

**DIVERSITE SPECIFIQUE DES CHAMPIGNONS ECTOMYCORHIZIENS DU GENRE
SCLERODERMA DU BURKINA FASO ET APPLICATION A LA MYCORHIZATION
CONTROLEE DE *AFZELIA AFRICANA***

par Sanon B. K.¹, Bâ A. M.², Duponnois R.³

¹ Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Département productions forestières (Inera/DPF). Laboratoire de microbiologie forestière. BP 7047. Ouagadougou 03. Burkina Faso.

² Laboratoire commun de microbiologie (UCAD-IRD-ISRA). BP 1386 Centre de recherche de Bel Air. Dakar. Sénégal.

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

La plupart des arbres forestiers puisent l'eau et les éléments minéraux du sol par l'intermédiaire de champignons telluriques associés à leur système racinaire. Cette association de type symbiotique, appelée mycorhize, contribue à la nutrition minérale et hydrique des plantes et à la protection phytosanitaire des racines. En retour, le champignon reçoit les photosynthétats nécessaires à sa croissance et à son développement.

Deux principaux types d'association mycorhizienne ont été décrits en fonction de leurs caractéristiques morphologiques : les endomycorhizes et les ectomycorhizes. Les endomycorhizes sont les plus répandues et s'associent avec environ 80 % des végétaux terrestres (Fortin *et al.*, 2008), elles se rencontrent essentiellement chez les plantes cultivées et chez la plupart des arbres tropicaux. Quant aux ectomycorhizes, elles sont fréquentes et très répandues dans les forêts et régions boisées des zones tempérées froides et des régions boréales (Alexander, 2006). Néanmoins, une minorité d'arbres tropicaux très importants sur le plan écologique et économique tels que les Dipterocarpaceae, les Fagaceae, des Caesalpinioïdeae et des Myrtaceae forme des ectomycorhizes.

En Afrique tropicale, les études sur la symbiose mycorhizienne et sa prise en compte dans les itinéraires techniques de productions agricoles ou de productions de plants de reboisement restent limitées. Au Burkina Faso, les premières études sur la symbiose mycorhizienne datent des années 1989 avec *Afzelia africana* et *Pisolithus tinctorius* (Sary, 1989). Mais quelques années après, à la faveur de la réhabilitation du laboratoire de microbiologie de l'Inera/DPF (ancien Irbet), des travaux ont été conduits sur les deux types de symbioses. Parmi les études sur la symbiose endomycorhizienne, on peut citer entre autres :

- la diversité des Glomales associées à quelques *Acacia* australiens introduits au Burkina Faso (Bâ *et al.*, 1996a) ;
- l'effet de l'inoculation des souches de champignons endomycorhiziens sur la croissance, la nutrition et la résistance au stress hydrique de quelques espèces fruitières sauvages ou domestiquées de l'Afrique tropicale (*Ziziphus mauritiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Parkia biglobosa*, *Balanites aegyptiaca*, ..) (Guissou *et al.*, 1998 ; Guissou *et al.*, 2001 ; Bâ *et al.*, 2001) ;

–la réponse à l'inoculation du Karité (*Vitellaria paradoxa*) et de *Faidherbia albida* en présence ou non de fertilisants ou de phosphate naturel (Bâ et Guissou, 1996 ; Bâ *et al.*, 1996b ; Dianda *et al.*, 2009).

Le Burkina Faso étant un pays tropical sec avec des pluviométries de 400 mm au nord à 1 100 mm au sud-ouest, les essences à ectomycorhizes sont très peu abondantes et confinées au sud et sud-ouest où on rencontre quelques formations forestières et des reliques de forêts guinéennes le long des cours d'eau. Les premiers travaux sur ce type de symbiose ont identifié les essences à ectomycorhizes et les champignons mycorhiziens putatifs qui leur sont associés (Sanon *et al.*, 1997 ; Sanon, 1999). Ces travaux ont également permis de constituer une collection de culture pure, essentiellement des champignons du genre *Scleroderma*. Ces derniers qui apparaissent comme de bons candidats pour la mycorhization contrôlée compte tenu de leur facilité relative de mise en culture et de leur précocité, ont fait l'objet de quelques études plus approfondies (Sanon *et al.*, 1997 ; Bâ *et al.*, 1999, 2002 ; Sanon *et al.*, 2002 ; Sanon *et al.*, 2009 a, b).

2. LES PARTENAIRES DE LA SYMBIOSE ECTOMYCORHIZIENNE AU BURKINA FASO

2.1. QUELQUES TRAITS DU CLIMAT ET DE LA VEGETATION DU BURKINA

Le Burkina Faso est situé au cœur de l'Afrique occidentale entre les latitudes 9° 20' et 15° 05' et les longitudes 2° 03' et 5° 20'. C'est un pays plat à relief peu accidenté, notamment dans sa moitié Nord et il s'étend sur 274 000 km².

Le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons : une saison sèche et une saison des pluies. La saison sèche varie de 8 à 9 mois au nord à 5-6 mois au sud-ouest. Quant à la saison pluvieuse, elle s'étend de mai à octobre au sud, sud-ouest et de juin-juillet à septembre au nord.

Les précipitations sont irrégulièrement réparties dans l'espace et dans le temps. La pluviométrie moyenne annuelle décroît du sud-ouest (1 100 mm) au nord (moins de 400 mm). Les précipitations sont concentrées pendant l'unique saison des pluies avec un maximum au mois d'août. Depuis la sécheresse des années 1973-1974, les isohyètes initiaux ont perdu entre 100 et 200 mm (Kessler et Geerling, 1994).

En fonction de ces principaux éléments du climat, en particulier la pluviométrie, le pays est subdivisé en trois régions climatiques. La zone soudanienne occupe tout le Sud du pays avec environ 6 mois de pluies et une pluviométrie supérieure à 900 mm ; la zone soudano-sahélienne, située au centre, occupe la moitié du pays avec 4-5 mois de pluies à pluviométrie comprise entre 900 et 600 mm ; la zone sahélienne, au nord avec environ 2-3 mois de pluies et une pluviométrie annuelle de moins de 600 mm.

Du point de vue de la végétation, le pays appartient à la vaste région phytogéographique soudano-zambézienne de l'Afrique qui s'étend du Sénégal à l'ouest à la Namibie au sud en passant par la Somalie (Laclavère, 1993).

La végétation est caractérisée par la prédominance de formations mixtes ligneuses et herbacées à couvert peu fermé (steppes, savanes, forêts claires). Les formations végétales naturelles occupent 60 % du territoire (FAO, 1987). On rencontre au sud des forêts-galeries (1 %) et des forêts claires (1 %), au nord des brousses tigrées (1 %) et la steppe (4 %) et enfin des savanes arborées et arbustives (53 %) dans le reste du pays.

Les essences ectomycorhiziennes sont des espèces de zones plus humides. Leur répartition s'étend dans la zone soudanienne, en particulier le Sud-Ouest du pays, le Sud et l'Est. Cette zone est caractérisée par des pluviométries de 900 à 1 100 mm de nos jours et des savanes boisées, des forêts claires et des galeries forestières constituées d'espèces guinéennes sempervirentes. Dans beaucoup de forêts claires domine l'espèce *Anogeissus leiocarpus* avec d'autres espèces telles que *Pterocarpus erinaceus*, *Burkea africana*, *Azelia africana*, *Albizia chevalieri* et surtout *Isobertinia doka* et *Detarium microcarpum*. La présence de l'espèce *Isobertinia doka* en peuplements monospécifiques ou associée à *Isobertinia dalziellii* caractérise également cette zone.

2.2. LES ESSENCES A ECTOMYCORHIZES ET LEURS SYMBIOTES

Différentes espèces végétales tropicales réputées ectomycorhiziennes ont été signalées dans la littérature. Par rapport à ces données, un inventaire a d'abord été effectué sur le terrain dans la zone soudanienne. Il a permis d'identifier 7 espèces ectomycorhiziennes réparties en 3 familles et 5 genres (tabl. 1).

Tableau 1. Espèces à ectomycorhizes inventoriées au Burkina Faso.

Famille ou sous-famille	Genres	Espèces	Statut symbiotique ^a
Caesalpiniodeae	<i>Afzelia</i>	<i>africana</i>	ECM
	<i>Berlinia</i>	<i>grandiflora</i>	ECM
	<i>Isoberlinia</i>	<i>doka</i>	ECM
	<i>Isoberlinia</i>	<i>dalziellii</i>	ECM
Dipterocarpaceae	<i>Monotes</i>	<i>kerstingii</i>	ECM & MA
Phyllanthaceae	<i>Uapaca</i>	<i>guineensis</i>	ECM & MA
	<i>Uapaca</i>	<i>somon</i>	ECM & MA

Sanon *et al.* (1997). ^a ECM : Ectomycorhizienne ; MA : Endomycorhizienne à arbuscules. Cette liste n'est certainement pas exhaustive.

L'évaluation du statut mycorhizien de ces espèces a été effectuée sur des racines de jeunes plants, d'arbres adultes et de régénération naturelle. Des endomycorhizes à arbuscules n'ont pas été observées sur des racines de *Isoberlinia* spp. Certains travaux ont signalé la présence de mycorhizes à arbuscules au niveau de *A. africana* (Thoen et Ducouso, 1989) ; cependant nous n'avons pas trouvé ce type de symbiose sur les différents échantillons analysés. Pour *B. grandiflora*, la présence ou non d'endomycorhizes n'a pas été évaluée.

Des sites renfermant ces essences à ectomycorhizes ont été identifiés essentiellement au Sud-ouest du pays et dans une moindre mesure au sud et à l'est. Ces sites peuvent être regroupés comme suit (tabl. 2).

Les sites à *U. guineensis* et *B. grandiflora*, et le site à *A. africana* du Sud-Ouest sont situés dans des galeries forestières. Hormis le site à *Isoberlinia* spp et *M. kerstingii* du Sud-Ouest qui a été identifié en 2000 et prospecté, tous les autres sites ont été prospectés en 1994, 1995, 2000, 2005 et 2006.

Tableau 2. Les sites prospectés avec les plantes hôtes dominantes.

