



HAL
open science

Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale

Eliane Louisanna, Agnès de Grandcourt, Jean Garbaye

► **To cite this version:**

Eliane Louisanna, Agnès de Grandcourt, Jean Garbaye. Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. Revue forestière française, AgroParisTech, 2003, 55 (sp), pp.74-83. 10.4267/2042/5820 . hal-01032211

HAL Id: hal-01032211

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01032211>

Submitted on 25 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SYMBIOSE MYCORHIZIENNE ET NUTRITION MINÉRALE

MOÏSE BÉREAU - ÉLIANE LOUISANNA - AGNÈS DE GRANDCOURT - JEAN GARBAYE

Dès le XIX^e siècle, les mycorhizes ont fait l'objet de descriptions et d'études de distribution sur le globe. Le mot "symbiose" fut utilisé pour la première fois par l'Allemand Frank (1877) pour qualifier la coexistence d'organismes différents. De Bary (1887) y ajouta la notion de gradation de relation entre un hôte et un parasite qui peut être destructif ou toléré. C'est encore Frank (1885) qui décrivit les ectomycorhizes des arbres forestiers de la zone tempérée et les interpréta en termes de symbioses. Il est actuellement admis que la symbiose mycorhizienne est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre une racine de plante et un champignon, les avantages pour les deux partenaires devant outrepasser les coûts de fonctionnement. Ceci est vrai pour la majorité des plantes terrestres et pour la totalité des plantes ligneuses, dont en particulier les arbres forestiers.

Les champignons mycorhiziens, éléments de la population de microorganismes de la rhizosphère, sont incapables de photosynthèse et sont complètement dépendants, pour les substances carbonées, de la plante qu'ils colonisent. Ils fournissent en retour de l'azote, du phosphore et d'autres substances minérales qu'ils sont capables de mobiliser grâce à leurs connexions hyphales avec le sol. De ce fait, la symbiose mycorhizienne est activement étudiée pour ses effets bénéfiques sur la croissance des plantes et son rôle potentiel en agriculture et foresterie.

La classification des mycorhizes est basée sur le type de champignon associé, selon que celui-ci est asepté, c'est-à-dire Zygomycète de l'ordre des Glomales, ou septés, et alors Ascomycète ou Basidiomycète (Smith et Read, 1997). On distingue trois groupes principaux d'associations :

- les **ectomycorhizes** qui transforment les racines latérales à structure primaire en les revêtant d'un manteau fongique. Les hyphes pénètrent également la racine en formant dans le cortex un système intercellulaire complexe appelé réseau de Hartig avec peu ou pas de pénétration cellulaire (photos 1 et 2, p. 81). Ces symbiotes généralement spécifiques sont cultivables en laboratoire.

- les **endomycorhizes**, anciennement dénommées Mycorhizes à Vésicules et Arbuscules (MVA) et actuellement Mycorhizes à Arbuscules (MA), à colonisation intracellulaire corticale. Elles forment des arbuscules, des vésicules ou des hyphes spiralées. Ces symbiotes, à vie saprophytique réduite, sont peu spécifiques, ne se cultivent pas et ne sont visibles qu'après coloration (photo 3, p. 81).

- les **ectendomycorhizes** à manteau réduit ou absent qui possèdent un réseau de Hartig bien développé et des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires.

Par ailleurs, certaines plantes (Éricales, Monotropacées, Orchidacées) constituent un groupe particulier hébergeant des mycorhizes à Ascomycètes ou Basidiomycètes avec colonisation intracellulaire. Manteau et réseau de Hartig peuvent être présents ou absents.

Ce sont les endomycorhizes à arbuscules qui sont de loin les plus répandues à la surface du globe. Elles concernent 80 % des plantes vertes, ligneuses ou herbacées, parmi les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes. Ce type de symbiose est apparu très tôt, en même temps que les premières plantes terrestres. La diversité spécifique des champignons endomycorhiziens est faible, avec quelques dizaines d'espèces seulement reconnues à ce jour.

