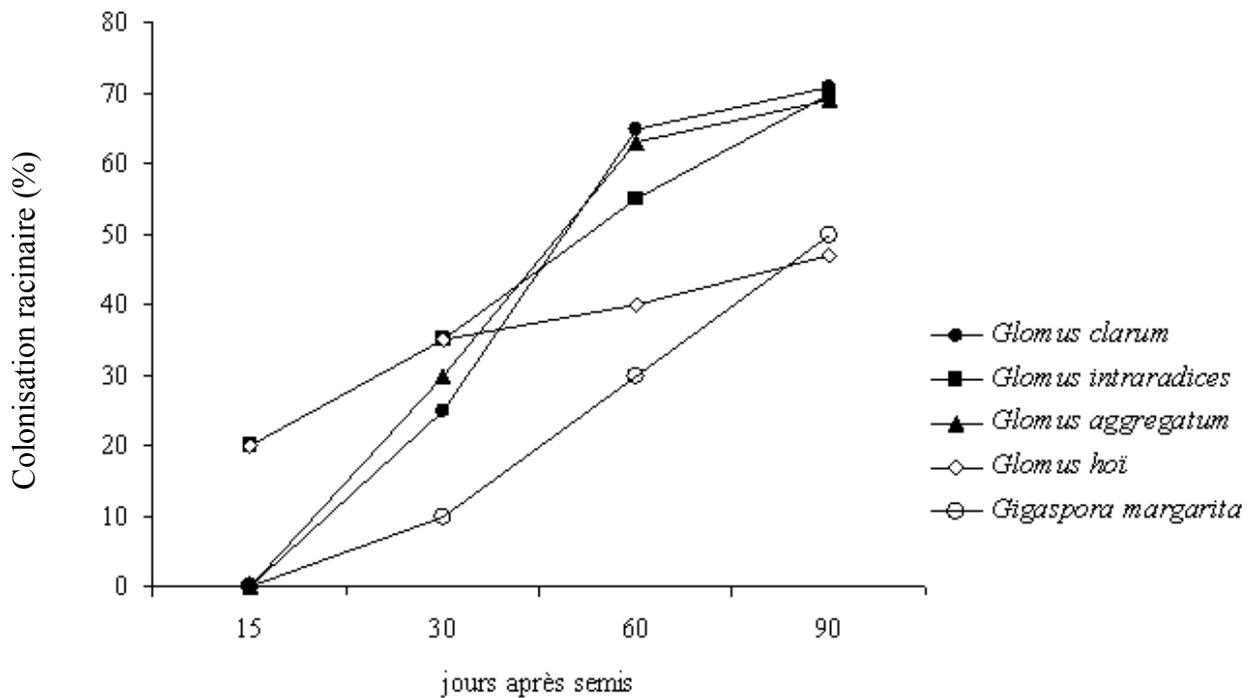
Les pots 1, 3, 5, 7, 9, 11 = plants non mycorhizés et 2, 4, 6, 8, 10, 12 = plants mycorhizés.



4.3. COLONISATIONS RACINAIRES ET PRODUCTION DE GLOMALINE DANS LES SYSTEMES CULTURAUX

Une étude des marqueurs biochimiques du fonctionnement des CMA a été menée dans différents systèmes de cultures (forêt, jachère et champ en zone de forêts humides) en zone de forêt humide du Cameroun. Cette étude visait à évaluer la quantité du carbone dans chaque système et apprécier la stabilité de la structure du sol. La quantité totale de la glomaline (TG) libérée dans le sol par les CMA a été mesurée dans chaque système. Une variation importante de TG a été observée. Cette variation était fonction des systèmes de cultures et proportionnelle au taux de colonisation racinaire des espèces végétales peuplant chaque système. Les données obtenues pourraient permettre de confirmer le choix du taux de colonisation racinaire comme meilleur indicateur de l'activité des mycorhizes dans le sol. Cette hypothèse est vérifiée par la glomaline totale (TG) qui montre une corrélation positive et significative avec le taux de colonisation racinaire (fig. 7) (Fokom, comm. pers.).