Régions	Nombre de sites	Plantes hôtes dominantes
Sud-Ouest	3	<i>U. guineensis</i> et <i>B. grandiflora</i>
	2	<i>Isoberlinia</i> spp
	1	<i>A. africana</i>
	1	<i>I. dalziellii</i> et <i>M. Kerstingii</i>
	1	<i>Isoberlinia</i> spp et <i>M. kerstingii</i>
	1	<i>M. kerstingii</i>
	1	<i>U. somon</i> et <i>Isoberlinia</i> spp
Sud	2	<i>I. doka</i>
	1	<i>A. africana</i>
	1	<i>I. doka</i> et <i>A. africana</i>
Est	2	<i>I. doka</i>
	1	<i>A. africana</i>
	1	<i>I. doka</i> et <i>A. africana</i>

Les sites du Sud et de l'Est ont été prospectés en 2000 et les champignons recherchés et fréquents étaient essentiellement des Sclérodermes.

Excepté les sites des galeries forestières, les autres espèces sont rencontrées dans les forêts claires et les savanes.

Les missions de prospections ont été effectuées en saison pluvieuse, période de fructification des champignons, en particulier en juin, juillet et août. Au cours de ces prospections, tous les champignons réputés mycorhiziens et fructifiant à proximité de ces essences sont récoltés. Ils sont soigneusement nettoyés et photographiés, puis décrits morphologiquement avec des détails du chapeau, stipe et couleur après coupe, ... Ils sont transportés au laboratoire pour isolement en culture pure et/ou séchés à l'étuve ventilée à 50 °C et conservés en herbier au laboratoire de microbiologie de l'Inera/DPF.

Les différentes prospections ont permis de récolter des champignons appartenant à 8 ordres et 18 genres toutes plantes hôtes confondues (tabl. 3). Les genres les plus représentés sont les *Russula*, *Boletellus*, *Leccinum*, *Amanita* et *Scleroderma*. Des tentatives d'isolement en culture pure à partir des différents carpophores récoltés ont permis d'isoler essentiellement les espèces du genre *Scleroderma* (Sanon *et al.*, 1997 ; Sanon, 1999). Le statut mycorhizien de ces isolats a été confirmé *in vitro* vis-à-vis de certaines plantes hôtes.

Tableau 3. Les genres de champignons ectomycorhiziens (identifiés par leur morphologie) des formations forestières du Burkina Faso.

Ordres	Genres	Nombre d'espèces
Aphylophorales	<i>Coltricia</i>	(1)
Agaricales	<i>Amanita</i>	(8)
	<i>Amanitopsis</i>	(3)
	<i>Inocybe</i>	(2)
Boletales	<i>Boletus</i>	(3)
	<i>Boletellus</i>	(9)
	<i>Chalciporus</i>	(3)
	<i>Leccinum</i>	(8)
	<i>Phylloporus</i>	(1)
	<i>Strobilomyces</i>	(2)
	<i>Tuboseata</i>	(1)
	<i>Xerocomus</i>	(4)
Cantharellales	<i>Cantharellus</i>	(3)
Gautieriales	<i>Austrogautiera</i>	(1)
Hymenogastreales	<i>Sclerogaster</i>	(1)

Russulales	<i>Lactarius</i>	(4)
	<i>Russula</i>	(18)
Sclerodermatales	<i>Scleroderma</i>	(6)

Sanon *et al.* (1997), Sanon (1999), Sanon (2007), Ducouso (comm. personnelle).

Une analyse de la diversité génétique des différentes espèces de *Scleroderma* et des essais de mycorhization contrôlée en pépinière ont ensuite été conduits.

2.3. LE GENRE *SCLERODERMA*

Le genre *Scleroderma* est un gastéromycète de la famille des Sclerodermataceae. C'est un genre très répandu en zone tropicale et tempérée et un symbionte de beaucoup de familles de plantes tropicales et tempérées de grande importance économique telles que Pinaceae, Myrtaceae, Fagaceae, Dipterocarpaceae et la sous-famille Caesalpinioideae (Munyanziza et Kuyper, 1995 ; Sims *et al.*, 1997).

En fonction des caractéristiques morphologiques des carpophores, des spores et du mycélium en culture, plus de 25 espèces ont été décrites (Sims *et al.*, 1995 ; Sims *et al.*, 1997 ; Guzman *et al.*, 2004). Néanmoins, certaines espèces restent indéterminées en particulier en Afrique tropicale et en Asie (Sanon *et al.*, 1997 ; David et David, 1998 ; Sims *et al.*, 1999). Une clé révisée de détermination des espèces du genre *Scleroderma* a été élaborée par Sims *et al.* (1995). Cette clé est basée essentiellement sur les caractéristiques des spores et du péridium. Ainsi, les *Scleroderma* appartiennent à trois morphotypes ou sections en fonction de la morphologie de leurs spores : la section *Aculeatispora* avec des spores épineuses ou verruqueuses ; la section *Sclerangium* à spores sub-réticulaires et la section *Scleroderma* avec des spores totalement couvertes de réticulum.

2.3.1. DIVERSITE MORPHOLOGIQUE

Au cours de nos prospections dans les formations forestières renfermant les essences à ectomycorhizes au sud-ouest, sud et est du Burkina, les Sclérodermes ont été les plus fréquemment rencontrés. Ils fructifient abondamment surtout en début de saison pluvieuse

(juin-début juillet) et sont presque absents lorsque les pluies sont bien installées et abondantes.

Les carpophores récoltés de 1994 à 1997 et en 2000 ont été décrits morphologiquement. Ils sont tous sphériques ou subsphériques et contractés à la base pour former ou non une structure en forme de tige (fig. 1). La face externe du péridium peut être aréolée, lisse, ou en forme d'écaille. La couleur et l'ornementation des péridiums et spores ont permis d'identifier 6 espèces morphologiques appartenant aux sections *Aculeatispora* et *Scleroderma* et un nouveau groupe non encore décrit dans la littérature (tabl. 4 ; fig. 2).

2.3.2. MISE EN CULTURE

Une partie des carpophores fraîchement récoltés est utilisée pour les isolements en culture. Les isolements de mycélium végétatif sont effectués sur des carpophores fermes selon la technique décrite par Bâ (1990). Sur une paillasse ou une table désinfectée à l'alcool et à proximité d'une flamme, les carpophores sont débarrassés des particules de sol avec un pinceau et du coton imbibé d'alcool (96 %) puis fractionnés en deux. À l'aide d'un scalpel flambé, des fragments de carpophores sont prélevés dans la partie interne du péridium et déposés sur milieu gélosé MNM (CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$, 0,05 g ; NaCl , 0,025 g ; KH_2PO_4 , 0,5 g ; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 0,25 g ; MgSO_4 , $7\text{H}_2\text{O}$, 0,15 g ; FeCl_3 (1 %), 1,2 ml ; Thiamine HCl (50 mg/500 ml), 1 ml ; Extrait de Malt, 3 g ; Glucose, 10 g ; H_2O distillée, qsp 1 l ; pH 5,5 ; Agar, 15 g) (Marx, 1969) en boîtes de Petri, puis incubés à 30 °C dans une étuve. Des repiquages successifs sur milieu MNM gélosé contenant de l'antibiotique (streptomycine à 300 ppm dans MNM) ont permis d'éliminer les contaminants bactériens et d'obtenir des cultures pures de mycéliums ectomycorhiziens dicaryotiques. Ces cultures sont maintenues par repiquage sur le milieu MNM gélosé une fois par mois.

Figure 1. Carpophores de *S. verrucosum*

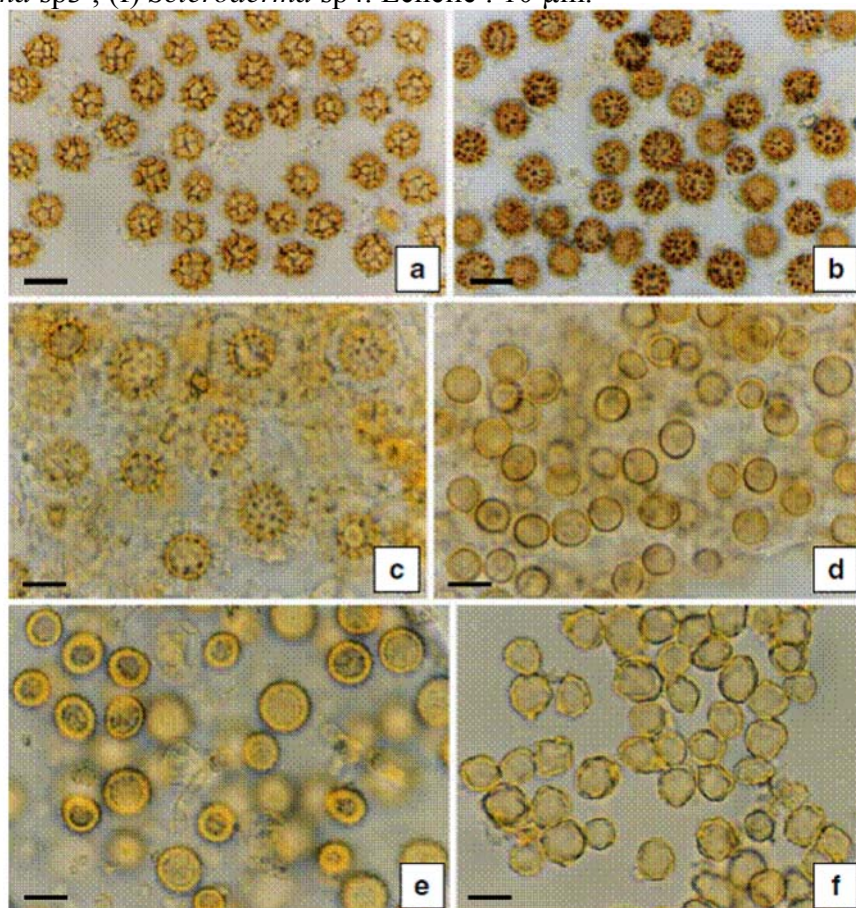


Tableau 4. Description des carpophores et basidiospores des espèces de *Scleroderma*.

Espèces	Couleur des carpophores	Diamètres des spores (µm)	Ornementation des spores	Sections
<i>Scleroderma dictyosporum</i>	Brun-noir	7-9	réticulé	<i>Scleroderma</i>
<i>Scleroderma verrucosum</i>	Brun	5-9	verruqueux, 1-2 µm	<i>Aculeatispora</i>
<i>Scleroderma</i> sp1	Brun-rosâtre	9-13	épineux, 2-3 µm	<i>Aculeatispora</i>
<i>Scleroderma</i> sp2	Brun	5-7	-	Nouveau
<i>Scleroderma</i> sp3	Brun	5-10	Très petites épines	<i>Aculeatispora</i>
<i>Scleroderma</i> sp4	Jaunâtre	7-9	-	Nouveau

Sanon *et al.* (2009a).