Les ectomycorhizes, par contre, ne concernent qu'une catégorie beaucoup plus restreinte d'espèces végétales, toutes des gymnospermes et angiospermes ligneuses, et tout particulièrement les arbres forestiers sociaux des régions tempérées et boréales (Pinacées, Fagacées, Bétulacées, Salicacées, Myrtacées). Elles sont apparues tardivement au Crétacé lors de la grande radiation évolutive des Pinacées et des Angiospermes. La diversité des champignons formant des ectomycorhizes est énorme, avec au moins plusieurs milliers d'espèces connues.

Contrairement aux forêts tempérées et boréales, les forêts tropicales humides sont très largement dominées par la symbiose endomycorhizienne à arbuscules. Cependant, certains genres d'arbres appartenant aux familles Dipterocarpacees (en Asie du Sud-Est), Césalpiniacées (en Afrique) ou Myrtacées (en Amérique du Sud) sont à ectomycorhizes. Ils manifestent généralement un tempérament social et présentent une distribution zonale, sur les sols les plus pauvres, au sein des forêts tropicales humides.

Dans cet article, nous aborderons le statut symbiotique (mycotrophie) de la forêt tropicale humide de Guyane française et le rôle des partenaires fongiques dans la nutrition minérale de différentes essences. Nous évoquerons également le rôle que les mycorhizes peuvent indirectement jouer dans la structure et la régénération de la forêt.

Nota : Pour davantage d'informations sur le rôle joué par les ectomycorhizes dans le fonctionnement et la gestion des écosystèmes forestiers tempérés, nous renvoyons le lecteur au numéro spécial 1997 de la *Revue forestière française* intitulé "*Champignons et mycorhizes en forêt*".

MYCOTROPHIE EN FORÊT TROPICALE HUMIDE DE GUYANE FRANÇAISE

Sur le Plateau des Guyanes, la forêt est caractérisée par la diversité des espèces qui la composent et par des sols à pH acide, pauvres en éléments minéraux, particulièrement le phosphore et l'azote.

Avec les méthodes classiques de coloration spécifique des endomycorhizes (Kormanik et Mc Graw, 1982) sur prélèvements racinaires, le statut symbiotique de 75 espèces d'arbres appartenant à 28 familles botaniques a été étudié. Ces essences, au stade de semis ou d'adultes, ont été choisies sur des sols représentatifs de la région : sols ferrallitiques sur substrats granitiques (Briteau et Geoffroy, 1989), sols ferrallitiques sur schistes Bonidoro (Boulet, 1990), podzols (Turenne, 1977), cordon littoral sableux, sédiments détritiques continentaux et sols sableux inondables.

Il a été observé chez les espèces étudiées (Béreau *et al.*, 1997a) une nette dominance de l'endotrophie. Les familles telles que les Césalpiniacées, Euphorbiacées, Lauracées, Myrtacées et Tiliacées, ectomycorhizées dans diverses régions (tempérées, africaines, néotropicales) ne le sont pas en forêt de Guyane française (Alexander et Högberg, 1986 ; Béreau *et al.*, 1997b).

Deux familles d'arbres cependant, les Polygonacées (genre *Coccoloba*) et les Nyctaginacées (genre *Neea*) hébergent des ectomycorhizes.

Les sables blancs ou podzols tropicaux, généralement très pauvres, sont considérés comme porteurs d'essences forestières ectomycorhizées (Janos, 1980 ; Anderson, 1981 ; Kubitzky, 1989). C'est le cas en Amazonie brésilienne, tandis qu'en Guyane française, sur des sols de même type, dominent 4 Césalpiniacées : *Dicorynia guianensis* Amshoff, *Dimorphandra polyandra* Benoist, *Eperua falcata* Aublet, *Recordoxylon speciosum* (Benoist) Norm. et Mart. et une Humiriacée *Humiria balsamifera* (Aublet) Saint-Hilaire, qui n'hébergent que des endomycorhizes.