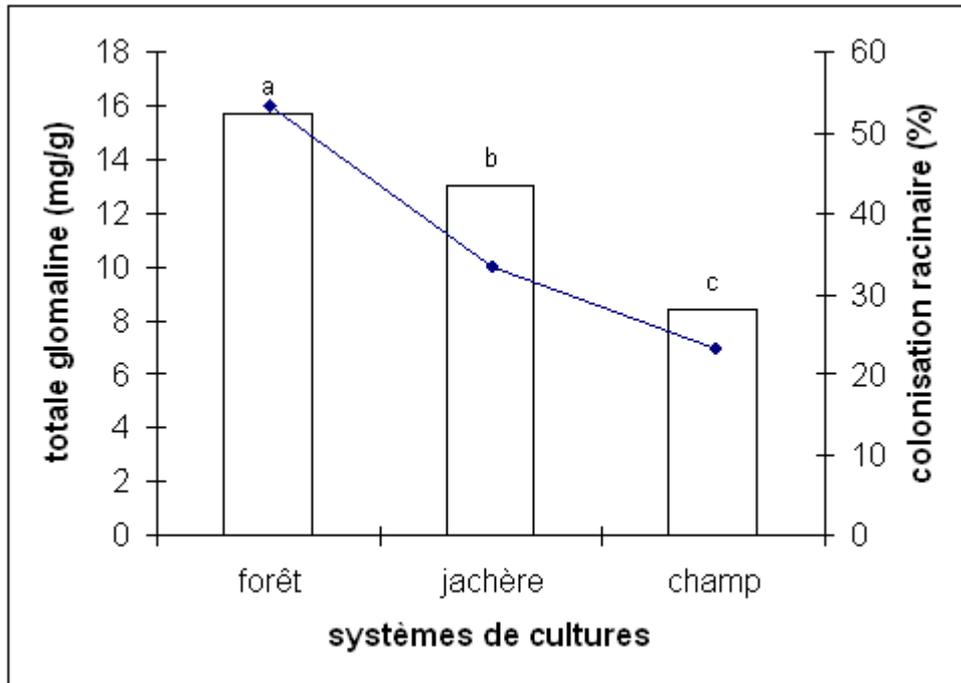
Figure 6. Diversité de l'infectivité des racines de l'oignon par cinq espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires (Adamou, 2003).



5. CONCLUSION

Une partie de la diversité spécifique des CMA a été décrite avec une forte représentation du genre *Glomus*. Une mycothèque riche de plus de 207 isolats constitués est en conservation au Cameroun parmi lesquels 37 ont été identifiés grâce aux critères morphologiques. L'exploitation de moins de 10 % de cette diversité a déjà conduit à la production des inocula spécifiques et multifonctionnels adaptés aux différentes zones agroécologiques. C'est ainsi que depuis une dizaine d'années, 5 souches de biofertilisants ont été produites et exploitées dans un système de lutte intégrée pour la protection des cultures contre les stress biotiques et abiotiques et l'amélioration de la production agricole au Cameroun.

Figure 7. Variations de la teneur en glomaline totale dans trois systèmes d'utilisation de terre (forêt, jachère et champ) de la zone forestière humide du Sud-Cameroun (Fokom, 2011).



6. REFERENCES

- Adamou, S. (2003). Caractérisation de quelques isolats de champignons mycorrhiziens en symbiose avec l'oignon (*Allium cepa* L.). Mémoire de D.E.A., Université de Yaoundé 1
- Allen, M.F. (1991). The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press
- Ambassa-kiki, R., Yemefack, M. & Tchienkoua (2002). Caractéristique biophysique et aptitude à la production végétale, animale et piscicole IRAD Yaoundé 8-48
- Bethlenfalvay, G.J. & Linderman, R.G. (1992). Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. Proceeding of a symposium. ASA N°54. Library of Congress cataloging-in-Publication Data USA
- Fokom, R. (2011). Glomalin related soil protein, Carbon, Nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone in south Cameroun. Unpublish data.
- Gianinazzi-Pearson V. & Diem H.G. (1982). Endomycorrhizae in the tropics. In : "Microbiology of tropical soils and plant productivity", Dommergues Y.R., Diem H.G. (eds), Martinus Nijhoff, Le Havre, 209-251.