Figure 2. Basidiospores de *Scleroderma* spp. Observées au microscope photonique (G.100x). (a) *S. dictyosporum* ; (b) *S. verrucosum* ; (c) *Scleroderma* sp1 ; (d) *Scleroderma* sp2 ; (e) *Scleroderma* sp3 ; (f) *Scleroderma* sp4. Échelle : 10 µm.



Les isollements ont permis de mettre en culture une vingtaine d'isolats dont au moins un isolat par espèce morphologique ou morphotype. La liste des isolats disponibles et des carpophores en collection est présentée dans le tableau 5. Le mycélium est de couleur blanche à beige.

Tableau 5. Liste de la collection de carpophores et de cultures des espèces de *Scleroderma* avec les années de récoltes, les plantes hôtes et les origines géographiques. « IR » se réfère aux cultures et « SD, SV, SP1, SP2, SP3 ou SP4 » se réfèrent aux carpophores.

Espèces/Références	Période de récolte	Plantes hôtes	Origines/Provinces
<i>Scleroderma dictyosporum</i>			
IR109			
IR215	1994	<i>A. africana</i>	S-O (Houet)
IR250	1994	<i>I. doka, I. dalziellii</i>	S-O (Houet)
IR412	1996	<i>I. doka</i>	S-O (Comoé)
IR602	1996	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
SD-2871	1996	<i>M. kerstingii, I. dalziellii I. doka,</i>	S-O (Comoé)
SD-3601	1997	<i>I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
SD-2872	1997	<i>U. guineensis</i>	S-O (Comoé)
SD-6871	1997	<i>I. doka</i>	S-O (Houet)
SD-4901	1997	<i>M. kerstingii, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
	2000	<i>U. somon</i>	S-O (Comoé)
<i>Scleroderma verrucosum</i>			
IR256			
IR500	1996	<i>I. doka, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
IR600	1994	<i>U. somon</i>	S-O (Comoé)
IR114	1996	<i>M. kerstingii, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
IR110	2000	<i>A. africana</i>	S (Nahouri)
IR118	2000	<i>A. africana</i>	S (Nahouri)

IR261	2000	<i>A. africana</i>	S (Nahouri)
SV-3871	2000	<i>I. doka</i>	S (Nahouri)
SV-5871	1997	<i>U. guineensis</i>	S-O (Comoé)
SV-2871	1997	<i>I. doka</i>	S-O (Comoé)
SV-5872	1997	<i>I. doka, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
SV-2873	1997	<i>I. doka</i>	S-O (Houet)
SV-1801	1997	<i>M. kerstingii, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
SV-2802	2000	<i>A. africana</i>	S (Nahouri)
SV-1803	2000	<i>I. doka</i>	S (Nahouri)
SV-1804	2000	<i>A. africana</i>	S (Nahouri)
SV-1902	2000	<i>A. africana</i>	E (Tapoa)
SV-2811	2000	<i>A. africana</i>	E (Tapoa)
SV-5602	2000	<i>I. doka</i>	S (Nahouri)
	2000	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
<hr/>			
<i>Scleroderma</i> sp1			
IR406	1994	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
IR409	1995	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
IR410	1996	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
SP1-4871	1997	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
<hr/>			
<i>Scleroderma</i> sp2			
IR100	1994	<i>A. africana</i>	S-O (Houet)
IR510	1996	<i>U. somon</i>	S-O (Comoé)
IR134	2000	<i>A. africana</i>	S-O (Houet)
IR263	2000	<i>I. doka, I. dalziellii</i>	S-O (Comoé)
SP2-1802	2000	<i>A. africana, I. doka</i>	S (Nahouri)
SP2-2801	2000	<i>I. doka</i>	S (Nahouri)
SP2-1806	2000	<i>A. africana, I. doka</i>	E (Tapoa)
SP2-2803	2000	<i>I. doka</i>	S (Sissili)
SP2-2901	2000	<i>I. doka</i>	E (Tapoa)
SP2-4902	2000	<i>U. somon</i>	S-O (Comoé)
SP2-2902	2000	<i>I. doka</i>	S-O (Comoé)
SP2-7901	2000	<i>I. doka, I. dalziellii, A. africana,</i>	S-O (Comoé)

<i>U. somon, M. kerstingii</i>			
SP2-3901	2000	<i>M. kerstingii</i>	S-O (Comoé)
SP2-1901	2000	<i>A. africana</i>	E (Tapoa)
SP2-5601	2000	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
<i>Scleroderma</i> sp3			
IR252	1996	<i>U. somon</i>	S-O (Comoé)
<i>Scleroderma</i> sp4			
IR408	1995	<i>U. guineensis</i>	S-O (Houet)
IR265	2000	<i>I. doka</i>	S-O (Houet)
SP3-2903	2000	<i>I. doka</i>	S-O (Houet)

Sanon *et al.* (2009a). S-O = Sud-Ouest ; S = Sud ; E = Est.

2.3.3. STATUT SYMBIOTIQUE DES ISOLATS

Les différents isolats en culture ont été ensuite testés pour confirmer leur statut mycorhizien vis-à-vis de quelques plantes hôtes. Les premiers isolats obtenus ont été testés sur *A. africana*, *A. quanzensis*, *I. doka*, *I. dalziellii* et *Brachystegia specififormis* (tabl. 6). La synthèse a été réalisée suivant la méthode décrite par Sanon *et al.* (1997, 2002). Elle s'effectue en conditions semi-axéniques dans des minirhizotrons qui sont des parallélépipèdes plats transparents en polystyrène (20 x 8 x 2,5 cm) ouvrables sur une face (Riedacker, 1974). Ils sont inclinés en expérimentation de 30° à 45 °C du côté de la face ouvrable permettant l'étude du système racinaire.

Les mycorhizes obtenues ont fait l'objet de coupe et observation au microscope photonique. La présence du manteau et du réseau de Hartig permet de confirmer le statut mycorhizien de ces isolats de *Scleroderma* vis-à-vis des plantes hôtes testées (Sanon *et al.*, 1997 ; Sanon *et al.*, 2002).

2.3.4. DIVERSITE GENETIQUE DES *SCLERODERMA* RECOLTES AU BURKINA FASO

Des différences inter- et intraspécifiques dans la capacité mycorhizogène ou la stimulation de croissance des plantes hôtes ont été mises en évidence chez les champignons ectomycorhiziens au cours de différents travaux réalisés au laboratoire, en pépinière et au champ (Malajczuk *et al.*, 1990 ; Lei *et al.*, 1990 ; Le Tacon *et al.*, 1992 ; Thomson *et al.*,

1994 ; Bâ *et al.*, 1999, 2002 ; Diédhiou *et al.*, 2005). Afin de vérifier si le gain de croissance des plantes hôtes résulte des symbiotes inoculés, il est indispensable d'apprécier la persistance de ceux-ci. En absence de fructification, l'étude de la persistance du mycosymbionte implique qu'il soit possible de l'identifier à partir des mycorhizes formées *in situ*. Pourtant, l'identification des champignons ectomycorhiziens sur les racines est assez délicate, ceci étant dû à des caractéristiques morphologiques et structurales peu variables (Agerer, 1987 ; Gardes *et al.*, 1991 ; Sanon, 1999 ; Sanon *et al.*, 2002). Pour remédier à ces difficultés, les techniques de biologie moléculaire sont de plus en plus utilisées pour permettre l'identification de champignons ectomycorhiziens à partir de carpophores, de mycélium en culture et de mycorhizes.

Tableau 6. Infectivité de certains isolats fongiques vis-à-vis de *A. africana* (*A. a.*), *A. quanzensis* (*A. q.*), *I. doka* (*I. do.*), *I. dalziellii* (*I. da.*) et *Brachystegia speciformis* (*B. s.*).

Isolats/espèces	Plantes hôtes d'origine	Plantes testées				
		<i>A. a.</i>	<i>A. q.</i>	<i>I. do.</i>	<i>I. da.</i>	<i>B. s.</i>
IR109 <i>S. dictyosporum</i>	<i>A. africana</i>	+	+	+	+	+
IR406 <i>Scleroderma</i> sp1	<i>U. guineensis</i>	+	+	+	+	+
IR408 <i>Scleroderma</i> sp2	<i>U. guineensis</i>	+	+	+	+	+
IR500 <i>S. verrucosum</i>	<i>U. somon</i>	+	+	+	+	+
ORS 7731 <i>S. dictyosporum</i> *	<i>A. africana</i>	+	+	+	+	+

Sanon *et al.* (1997). (+) = présence du manteau et du réseau de Hartig, (*) Isolat provenant du Sénégal.

Aussi, bien que les caractéristiques morphologiques permettent l'identification d'un nombre assez important d'espèces du genre *Scleroderma*, les outils moléculaires offrent plus de précisions dans l'identification des champignons ectomycorhiziens (Hansen *et al.*, 2002 ; Rivière *et al.*, 2007 ; Tedersoo *et al.*, 2007).

Différentes études ont montré que l'amplification génique *in vitro* (PCR) suivie de l'étude du Polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP), le séquençage de l'espace interne transcrit (ITS) et de l'espace intergénique (IGS) sont parmi les outils les plus

importants d'analyse de la variabilité inter et intraspécifique des symbiontes fongiques (Liang *et al.*, 2004 ; Matsushita *et al.*, 2005 ; Ruiz-Diez *et al.*, 2006 ; Sica *et al.*, 2007). Les espaces de l'ADN ribosomal (ITS et IGS) sont connus pour être variables au niveau inter et intraspécifiques et utilisés comme marqueurs pour différencier plusieurs espèces ou isolats de champignons ectomycorhiziens (Karen *et al.*, 1997 ; Peter *et al.*, 2001 ; Horton, 2002 ; Gomes *et al.*, 2002).

Pour évaluer la diversité inter et intraspécifique des Sclérodermes récoltés au Burkina Faso, les régions ITS et IGS1 ont été amplifiées et digérées par deux enzymes de restriction *HinfI* et *MboI*. Des isolats et des carpophores indiqués dans le tableau 5 ont fait l'objet de cette étude. L'ADN a été extrait des isolats et des carpophores suivant les méthodes décrites par Grube *et al.* (1995) et Martin *et al.* (1997) ou le kit DNeasy suivant les instructions du fabricant. L'utilisation de l'une ou l'autre méthode est fonction du rendement de l'extraction d'ADN. Les amorces universelles ITS1/ITS4 et CNL12/5SA sont utilisées respectivement pour l'ITS et l'IGS1. Les conditions d'amplification, de digestion et d'électrophorèse sont décrites par Sanon *et al.* (2009a).