Généralement, les sources d'inoculum disponibles dans le sol sont d'une grande variabilité (spores, fragments racinaires mycorhizés, hyphes du sol), et il est difficile de distinguer leur contribution relative dans la colonisation racinaire. Les endomycorhizes observées se caractérisent par la présence de mycélium intra et extra-cellulaire, d'hyphes cœnocitiques intra-cellulaires enroulées en pelotons spiralés, de vésicules et de rares arbuscules qui, selon Janos (1984), sont en effet éphémères ou inexistantes. Ces endomycorhizes correspondent au type *Paris* décrit par Gallaud en 1905, les structures spiralées constituant les interfaces de contact entre les symbiotes qui jouent un rôle fonctionnel dans la nutrition minérale (Smith et Smith, 1990).

NUTRITION MINÉRALE ET SYMBIOSE MYCORHIZIENNE

La forêt guyanaise étant constituée de nombreuses espèces, cela oblige à effectuer un choix des espèces à étudier, pour lequel les critères ont porté sur l'importance économique, l'intérêt écologique, la facilité d'accès au pied-mère, la production régulière de graines ainsi que les bons taux de germination naturelle et provoquée en pépinière expérimentale.

Après quelques généralités sur les relations entre endomycorhizes et nutrition minérale des plantes, nous présenterons quelques résultats expérimentaux récents concernant la différence de comportement, de deux espèces à endomycorhizes, vis-à-vis du phosphore du sol.

Généralités

Les mécanismes d'action de base des endomycorhizes ont été postulés dès 1957 par Mosse, décrivant leur rôle dans l'acquisition des ressources minérales. Gerdemann en 1964 a démontré que dans les sols pauvres, particulièrement en phosphore, les mycorhizes à arbuscules augmentaient la croissance. L'acquisition minérale par des plantes endomycorhizées a fait l'objet de nombreux et plus récents articles dont celui de Clark et Zeto en 2000.

Sur les sols acides, la croissance des plantes peut être limitée par un grand nombre de facteurs chimiques particuliers et par leurs interactions : faible capacité d'échange, toxicité aluminique, carence en phosphore, calcium, potassium et certains autres oligoéléments.

Dans beaucoup de cas, on assiste soit à une modification morphologique des racines avec formation d'un chevelu, soit à leur colonisation par des endomycorhizes favorisant la croissance de ces plantes (Marschner et Dell, 1994 ; Clark, 1997), quand la balance entre apport minéral du champignon et coût en carbone lié à cette présence se traduit en termes de bénéfice pour le végétal (Fitter, 1991 ; Nielsen *et al.*, 1998). Les endomycorhizes réduisent de plus l'absorption et l'accumulation de minéraux toxiques.

On sait que la symbiose mycorhizienne joue un rôle majeur dans la nutrition minérale des plantes dans la plupart des écosystèmes forestiers et particulièrement dans les forêts tropicales humides où le phosphore, distribué de façon hétérogène, est souvent présent en faible quantité dans les sols (Vitousek et Denslow, 1986 ; Raaimakers et Lambers, 1996). Le phosphore est un des éléments nutritifs les plus importants pour la croissance des plantes car il intervient dans de

nombreux processus métaboliques : biosynthèse des acides nucléiques et des membranes, photosynthèse, respiration et régulation des enzymes. C'est aussi l'élément dont la concentration dans la plante est la plus fortement augmentée par la symbiose endomycorhizienne (Bolan, 1991 ; Smith et Read, 1997). Cependant, généralement, l'intensité de la colonisation racinaire par les champignons symbiotiques est réduite quand le niveau de phosphore augmente dans le sol et devient ainsi directement disponible pour la plante (Dickson *et al.*, 1999).