- Giovannetti, M. & Gianinazzi-Pearson, V. (1994). Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research*, 98: 705-715
- Harley, J.L. & Smith, S.E. (1983). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press: London, U.K.
- Hildebrandt, U., Kaldorf, M. & Bothe, H. (1999). The zinc violet and its colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*, 154: 709-717.
- Johnson, C.P. & Menge, J.A. (1982). Mycorrhizae may save fertilizer dollars. *American Nurseryman*, 156: 79-81
- Linderman, R.G. (1992). Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. In: Bethlenfalvay, G.J. & Linderman, R.G. (Eds) *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture* pp 45–70. ASA, Inc. Madison, Wisconsin
- Mason, P.A., Leakey, R.R.B., Musoko, M., Ngeh, C.P., Smith, R.I. & Sargent, C. (1988). Endomycorrhizas and Nutrient Cycling in indigenous Hardwood Plantations in Cameroon: Effects of different systems of site preparation. Annual report to UK Overseas development administration, ODA/NERC Contract N°F3 CR26 D407
- Mason, P.A., Musoko, M.O. & Last, F.T. (1992) Short-term changes in vesicular-arbuscular mycorrhizal spore population In Terminalia plantation in Cameroon, In: Read DJ, Lewis DH, Fitter AH, Alexander IJ (Editors), *Mycorrhizas in Ecosystems*. CAB International, UK, pp 261-267
- Morton, B. & Benny, G.L. (1990) Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycètes): New order, Glomales, two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amendment of Glomaceae. *Mycotaxon*, 37:471-491
- Mulongoy, K., Gianinazzi, S., Roger, P.A. & Dommergues, Y. (1992). Biofertilizers : agronomic and environment impact and économics. In *biotechnology : economic and social aspect : issues developing countries*. Cambridge University Press Cambridge U K.
- Musoko, M., Last, F.T. & Mason, P.A. (1994) Population of spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed soils of secondary semi-deciduous moist tropical forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 63: 359-377.
- Newsham, K.K., Fitter, A.H. & Watkinson, A.R. (1994). Root pathogenic and arbuscular mycorrhizal fungi determine fecundity of asymptomatic plants in the field. *Journal of Ecology*, 82: 805-814
- Ngonkeu, M.E.L. (2003) Biodiversité et potentiel des mycorrhizes à arbuscules de certaines zones agro-écologiques du Cameroun. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Yaoundé I Cameroun

- Ngonkeu, M.E.L. (2009). Tolérance de certaines variétés de maïs aux sols à toxicité aluminique et manganique du sud Cameroun et diversités moléculaire et fonctionnelle des mycorhizes à arbuscules. Thèse Ph.D Université de Yaoundé I. Cameroun
- Ngonkeu, M.E.L. & Nwaga, D. (1998). Diversité et potentiel infectieux des mycorhizes à arbuscules de quelques sols du Cameroun et réponse du niébé (*Vigna unguiculata*) à l'inoculation. *Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences*, 8 : 56-67
- Onguene, N.A. (2000). Diversity and dynamics of mycorrhizal associations in Tropical rain forest with different disturbance regimes in south Cameroon. *Tropenbos. Cameroon series 3* Posen en louijen, Wageningen, the Nertherlands 167p
- Schüßler, A., Schwarzott, D. & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota : phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105: 1413-1421
- Selosse, M.A. & Le Tacon, F. (1998). The land flora: a phototroph-fungus partnership. *Tree*, 13: 15-19
- Sieverding, E. (1989). Ecology of VAM fungi in tropical agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29: 369-390
- Sieverding, E. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza Management. In *Tropical Agrosystems*. GTZ n° 224 FRG 281p
- Strullu, D.G. (1991). Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Lavoisier Paris. 3e edit 249p
- Van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A. & Sanders, I.R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396: 72-75.
- Wright, S. & Upadhyaya, F. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198: 97-107

DES CHAMPIGNONS SYMBIOTIQUES CONTRE LA DESERTIFICATION

ECOSYSTEMES MEDITERRANEENS, TROPICAUX ET INSULAIRES

Editeurs scientifiques

ROBIN DUPONNOIS^{1,2,4}, MOHAMED HAFIDI², IBRAHIMA NDOYE^{3,4},
HERINIAIRANA RAMANANKIERANA⁵, AMADOU M. BÂ^{1,4}

¹ IRD. UMR 113 CIRAD/INRA/IRD/AGRO-M/UM2. Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM). Campus international de Baillarguet, Montpellier. France.

² Laboratoire Écologie & Environnement (Unité associée au CNRST, URAC 32). Faculté des sciences Semlalia. Université Cadi Ayyad. Marrakech. Maroc.

³ Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale. Dakar. Sénégal.

⁴ IRD. Laboratoire commun de microbiologie IRD/ISRA/UCAD. Centre de recherche de Bel Air. BP 1386. Dakar. Sénégal.

⁵ Laboratoire de microbiologie de l'environnement. Centre national de recherches sur l'environnement. BP 1739. Antananarivo. Madagascar.

IRD Editions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT

Marseille, 2013