Parmi les six espèces morphologiques identifiées ci-dessus (tabl. 4 et 5), l'analyse du polymorphisme de longueur des fragments de restriction montre que chaque région, digérée par les deux enzymes de restriction, révèle 8 ribotypes communs notés, A, B, C, D, E, F, G et H avec 1 à 3 ribotypes au sein de chaque espèce morphologique (tabl. 7). Les figures 3 et 4 (Sanon *et al.*, 2009a) représentent la région ITS digérée par *MboI* et *HinfI* respectivement. Deux ribotypes ont été identifiés au sein du morphotype *S. dictyosporum* (A, B), trois pour *S. verrucosum* (C, D, E), un pour *Scleroderma* sp1 (F) et deux pour *Scleroderma* sp2 (G, H). Certains ribotypes sont plus représentés que d'autres, cas du ribotype A de *S. dictyosporum*, C de *S. verrucosum* et H de *Scleroderma* sp2. Cependant, aucune corrélation n'est établie entre l'origine (plante hôte) des espèces et les ribotypes observés. Les profils RFLP de *Scleroderma* sp3 et *Scleroderma* sp4 sont identiques à ceux du ribotype D de *S. verrucosum* et A de *S. dictyosporum* respectivement. Ceci suggère que ces deux espèces sont plutôt des morphotypes de *S. verrucosum* et *S. dictyosporum*.

Les six espèces morphologiques identifiées doivent être regroupées en 4 espèces à l'issue de cette analyse : *S. dictyosporum*, *S. verrucosum*, *Scleroderma* sp1 et *Scleroderma* sp2.

Figure 3. Gel agarose de l'ITS digéré par *Mbo*I. (M) Marqueur 100 pb ladder. Bandes (1) et (2) *Scleroderma dictyosporum* ; bandes (3), (4) et (5) *Scleroderma verrucosum* ; bande (6) *Scleroderma* sp1 et bandes (7) et (8) *Scleroderma* sp2.

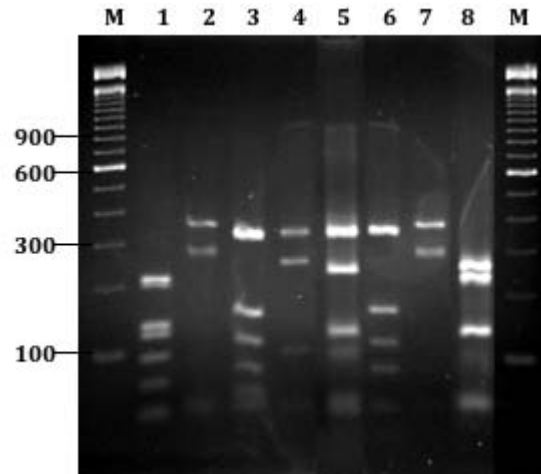


Figure 4. Gel agarose de l'ITS digéré par *Hinf*I. (M) Marqueur 100 pb ladder. Bandes (1) et (2) *Scleroderma dictyosporum* ; bandes (3), (4) et (5) *Scleroderma verrucosum* ; bande (6) *Sclerodermasp*1 et bandes (7) et (8) *Scleroderma* sp2.

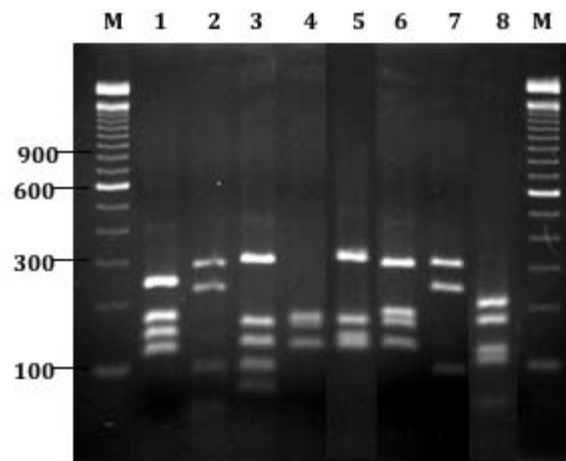


Tableau 7. Taille des fragments de restriction (en paires de bases) des régions ITS et IGS1 digérées par les enzymes de restriction *MboI* et *HinfI*. Les carpophores sont notés « SD, SV, SP1, SP2, SP3 ou SP4 » et les isolats « IR ». La liste des échantillons analysés figure dans le tableau 5. Les fragments inférieurs à 50 pb ne sont pas représentés sur le tableau.

Espèces	ITS		IGS1		Ribotypes
	<i>HinfI</i>	<i>MboI</i>	<i>HinfI</i>	<i>MboI</i>	
<i>S. dictyosporum</i> (4IR et 4SD)	174, 127, 113, 87, 60	208, 159, 135, 119	143, 135, 128	228, 153, 86	A
(1IR et 1SD)	287, 240	218, 198, 167	160, 151, 82	280, 240	B
<i>S. verrucosum</i> (5IR et 10SV)	311, 246, 93	171, 162, 153, 119	182, 167, 119	238, 151, 54	C
(2IR)	285, 146, 110, 66	254, 146, 124, 98, 77	182, 147, 63	228, 178	D
(2SV)	264, 114, 104, 94	208, 159, 135, 92	182, 139, 119	238, 210	E
<i>Scleroderma</i> sp1 (tous les échantillons)	322, 149, 110, 66	241, 153, 140, 119, 102	286, 143	228, 196, 54	F
<i>Scleroderma</i> sp2 (1SP2 et 2IR)	331, 294, 87	284, 227, 91	232, 143, 88	228, 153	G
(10SP2 et 2IR)	206, 186, 99	152, 137, 113, 106	173, 139, 124	231, 209	H
<i>Scleroderma</i> sp3 (1IR)	285, 146, 110, 66	254, 146, 124, 98, 77	182, 147, 63	228, 178	D
<i>Scleroderma</i> sp4 (2IR et 1SP4)	174, 127, 113, 87, 60	208, 159, 135, 119	143, 135, 128	228, 153, 86	A

Sanon *et al.* (2009).

Excepté le ribotype G de *Scleroderma* sp2, au moins deux ribotypes par espèce ont fait l'objet du séquençage de l'ITS incluant les espèces morphologiques *Scleroderma* sp3 et *Scleroderma* sp4. Ainsi, les séquences ITS ont été obtenues à partir de 9 carpophores et 16 isolats en culture. Elles ont été soumises à la base de données GenBank et les séquences similaires ont été identifiées à l'aide de l'algorithme Blastn.

Les séquences des *Scleroderma* du Burkina montrent une faible similarité avec d'autres *Scleroderma* dans GenBank. Sept géotypes différents ont été identifiés pour l'ensemble des 25 échantillons analysés et les 25 séquences ont été déposées dans GenBank (tabl. 8).

Tableau 8. Carpophores et isolats de *Scleroderma* séquencés avec les numéros d'accension dans GenBank et les pourcentages d'homologies avec des séquences de références. Les isolats sont notés « IR » et les carpophores « SD, SV, SP1, SP2, SP3 ou SP4 ».

Espèces/Ribotypes/ Références	N° d'accension dans GenBank	Pourcentage d'homologies avec des souches de référence dans GenBank
<i>S. dictyosporum</i>		
Ribotype A		
IR109	FJ840442	<i>S. areolatum</i> voucher JMP0080 (EU819438) (496/583, 85 %)
IR250	FJ840444	<i>S. areolatum</i> voucher JMP0080 (EU819438) (475/563, 84 %)
IR412	FJ840444	<i>S. areolatum</i> voucher RT00036 (EU819518) (439/513, 85 %)
IR602	FJ840447	<i>S. areolatum</i> voucher JMP0080 (EU819438) (499/587, 85 %)
IR408	FJ840445	<i>S. areolatum</i> voucher RT00036 (EU819518) (439/513, 85 %)
ORS7731	FJ840448	<i>S. areolatum</i> voucher RT00036 (EU819518) (547/665, 82 %)
Ribotype B		
IR215	FJ840443	<i>S. bovista</i> voucher RT00034 (EU81951) (423/503, 84 %)
SD-4901	FJ840449	<i>S. areolatum</i> voucher JMP0080 (EU819438) (378/438, 86 %)
<i>S. verrucosum</i>		
Ribotype C		
IR256	FJ840454	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (545/615, 88 %)