Les effets bénéfiques de la symbiose racinaire sont assurés par la phase intra-racinaire du champignon et par la présence d'hyphes extra-racinaires de faible diamètre, se ramifiant dans le sol et jouant un rôle essentiel dans l'acquisition du phosphore. Elles évoluent à grande distance et atteignent des zones non accessibles aux racines (Jakobsen, 1995 ; Bago *et al.*, 1998) augmentant ainsi les surfaces d'échange entre la plante et son environnement. Les hyphes ont aussi la possibilité d'acquiescer d'autres minéraux comme l'azote, le soufre, le calcium, le magnésium, le potassium, le zinc et le cuivre mais les informations dont on dispose sont plus limitées à ce sujet.

L'utilisation de systèmes expérimentaux compartimentés isolant racines et mycélium, ainsi que le suivi d'éléments marqués comme ^{32}P (Johansen *et al.*, 1993) ont permis de démontrer le transport de cet élément minéral par le mycélium externe. Les aspects écophysologiques de l'acquisition du phosphore par les mycorhizes et de leur utilisation par les plantes ont été abordés par Koide (2000), démontrant une grande variabilité d'efficacité d'acquisition et d'utilisation du phosphore selon les espèces végétales.

De surcroît, l'activité phosphatase des endomycorhizes mise en évidence par des colorations spécifiques est reconnue dans la solubilisation du phosphore organique des sols, augmentant ainsi l'acquisition (Tisserant *et al.*, 1993 ; Boddington et Dodd, 1998).

Mycorhizes et acquisition de phosphore chez deux Césalpiniacées de la forêt tropicale humide de Guyane française

Il existe relativement peu de recherches sur la diversité et le fonctionnement des mycorhizes des arbres néotropicaux. Des travaux d'inventaire sont en cours sur le Plateau des Guyanes, au centre du Guyana, où des ectomycorhizes ont été trouvées en altitude (Monts Parakaima) sur une Césalpiniacée du genre *Dicymbe* (tribu des *Amherstieae*) inexistante en Guyane française (Henckel *et al.*, 2002).

Les teneurs en phosphore des feuilles des espèces forestières guyanaises sont extrêmement faibles, 400 à 800 µg par gramme de matière végétale sèche (Guehl *et al.*, 1998) ; pourtant on observe une prédominance des endomycorhizes dont l'intérêt le plus largement reconnu est l'acquisition de phosphore et son transfert aux plantes colonisées (Smith et Read, 1997). En milieu naturel, la plupart des espèces ont des endomycorhizes dans la majorité des habitats et il est impossible de trouver des individus non colonisés, ce qui complique la quantification de la contribution fongique dans la nutrition minérale des plantes ainsi que l'étude de leurs mécanismes d'action.

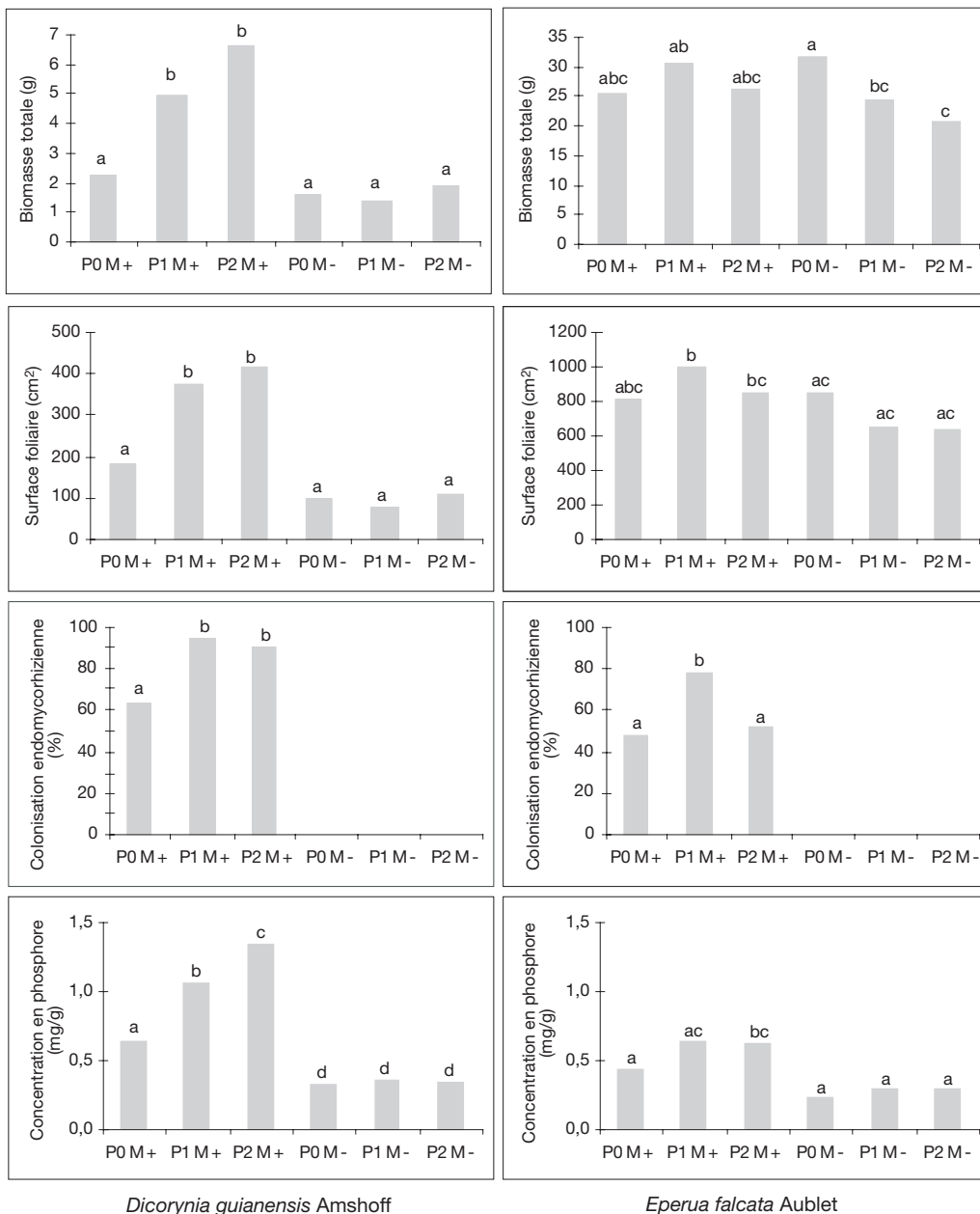
La mise au point de modèles expérimentaux en conditions semi-contrôlées (serres tunnel) avec des sols et techniques d'inoculation standardisés a permis la comparaison du comportement d'individus issus de germination de graines, croissant sur sols stérilisés à la vapeur humide (témoin) et inoculés artificiellement avec du broyat de racines d'arbres adulte.

Suite à une première phase d'investigations, des résultats importants ont été obtenus : une augmentation de croissance par rapport aux témoins fortement modulée par le climat lumineux (intensité de l'ombrage) a été observée sur semis dans nos conditions expérimentales avec une

FIGURE 1

**PARAMÈTRE DE CROISSANCE, COLONISATION MYCORHIZIENNE
ET CONCENTRATION EN PHOSPHORE
PAR SEMIS DE *DICORYNIA GUIANENSIS* ET *EPERUA FALCATA*
APRÈS 9 MOIS D'EXPÉRIMENTATION**

Po : teneur initiale en phosphore assimilable du sol expérimental ; P1 et P2 : apport croissant de P (1,5 et 3 fois Po) ; M- : traitement témoin ; M+ : traitement mycorhizé ; a, b, c : valeurs avec des lettres identiques ne sont pas significativement différentes (Plus Petite Différence Significative de Fisher ; $p \leq 0,05$, Analyse de variance à un facteur).