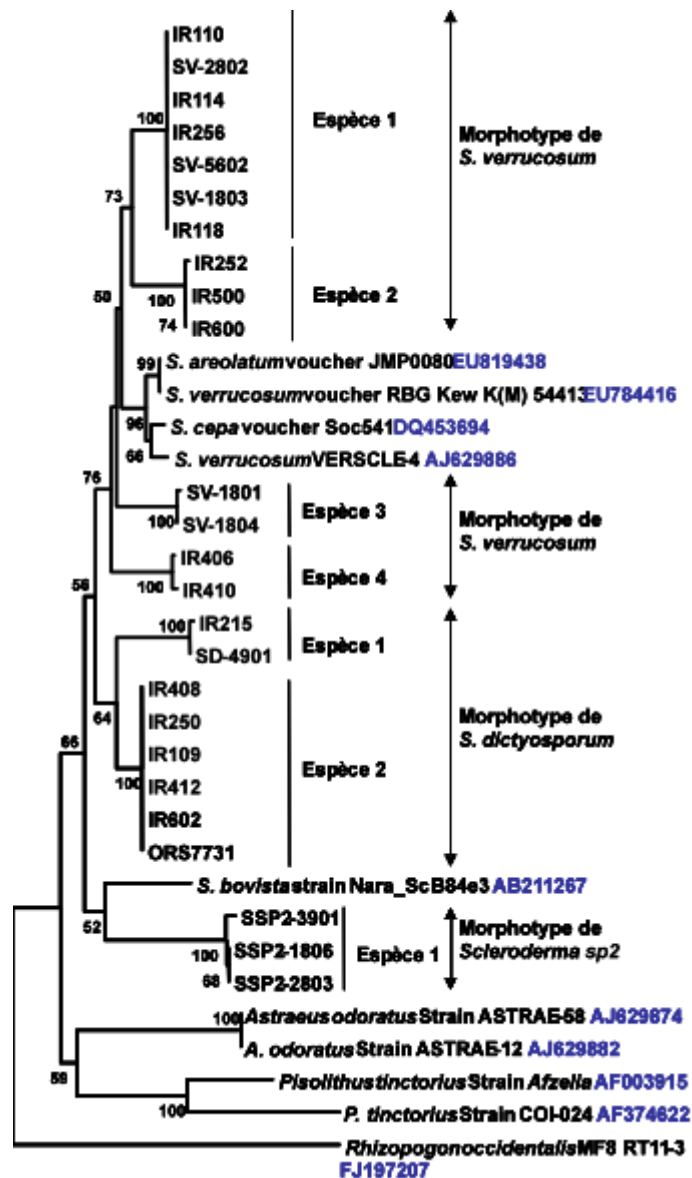
IR114	FJ840451	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (579/654, 88 %)
IR110	FJ840450	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (584/661, 88 %)
IR118	FJ840452	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (583/661, 88 %)
SV1803	FJ840458	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (586/665, 88 %)
SV2802	FJ840460	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (589/665, 88 %)
SV5602	FJ840461	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (545/614, 88 %)
Ribotype D		
IR500	FJ840455	Sclerodermataceae sp. TU103614 (AM412304) (544/613, 88 %)
IR600	FJ840456	Sclerodermataceae sp. TU103614 (AM412304) (541/611, 88 %)
IR252	FJ840453	Sclerodermataceae sp. TU103614 (AM412304) (570/642, 88 %)
Ribotype E		
SV1801	FJ840457	<i>S. verrucosum</i> strain VERSCLE-4 (AJ629886) (488/546, 89 %)
SV1804	FJ840459	<i>S. verrucosum</i> strain VERSCLE-4 (AJ629886) (489/546, 89 %)
Scleroderma sp1		
Ribotype F		
IR406	FJ840462	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (551/630, 87 %)
IR410	FJ840463	<i>S. cepa</i> voucher SOC541 (DQ453694) (530/602, 88 %)
Scleroderma sp2		
Ribotype H		
SSP2-1806	FJ840464	<i>S. bovista</i> strain : Nara_ScB84e3 (AB211267) (577/618, 83 %)
SSP2-2803	FJ840465	<i>S. bovista</i> strain : Nara_ScB84e3 (AB211267) (498/592, 84 %)
SSP2-3901	FJ840466	<i>S. bovista</i> strain : Nara_ScB84e3 (AB211267) (484/585, 82 %)

Sanon *et al.* (2009a).

Les séquences ont été alignées, à l'aide du logiciel Gendoc (Nicholas et Nicholas, 1997), avec d'autres séquences de *Scleroderma*, *Pisolithus* et *Astraeus* de GenBank et aussi *Rizopogon occidentalis* MF8RT11-3 (Peay *et al.*, 2009) comme outgroup.

L'arbre phylogénétique, méthode de Neighbor-joining, construit (logiciel MEGA, Kumar *et al.*, 2004) à partir de ces séquences permet de distinguer 3 branches différentes (fig. 5). La branche 1 regroupe les espèces morphologiques *S. verrucosum* et *Scleroderma* sp1, la branche 2 rassemble les morphotypes de *S. dictyosporum* et la 3^e branche regroupe le morphotype *Scleroderma* sp2. Pour chaque branche, les ribotypes sont supportés par de fortes valeurs de bootstrap suggérant que les ribotypes identifiés au sein de chaque espèce morphologique peuvent être considérés comme des espèces phylogénétiques différentes comme dans le cas des espèces de *Pisolithus* (Martin *et al.*, 2002). Ainsi, les échantillons identifiés comme *S. verrucosum* regroupent 3 espèces, ceux identifiés comme *S. dictyosporum* regroupent deux espèces et une espèce séquencée pour *Scleroderma* sp2 (fig. 5).

Figure 5. Arbre phylogénétique, méthode Neighbor-joining, basé sur les séquences ITS des espèces de *Scleroderma*, *Astraeus* et *Pisolithus*. *Rhizopogon occidentalis* est utilisé comme outgroup. Les valeurs numériques sur les branches sont des valeurs de bootstrap pour 1 000 reproductions. (Sanon *et al.*, 2009a).



Scleroderma sp1, plus proche de *S. verrucosum* que de toute autre espèce, duquel il diffère par quelques délétions et insertions au niveau de l'ITS2, appartiendrait au morphotype *S. verrucosum* (espèce 4). Les deux espèces morphologiques *Scleroderma* sp3 (IR252) et *Scleroderma* sp4 (IR408) sont supportées par des valeurs de bootstrap élevées (100 %) avec l'espèce 2 des morphotypes *S. verrucosum* et *S. dictyosporum* respectivement (fig. 5). Ceci confirme les résultats obtenus par PCR/RFLP et montre que *Scleroderma* sp3 (IR252) et *Scleroderma* sp4 (IR408) sont respectivement des morphotypes de *S. verrucosum* et *S. dictyosporum*.

Scleroderma sp2 est génétiquement éloigné des autres espèces analysées, mais reste regroupé avec le genre *Scleroderma*. La morphologie des spores de cette espèce suggère qu'il pourrait s'agir d'une nouvelle espèce spécifique à l'Afrique. Cependant, des études complémentaires s'avèrent nécessaires sur un nombre plus important d'échantillons et aussi sur le séquençage du second ribotype de cette espèce.

3. MYCORHIZATION CONTROLEE DE *AFZELIA* SPP.

La technique qui consiste à associer une souche de champignon mycorhizien bien définie et compatible avec la plante hôte dans des conditions contrôlées et à évaluer l'effet de ce champignon sur la croissance de l'hôte est appelée « mycorhization contrôlée ». Elle permet la sélection de champignons compatibles et efficaces pour la production de plants pour le reboisement. Les critères de sélection des meilleures souches sont entre autres l'aptitude à la mycorhization des jeunes plants, l'effet bénéfique sur la croissance des plants inoculés et la teneur en éléments minéraux des différents organes des plants, en particulier le phosphore. Cette meilleure nutrition traduit une efficacité dans l'absorption de ces éléments par le champignon associé. Aussi, la longueur du réseau extramatriciel développé dans le sol par le mycosymbionte ou la proportion d'hyphes métaboliquement actifs dans le sol associée aux autres paramètres, sont également indiquées par certains auteurs comme pouvant caractériser l'efficacité du champignon (Jones *et al.*, 1990 ; Hamel *et al.*, 1990).

Cette technique est très largement utilisée en zone tempérée (France, Espagne, USA, Canada, ...) (Le Tacon *et al.*, 1992). En revanche, elle a fait l'objet de très peu d'études sur les

arbres tropicaux, en particulier en Afrique. Néanmoins, ces dernières années, il y a un regain d'intérêt pour l'étude de la mycorhization contrôlée de quelques essences locales.

Au Burkina Faso, les travaux sur la mycorhization contrôlée ont principalement porté sur les espèces du genre *Scleroderma* compte tenu des critères évoqués précédemment et la plante hôte *A. africana*, l'une des espèces à ectomycorhizes la plus importante au Burkina Faso et aussi *A. quanzensis*, une espèce de l'Afrique de l'Est.

3.1. PRODUCTION D'INOCULUM

Essentiellement deux types d'inoculum sont utilisés pour les essais de mycorhization contrôlée et de production de plants pour le reboisement : l'inoculum solide constitué de mycélium de champignons en culture et l'inoculum spores pour les champignons qui en produisent suffisamment telles les espèces des genres *Scleroderma* et *Pisolithus*.

L'inoculum solide a été utilisé au cours de deux expériences sur *A. africana* et *A. quanzensis* en pépinière.

L'inoculum solide est produit sur un substrat composé de tourbe et de vermiculite suivant la méthode décrite par Duponnois et Garbaye (1991). Le mycélium végétatif est repiqué sur milieu gélosé MNM (Marx, 1969) et incubé à 30 °C pendant deux à trois semaines. Des bocal de 800 ml sont remplis à moitié avec un mélange de tourbe et de vermiculite (1/4 ; v/v) et autoclavés à 120 °C pendant 20 min. Après refroidissement, 300 ml de milieu liquide MNM sont additionnés au contenu des bocal qui sont de nouveau autoclavés. Une dizaine d'implants fongiques de mycélium végétatif de chaque souche sont repiqués dans chaque bocal. Les bocal inoculés sont hermétiquement fermés et incubés à l'étuve à 30 °C. Ils sont agités régulièrement au fur et à mesure que le champignon colonise le substrat afin d'améliorer la croissance du mycélium.

3.2. METHODE D'INOCULATION

La mycorhization contrôlée de ces deux espèces a été conduite sur un substrat (sol de Sangalkam, Sénégal) exempt de propagules ectomycorhiziens et dont quelques

caractéristiques physico-chimiques sont : argile (5,4 %), limon (5,8 %), sable (88,8), pH eau (6,03), C total (0,39 %), N total (0,027 %), MO total (0,68 %), C/N 14, P total (41,92 %), P assimilable, Bray 1 (2,15 %). Le substrat est tamisé et mélangé à l'inoculum (10 : 1, v/v). Le mélange est distribué dans des sachets en polyéthylène de 2 litres et arrosé à l'eau de robinet.

Les graines pré-germées y sont repiquées à raison de 2 graines par gaine. Dix jours après repiquage des graines, le nombre de plantules est réduit à une par gaine.

Pour *A. africana*, deux provenances ont été inoculées ou non avec deux isolats de *S. dictyosporum* (IR109 et IR408), un isolat de *S. verrucosum* (IR406) et un isolat de *Telephora* sp (ORSXM002) (Sanon, 1999 ; Diédhiou *et al.*, 2004) issu de mycorhize au Sénégal (Bâ et Thoen, 1990). Les deux provenances de *A. africana* sont : Nazinga au Burkina Faso (AaBF) et Diatock au Sénégal (AaSN). Le dispositif expérimental est de type factoriel (2 provenances x (4 champignons + 1 témoin)) et les traitements, répétés chacun 10 fois ont été disposés en randomisation simple sous un abri grillagé non étanche dans les conditions climatiques de Dakar (température moyenne journalière 25-30 °C, photopériode environ 12 h). L'arrosage a été effectué une fois par jour avec l'eau du robinet. L'expérience a duré 4 mois.

Quant à *A. quanzensis*, une provenance de l'Afrique de l'Est dont les graines ont été fournies par Kenya Forestry Seed Center (Nairobi, Kenya) a été testée. Les deux meilleurs isolats identifiés dans le cadre de l'expérimentation précédente ont été utilisés : *S. dictyosporum* IR408 et *Telephora* sp. ORSXM002. Le dispositif est une randomisation simple avec 3 traitements et 10 répétitions par traitement. Les conditions expérimentales sont identiques à celles ci-dessus et l'essai a duré également 4 mois.

3.3. PARAMETRES MESURES

Différents paramètres ont souvent été utilisés pour évaluer l'effet de l'inoculation mycorhizienne sur la croissance des plantes hôtes. Il s'agit essentiellement des paramètres de croissance et de nutrition et aussi de la longueur du réseau extramatriciel développé dans le sol par le mycélium du champignon.

Ces différents paramètres ont été mesurés au cours des expérimentations de mycorhization contrôlée ci-dessus citées.

3.3.1. CROISSANCE ET NUTRITION DES DEUX PROVENANCES DE *A. AFRICANA*

Dans cette étude, les deux provenances diffèrent dans leur réponse à l'inoculation avec les 4 souches fongiques. Le taux de mycorhization varie à peu près dans les mêmes proportions pour les deux provenances, 32 % à 69 % pour AaBF et 22 % à 64 % pour AaSN (tabl. 9). Pour la provenance du Burkina Faso (AaBF), les meilleurs taux de mycorhization ont été obtenus avec *S. dictyosporum*, IR109 (69 %) et IR408 (64 %). *Telephora* sp. ORSXM002 mycorhize moyennement AaBF avec un taux de 46 %. *S. verrucosum* IR406 présente un taux plus faible de 32 %. Les isolats IR408 et IR406 donnent les taux de mycorhization les plus faibles (22 % et 32 %) avec la provenance *A. africana* du Sénégal.

La croissance de AaSN n'est pas améliorée par l'inoculation malgré des taux de mycorhization de 58 % et 64 % avec IR109 et ORSXM002 respectivement, alors que celle de AaBF est améliorée par l'inoculation avec IR408 et ORSXM002 (tabl. 9). L'augmentation de croissance observée pour cette provenance peut être attribuée au développement du système racinaire qui est reflété par la biomasse totale des plants inoculés. Ces résultats confirment ceux obtenus par Bâ (1990) sur l'effet positif de l'inoculation avec ORSXM002 sur la croissance d'une provenance de *A. africana* (provenance Bayottes) dû à une augmentation de la biomasse racinaire. Ils sont également en accord avec ceux obtenus par Diédhiou *et al.* (2005) sur une provenance sénégalaise de *A. africana* inoculée pendant 7 mois en pépinière avec différents champignons mycorhiziens dont IR408 et ORSXM002.

La dépendance mycorhizienne des deux provenances de *A. africana* est relativement faible 0,15 % à 32 % comparativement aux valeurs obtenues avec les espèces tropicales introduites en Afrique de l'Ouest telles l'hybride *Eucalyptus urophylla* x *E. kirtonia* et *Acacia mangium* (Garbaye *et al.*, 1988 ; Duponnois et Bâ, 1999). Néanmoins, la comparaison est difficile compte tenu des conditions de culture différentes. Une dépendance mycorhizienne d'au plus 30 % a également été obtenue avec une autre provenance de *A. africana* inoculée avec différents isolats de *Scleroderma*, un isolat de *Pisolithus* et *Telephora* sp. ORSXM002 après 7 mois de culture (Diédhiou *et al.*, 2005).

Tableau 9. Effet de l'inoculation avec différents isolats de champignons ectomycorhiziens sur les paramètres de croissance des plants de deux provenances de *A. africana*.

Provenances de <i>A. africana</i> /Isolats inoculés	Hauteur	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse totale	Taux de mycorhization	Longueur du réseau extramatriciel	Dépendance mycorhizienne
AaBF							
IR109	41,97 b	4,98 a	2,83 abc	7,81 ab	69,00 a	2,00 a	21,25 ab
IR406	44,96 ab	5,20 a	2,53 bc	7,73 ab	32,00 abc	2,47 a	20,43 ab
IR408	47,78 ab	5,71 a	3,29 ab	9,00 a	64,00 a	1,81 a	31,66 a
ORSXM002	47,78 ab	5,12 a	3,98 a	9,10 a	46,00 ab	1,66 a	32,24 a
Témoin	42,75 b	4,39 a	1,76 c	6,15 b	0,00 c	-	-
	38,98 b						
AaSN							
IR109		4,27 a	2,07 bc	6,34 b	58,00 ab	2,81 a	0,15 b
IR406	46,85 ab	4,23 a	2,71 abc	6,95 ab	38,00 ab	1,95 a	8,92 ab
IR408		4,86 a	2,17 bc	7,03 ab	22,00 bc	2,62 a	9,95 ab
ORSXM002	47,80 ab	5,26 a	2,92 abc	8,18 ab	64,00a	1,95 a	22,61 ab
Témoin	52,40 a	4,62 a	1,73 c	6,33 b	0,00 c	-	-
	52,78 a						
	52,60 a						

Bâ *et al.* (1999).

Un des principaux effets de la mycorhization est d'améliorer la concentration en P des plantes hôtes. En comparant les traitements témoins et ceux inoculés, l'augmentation de la concentration en P, N, Mg et Ca des plants pour certaines souches n'est pas liée avec la stimulation de la croissance des plants en termes de biomasse produite, sauf pour IR408 inoculée à la provenance AaBF pour la teneur en P (tabl. 10). Seule la concentration en K des feuilles est plus élevée au niveau des plants inoculés par rapport aux témoins, mais sans lien avec la stimulation de croissance des plants. Ceci suggère que ces éléments minéraux ne sont

pas des facteurs limitants pour la croissance de ces deux provenances. Ainsi, le taux élevé de la mycorhization pour certaines souches ne se traduit pas forcément par une concentration élevée en éléments minéraux des feuilles des plants inoculés, il n’y a aucun lien évident entre le niveau de colonisation des plants inoculés et le potentiel pour les plants d’en bénéficier.

L’efficacité des isolats et espèces testés n’est également pas liée au réseau extramatriciel développé dans le sol (tabl. 9). Par conséquent, la sélection de souches efficaces ne peut se faire sur la base du taux de mycorhization et de la longueur du réseau extramatriciel même si ces critères ont été utilisés par d’autres auteurs (Thomson *et al.*, 1994 ; Jones *et al.*, 1990).

En conclusion, deux espèces fongiques *S. dictyosporum* IR408 et le *Telephora* sp.ORSXM002 semblent être les espèces les plus appropriées pour améliorer la croissance des plants de *A. africana*.

Tableau 10. Effet de l’inoculation avec différents isolats de champignons ectomycorhiziens sur la nutrition minérale des plants de deux provenances de *A. africana*.

Provenances de <i>A. africana</i> /Isolats inoculés	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
AaBF					
IR109	1,96 d	0,11 bc	1,41 cde	0,65 ab	2,13 bc
IR406	2,33 ab	0,09 c	2,12 a	0,65 a	2,65 ab
IR408	1,94 d	0,14 a	1,66 bc	0,56 abc	1,77 c
ORSXM002	1,85 d	0,10 bc	1,45 cd	0,58 abc	1,99 c
Témoin	2,02 cd	0,10 bc	1,02 e	0,50 c	2,00 c
AaSN					
IR109	2,03 cd	0,13 ab	1,55 c	0,55 abc	1,82 c
IR406	2,28 abc	0,10 bc	2,05 ab	0,62 abc	2,65 a
IR408	2,54 abc	0,11 bc	2,11 a	0,64 ab	3,09 a
ORSXM002	2,08 bcd	0,12 abc	1,80 abc	0,57 abc	1,76 c

Témoin	1,90 d	0,10 bc	1,13 de	0,53 bc	2,20 bc
--------	--------	---------	---------	---------	---------

Bâ *et al.* (1999).

3.3.2. CROISSANCE ET NUTRITION DE *A. QUANZENSIS*

À la suite de l'étude précédente sur l'inoculation des deux provenances de *A. africana*, les deux isolats prometteurs identifiés ont été testés sur *A. quanzensis* (Bâ *et al.*, 2002).

A. quanzensis répond différemment à l'inoculation avec les deux isolats. *Telephora* sp. ORSXM002 colonise bien le système racinaire des plants inoculés et stimule la biomasse racinaire par rapport à *S. dictyosporum* IR408 (tabl. 11). Le taux de mycorhization obtenu avec ORSXM002 (66,40 %) est similaire à celui obtenu avec la provenance sénégalaise de *A. africana* (64 %) (Bâ *et al.*, 1999). Par contre, pour IR408, ce taux est très faible (19,40 %). La stimulation de la biomasse racinaire par ORSXM002 n'est pas reflétée au niveau de la biomasse totale des plants qui n'est stimulée par aucune souche. Pourtant, cette souche a stimulé la biomasse totale de *A. africana* dans les mêmes conditions. Par conséquent, la dépendance mycorhizienne de *A. quanzensis* vis-à-vis de ces deux espèces n'excède pas 16 %, ce qui est assez faible comparativement à *A. africana* (Bâ *et al.*, 1999). Ces données suggèrent que l'origine différente des souches et de la plante hôte pourrait avoir une influence dans la réponse à l'inoculation de *A. quanzensis* par rapport à *A. africana*.

Comme dans le cas des deux provenances de *A. africana*, seule la teneur en K des parties aériennes est plus importante chez les plants inoculés avec les deux espèces (tabl. 12). Néanmoins, cette teneur n'est pas significativement différente entre les deux espèces malgré un taux de mycorhization et un réseau extramatriciel plus importants pour les plants inoculés avec ORSXM002.

Tableau 11. Effet de l'inoculation avec IR408 et ORSXM002 sur les paramètres de croissance des plants de *A. quanzensis*.

<i>A. quanzensis</i> /Isolats inoculés	Hauteur	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse totale	Taux de mycorhization	Dépendance mycorhizienne
IR408	69,86 b	8,84 a	2,26 a	11,10 a	19,40 b	3,50 a
ORSXM002	68,22 ab	9,14 a	3,60 b	12,75 a	66,40 a	16,00 a
Témoin	64,28 a	8,80 a	1,91 a	10,71 a	0,00 c	-

Bâ *et al.* (2002).

Tableau 12. Effet de l'inoculation avec IR408 et ORSXM002 sur la nutrition minérale des plants de *A. quanzensis*.

<i>A. quanzensis</i> /Isolats inoculés	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
IR408	2,09 a	0,13 a	1,63 b	0,58 a	1,66 ab
ORSXM002	2,14 a	0,14 a	1,56 b	0,58 a	1,56 a
Témoin	2,15 a	0,12 a	0,81 a	0,59 a	1,86 b

Bâ *et al.* (2002).

4. CONCLUSION

Ces travaux nous ont permis d'identifier pour la première fois les champignons ectomycorhiziens associés à sept plantes hôtes au sud-ouest, sud et est du Burkina Faso (*A. africana*, *B. grandiflora*, *I. doka*, *I. dalzeillii*, *M. kerstingii*, *U. guineensis*, *U. somon*). Tous les champignons récoltés appartiennent à des genres ectomycorhiziens déjà identifiés et certains ont été identifiés au niveau spécifique. Une diversité insoupçonnée des champignons ectomycorhiziens (environ 78 espèces morphologiques) a pu être mise en évidence malgré les conditions géoclimatiques des régions prospectées et la fluctuation de la fructification de ces champignons d'une année à l'autre en zone peu humide.

Notre inventaire a révélé une abondance relative des espèces des genres *Russula*, *Boletellus*, *Leccinum*, *Amanita* et *Scleroderma*. Pour ce dernier genre, 6 espèces ont été identifiées en fonction des caractéristiques morphologiques des carpophores et des spores. Ce sont essentiellement ces espèces du genre *Scleroderma* que nous avons pu maintenir en culture. Elles sont peu spécifiques, car elles ont été fréquemment rencontrées sous pratiquement toutes les plantes hôtes. Leur facilité d'isolement en culture pure fait d'eux des candidats potentiels pour des tests de mycorhization contrôlée d'où un intérêt particulier pour ce genre.

La capacité mycorhizogène des isolats représentatifs des espèces morphologiques de *Scleroderma* identifiées a été mise en évidence vis-à-vis de certaines plantes hôtes (*A. africana*, *A. quanzensis*, *Isobertinia doka*, *I. dalziellii* et *Brachystegia speciformis*). Ces résultats ont montré que les Sclérodermes sont peu spécifiques et peuvent être considérés comme des champignons précoces capables de mycorhizer les jeunes plants d'une large gamme d'hôtes et de se maintenir sur les pieds adultes.

L'étude de la diversité génétique des différents isolats et des carpophores des espèces morphologiques de *Scleroderma* par amplification génique des régions ITS et IGS1 et leur digestion par les enzymes *Hinf*I et *Mbo*I ont révélé un à trois ribotypes au niveau des espèces morphologiques identifiées. Le séquençage de la région ITS des ribotypes a montré que les Sclérodermes récoltés au Burkina Faso appartiennent à au moins 7 espèces phylogénétiques : 4 espèces pour le morphotype *S. verrucosum*, 2 pour *S. dictyosporum* et une espèce pour le seul ribotype séquencé de *Scleroderma* sp2.

La morphologie particulière des spores de *Scleroderma* sp2 et sa position sur l'arbre phylogénétique par rapport aux autres espèces de *Scleroderma* suggèrent une nouvelle espèce spécifique à l'Afrique, en particulier à l'Afrique de l'Ouest. Cependant, des études plus approfondies sont nécessaires pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Enfin, nous avons testé l'efficacité de 4 isolats fongiques, *S. dictyosporum* IR109 et IR408 ; *S. verrucosum* IR406 et *Telephora* sp. ORSXM002, sur la croissance et la nutrition minérale des plants de deux provenances d'*A. africana* en pépinière. Nous avons montré que l'inoculation induisait une stimulation plus ou moins importante de la croissance des plants (0,17 % à 48 % de gain de biomasse) et une amélioration de la nutrition minérale, surtout en potassium. L'utilisation de deux provenances d'*A. africana* a permis de mettre en évidence l'influence forte du fond génétique de la plante hôte sur l'effet bénéfique de la mycorhization. La dépendance mycorhizienne indique que la provenance sénégalaise est moins dépendante

des mycorhizes pour sa croissance que la provenance burkinabé. L'utilisation de souche efficace pour l'amélioration de la croissance des plants d'*A. africana* peut être orientée vers les isolats *S. dictyosporum* IR408 et *Telephora* sp. ORSXM002 pour les deux provenances. Cependant, ces isolats devront être auparavant testés dans d'autres conditions édaphiques.

Ces deux isolats testés sur une autre espèce d'*Afzelia* (*A. quanzensis*) de l'Afrique de l'Est ont montré un effet peu significatif par rapport à *A. africana* suggérant que l'origine de la plante hôte par rapport aux isolats fongiques testés peut avoir une influence dans la réponse à l'inoculation.

La mycorhization contrôlée d'*A. africana* en pépinière a montré que les Sclérodermes étaient de bons candidats pour des programmes de mycorhization contrôlée. Notre expérimentation a été effectuée sur un sol sableux non représentatif des conditions de forêts à *A. africana* en Afrique de l'Ouest. Toute sélection de souche devra donc être complétée par des essais réalisés dans des conditions variées et respectant les conditions locales de plantations.

Notre étude nous aura permis d'apporter notre contribution à la connaissance des champignons ectomycorhiziens tropicaux et en particulier, le genre *Scleroderma*.

5. REFERENCES

- Agerer, R. (1987-1996). Color Atlas of ectomycorrhizae. With glossary. Agerer R (ed).
Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger.
- Alexander, I.J. (2006) Ectomycorrhizas – out of Africa? *New Phytologist*, 172:589-591.
- Bâ, A.M. (1990). Contribution à l'étude de la symbiose ectomycorhizienne chez deux essences forestières d'Afrique intertropicale : *Afzelia africana* Sm. et *Uapaca guineensis* Müll. Arg. Thèse de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 193 p.
- Bâ, A.M. & Thoen, D. (1990). First syntheses of ectomycorrhizas between *Afzelia africana* Sm. (Caesalpinioideae) and native fungi from West Africa. *New Phytologist*, 103 : 441-448.
- Bâ, A.M., Dalpé, Y. & Guissou, T. (1996a). Les Glomales d'*Acacia holosericea* Cunn. ex G. Don. et d'*Acacia mangium* Willd.: diversité et abondance relative des champignons

endomycorhiziens à arbuscules dans deux types de sols de plantations au Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 250: 5-18.

- Bâ, A.M., Bazié, M. & Guissou, T. (1996b). Effet du phosphate naturel sur de jeunes *Acacia albida* Del. en présence ou non de mycorhizes. In : *Les Parcs à Faidherbia*. CIRAD-Forêts (ed), Cahiers Scientifiques, 12: 237-244.
- Bâ, A.M. & Guissou, T. (1996). Rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and nutrient uptake of *Acacia albida* (Del.) seedlings in an alkaline sandy soil. *Agroforestry Systems*, 34: 129-137.
- Bâ, A.M., Sanon, B.K., Duponnois, R. & Dexheimer, J. (1999). Growth responses of *Azelia Africana* Sm. seedlings to ectomycorrhizal inoculation in nutrient-deficient soil. *Mycorrhiza*, 9: 91-95.
- Bâ, A.M., Guissou, T., Duponnois, R., Planchette, C., Sacko, O., Sidibé, D., Sylla, K. & Windou, B. (2001). Mycorrhization contrôlée et fertilisation phosphatée : applications à la domestication du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.). *Fruits*, 56: 261-269.
- Bâ, A.M., Sanon, B.K. & Duponnois, R. (2002). Influence of ectomycorrhizal inoculation on *Azelia quanzensis* Welw. seedlings in a nutrient-deficient soil. *Forest Ecology and Management*, 161: 215-219.
- David, J.F. & David, M.S. (1998). Variation in the ribosomal DNA internal transcribed spacer of a diverse collection of ectomycorrhizal fungi. *Mycological Research*, 102 (7): 859-865.
- Dianda, M., Bayala, J., Diop, T. & Ouedraogo, S.J. (2009). Improving growth of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) seedlings using mineral N, P and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13: 93-102.
- Diédhiou, A.G., Bâ, A.M., Sylla, S.N., Dreyfus, B., Neyra, M. & Ndoye, I. (2004). The early-stage ectomycorrhizal Telephoroid fungal sp. is competitive and effective on *Azelia Africana* Sm. in nursery conditions in Senegal. *Mycorrhiza*, 14: 313-322.

- Diédhiou, A.G., Guèye, O., Diabaté, M., Prin, Y., Duponnois, R., Dreyfus, B. & Bâ, A.M. (2005). Contrasting responses to ectomycorrhizal inoculation in seedlings of six tropical African tree species. *Mycorrhiza*, 16: 11-17.
- Duponnois, R. & Garbaye, J. (1991). Techniques for controlled synthesis of the Douglas-fir-*Laccaria laccata* ectomycorrhizal symbiosis. *Annales des Sciences Forestières*, 48: 641-650.
- Duponnois, R. & Bâ, A.M. (1999). Growth stimulation of *Acacia mangium* Willd. by *Pisolithus* sp. in some Senegalese soils. *Forest Ecology and Management*, 119: 209-215.
- FAO (1987). Etude sur la contribution du secteur forestier à l'économie du Burkina Faso. Rapport de synthèse du projet préparé par le gouvernement du Burkina Faso et la FAO. Rome.
- Fortin, J.A., Plenchette, C. & Piché, Y. (2008). Les mycorhizes: La nouvelle révolution verte. Edn multimondes. Québec, Canada, 131 p.
- Garbaye, J., Delwaulle, J.C. & Diangana, D. (1988) Growth response of eucalyptus in the Congo to ectomycorrhizal inoculation. *Forest Ecology and Management*, 24: 151-157.
- Gardes, M., White, T.J., Fortin, J.A., Bruns, T.D. & Taylor, J.W. (1991). Identification of indigenous and introduced symbiotic fungi in ectomycorrhizae by amplification of nuclear and mitochondrial ribosomal DNA. *Canadian Journal of Botany*, 69 : 180-190.
- Gomes, E.A., Kasuya, M.C.M., de Barros, E.G., Borges, A.C. & Araujo, E.F. (2002). Polymorphism in the internal transcribed spacer (ITS) of the ribosomal DNA of 26 isolates of ectomycorrhizal fungi. *Genetics and Molecular Biology*, 25 (4): 477-483.
- Grube, M., Depriest, P.T., Gargas, A. & Hafellner, J. (1995). DNA isolation from lichen ascomata. *Mycological Research*, 99: 1321-1324.
- Goussou, T., Bâ, A.M., Ouadba, J.M., Guinko, S. & Duponnois, R. (1998). Responses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. and *Ziziphus mauritiana* Lam. to arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-deficient sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 26:194-198.
- Goussou, T., Bâ, A.M., Plenchette, C., Guinko, S. & Duponnois, R. (2001). Effets des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique chez quatre arbres

- fruitiers: *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. et *Ziziphus mauritiana* Lam. *Sécheresse*, 12 (2): 121-127.
- Guzman, G., Ramirez-Guillém, F., Miller, O.K. & Lodge, D.J. (2004). *Scleroderma stellatum* versus *Scleroderma bermudense* : the status of *Scleroderma echinatum* and the first record of *Veligaster nitidum* from the Virgin Islands. *Mycologia*, 96: 1370-1379.
- Hamel, C., Fyles, H. & Smith, D.L. (1990). Measurement of development of endomycorrhizal mycelium using three different vital strains. *New Phytologist*, 115 : 297-302.
- Hansen, K., Laessoe, T. & Pfister, D. (2002). Phylogenetic diversity in the core group of *Peziza* inferred from ITS sequences and morphology. *Mycological Research*, 106 (8): 879-902.
- Horton, T. (2002). Molecular approaches to ectomycorrhizal diversity studies: variation in ITS at a local scale. *Plant and Soil*, 244: 29-39.
- Jones, M.D., Durall, D.M. & Tinker, P.B. (1990). Phosphorus relationships and production of extramatrical hyphae by two types of willow ectomycorrhizas at different soil phosphorus levels. *New Phytologist*, 115 : 259-267.
- Karen, O., Högberg, N., Dahlberg, A., Jonsson, L. & Nylund, J.E. (1997). Inter- and intraspecific variation in the ITS region of rDNA of ectomycorrhizal fungi in Fennoscandia as detected by endonuclease analysis. *New Phytologist*, 136 : 313-325.
- Kessler, J.J. & Geerling, C. (1994). Profil environnemental du Burkina Faso. Université Agronomique, Département de l'Aménagement de la Nature. Wageningen, les Pays Bas, p.63.
- Kumar, S., Tamura, K. & Nei, M. (2004). MEGA3: Integrated software for Molecular Evolutionary Genetics Analysis and Sequence Alignment. *Briefings in Bioinformatics* 5:150-163.
- Laclavère, G. (1993). Atlas du Burkina Faso. Edn Jeune Afrique. p. 53.
- Le Tacon, F., Alvarez, I.F., Bouchard, D., Henrion, B., Jackson, R.M., Luff, S., Parlade, J.I., Pera, J., Stenström, E., Villeneuve, N. & Walker, C. (1992). Variations in field response of forest trees to nursery ectomycorrhizal inoculation in Europe. In : D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter, & I.J. Alexander (eds). *Mycorrhizas in Ecosystems*. pp. 119-134.

- Lei, J., Lapeyrie, F., Malajczuk, N. & Dexheimer, J. (1990). Infectivity of pine and eucalypt isolates of *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch on roots of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake in vitro. II. Ultrastructural and biochemical changes at the early stage of mycorrhiza formation. *New Phytologist*, 116: 115-122.
- Liang, Y., Guo, L.D. & Ma, K.P. (2004). Genetic structure of a population of the ectomycorrhizal fungus *Russula vinosa* in subtropical woodlands in southwest China. *Mycorrhiza*, 14: 235-240.
- Malajczuk, N., Lapeyrie, F. & Garbaye, J. (1990). Infectivity of pine and eucalypt isolates of *Pisolithus tinctorius* on roots of *Eucalyptus urophylla* in vitro. 1. Mycorrhiza formation in model systems. *New Phytologist*, 114 : 627-631.
- Martin, F., Costa, G., Delaruelle, C. & Diez, J. (1997). Genomic fingerprinting of ectomycorrhizal fungi by microsatellite-primed PCR. In: Varma A., Hock B. (eds). *Mycorrhiza Manual*. Springer Lab Manuel Berlin, Springer-Verlag, pp 463-474.
- Martin, F., Diez, J., Dell, B. & Delaruelle, C. (2002). Phylogeography of the ectomycorrhizal *Pisolithus* species as inferred from the nuclear ribosomal DNA ITS sequences. *New Phytologist*, 153: 345-358.
- Marx, D.H. (1969). The influence of ectotropic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. *Phytopathology*, 59: 153-163.
- Matsushita, N., Kikuchi, K., Sasaki, Y., Guerin-Laguette, A., Lapeyrie, F., Vaario, L.M., Intini, M. & Suzuki, K. (2005). Genetic relationship of *Tricholoma matsutake* and *T. nauseosum* from the Northern Hemisphere based on analyses of ribosomal DNA spacer regions. *Mycoscience*, 46: 90-96.
- Munyanziza, E. & Kuyper, T.W. (1995). Ectomycorrhizal synthesis on seedlings of *Azelia quanzensis* Welw. using various types of inoculum. *Mycorrhiza*, 5: 283-287.
- Nicholas, K.B. & Nicholas, H.B. (1997). GeneDoc: a tool for editing and annotating multiple sequences alignments. GeneDoc version 2.6.002.

- Peay, K.G., Garbelotto, M. & Bruns, T.D. (2009). Spore heat resistance plays an important role in disturbance mediated assemblage shift of ectomycorrhizal fungi colonizing *Pinus muricata* seedlings. *Journal of Ecology*, 97: 537-547.
- Peter, M., Büchler, U., Ayer, F. & Egli, S. (2001). Ectomycorrhizas and molecular phylogeny of the hypogeous russuloid fungus *Arcangeliella borziana*. *Mycological Research*, 105: 1231-1238.
- Rieddacker, A. (1974). Un nouvel outil pour l'étude des racines de la rhizosphère : le mini-rhizotron. *Annales des Sciences Forestières*, 31 (2): 129-134.
- Rivière, T., Diedhiou, A.G., Diabaté, M., Senthilarasu, G., Natarajan, K., Ducouso, M., Verbeken, A., Buyck, B., Dreyfus, B., Bena, G. & Bâ, A.M. (2007). Diversity of ectomycorrhizal Basidiomycetes in West African and Indian tropical rain forests. *Mycorrhiza*, 17: 415 – 428.
- Ruiz-Diez, B., Rincon, A.M., de Felipe, M.R. & Fernandez-Pascual, M. (2006). Molecular characterisation and evaluation of mycorrhizal capacity of *Suillus* isolates from Central Spain for the selection of fungal inoculants. *Mycorrhiza*, 16: 465-474.
- Sanon, B.K. (1999) La symbiose ectomycorhizienne chez quelques Césalpiniacées et Euphorbiacées des forêts du Sud-Ouest du Burkina Faso. Etude morphologique et cytologique, mycorrhization contrôlée et étude de la diversité inter- et intraspécifique de Sclérodermes ectomycorhiziens. Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I, 119p.
- Sanon, B.K. (2007) Identification, par les outils de biologie moléculaire, des champignons ectomycorhiziens des genres *Russula*, *Amanita*, *Lactarius* et *Boletellus* associés à différentes essences des forêts du Sud du Burkina Faso. Rapport de stage d'échange scientifique de courte durée IRD-INERA. 25p.
- Sanon, K.B., Bâ, A.M. & Dexheimer, J. (1997). Mycorrhizal status of some fungi fruiting beneath indigenous trees in Burkina Faso. *Forest Ecology and Management*, 98: 61-69.
- Sanon, B.K., Dexheimer, J., Bâ, A.M., Dianda, M. & Gerard, J. (2002). Structure comparée des ectomycorhizes de *Afzelia africana* Sm. et *Scleroderma* sp. *Science et Technique, série Sciences Naturelles et Agronomie*, 1: 17-28.

- Sanon, B.K., Bâ, A.M., Delaruelle, C., Duponnois, R. & Martin, F. (2009a). Morphological and molecular analyses in *Scleroderma* species associated with some Caesalpinoid legumes, Dipterocarpaceae and Phyllanthaceae trees in southern Burkina Faso. *Mycorrhiza*, 19: 571-584.
- Sanon, B.K., Dianda, M., Guissou, T. & Bâ, A.M. (2009b). Description des champignons ectomycorhiziens du genre *Scleroderma* de quelques formations forestières du Sud du Burkina Faso. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 2 : 69-78.
- Sary, H. (1989). Essai de mycorrhization de *Azelia africana* avec *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker et Couch. In *Trees for development in Sub-Saharan Africa, Proceedings of a regional seminar held by the International Foundation for Science (IFS), ICRAF House, Nairobi, Kenya, February 20-25, 1989.*
- Sica, M., Gaudio, L. & Aceto, S. (2007). Genetic structure of *Tuber mesentericum* Vitt. Based on polymorphism at the ribosomal DNA ITS. *Mycorrhiza*, 17: 405-414.
- Sims, K.P., Watling, R. & Jeffries, P. (1995). A revised key to the genus *Scleroderma*. *Mycotaxon*, LVI: 403-420.
- Sims, K., Watling, R., De La Cruz, R. & Jeffries, P. (1997). Ectomycorrhizal fungi of the Philippines : a preliminary survey and notes on the geographic biodiversity of the Sclerodermatales. *Biodiversity and Conservation*, 6: 45-58.
- Sims, P.K., Sen, R., Watling, R. & Jeffries, P. (1999). Species and population structures of *Pisolithus* and *Scleroderma* identified by combined phenotypic and genomic marker analysis. *Mycological Research*, 103: 449-458.
- Tedersoo, L., Suvi, T., Beaver, K. & Kõljalg, U. (2007). Ectomycorrhizal fungi of the Seychelles: diversity patterns and host shifts from the native *Vateriaopsis seychellarum* (Dipterocarpaceae) and *Intsia bijuga* (Caesalpinaceae) to the introduced *Eucalyptus robusta* (Myrtaceae), but not *Pinus caribea* (Pinaceae). *New Phytologist*, 175: 321-333.
- Thoen, D. & Ducouso, M. (1989). Champignons et ectomycorhizes du Fouta Djallon. *Bois et Forêts des tropiques*, 221 : 45-63.
- Thomson, B.D., Grove, T.S., Malajczuk, N. & Hardy, G.E. StJ (1994). The effectiveness of ectomycorrhizal fungi in increasing the growth of *Eucalyptus globulus* Labill. in

relation to root colonisation and hyphal development in soil. *New Phytologist*, 126: 517-524.

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

© IRD, 2013 – ISBN : 978-2-7099-1827-5