Césalpiniacée, l'Angélique, *Dicorynia guianensis* Amshoff (Béreau *et al.*, 1997b ; Béreau *et al.*, 2000), démontrant que les coûts en substances carbonées fournies au champignon pour son développement sont largement compensés par les apports minéraux de ce dernier (augmentation du taux de phosphore des feuilles).

Afin de vérifier si cette croissance était liée à une augmentation de la teneur en phosphore des plantes, et quel était le rôle des endomycorhizes dans l'acquisition du phosphore, ces paramètres ont été comparés, sur semis en serre, chez cette espèce et sur le Wapa, *Eperua falcata* Aublet, une autre Césalpiniacée.

Ces deux essences ont des caractéristiques écologiques et des systèmes de dispersion de graines contrastés. Les racines sont de faible diamètre (0,3 mm) et très ramifiées chez l'Angélique mais de diamètre plus important (1 mm et plus) chez le Wapa ; elles ont servi respectivement d'inoculum.

Au sol S_0 ayant une teneur initiale (P_0) de 15 mg de $P_2O_5/100$ g (méthode Duchaufour et Bonneau, 1959), ont été ajoutées des doses croissantes (P_1 et P_2) d'engrais phosphaté supertriple broyé mélangé pot par pot ($P_1 = 1,5 \times P_0$; $P_2 = 3 \times P_0$). Les paramètres de croissance, de colonisation endomycorhizienne (% de champs microscopiques avec racines colonisées), et les teneurs en phosphore ont été analysés après 9 mois d'expérimentation (figure 1, p. 78).

Les endomycorhizes sont sans effet sur le Wapa : entre sujets témoins et traités, il n'y a aucune différence dans l'acquisition de biomasse et de surface foliaire bien que les racines soient largement colonisées par les champignons. Par contre, chez l'Angélique, les valeurs de ces mêmes paramètres et les teneurs en phosphore des tissus sont augmentées de façon significative, toutefois sans apparition d'organes de stockage privilégié. Les semis mycorhizés de Wapa sont capables d'absorber davantage de phosphore quand cet élément est additionné au sol (P_1 et P_2), mais le niveau d'acquisition est inférieur à celui de *Dicorynia guianensis*.

Lors de l'analyse des structures mycorhiziennes, on observe une dominance de mycélium spiralé chez les deux espèces : 60 % du taux de mycorhization chez le Wapa, plus de 90 % chez l'Angélique. Chez cette dernière espèce, le pourcentage de pelotons est très significativement corrélé à l'augmentation de biomasse aérienne et à la surface foliaire.

L'Angélique et le Wapa représentent donc deux exemples contrastés de stratégie d'utilisation du phosphore du sol ; les mycorhizes sont indispensables aux semis de la première pour l'acquisition de cet élément tandis que, chez le second, il y a amélioration des teneurs en phosphore des tissus sans augmentation de biomasse, tout au moins jusqu'au stade observé en condition expérimentale.

CONCLUSIONS

Les premiers résultats obtenus en Guyane française suggèrent que les endomycorhizes jouent probablement un rôle important dans la régénération naturelle de *Dicorynia guianensis* en améliorant la croissance des semis. Au vu de ces premières observations et compte tenu de la diversité spécifique de la forêt guyanaise (traits morphologiques, écologiques et fonctionnels), la gamme d'espèces à étudier devrait être élargie. Les résultats pourraient conduire à une diversité de réponses à la symbiose avec, peut-être, des possibilités de regroupements (groupes écologiques) vis-à-vis de la nutrition phosphatée. Ces nouveaux éléments contribueraient à la connaissance du mode de fonctionnement écophysiologique des arbres à différents stades de leur

développement (régénération, croissance, reproduction), à différentes échelles (individus, communauté, écosystème) et dans des conditions environnementales variées.

La diversité fonctionnelle à l'égard de l'acquisition et de l'utilisation du phosphore, ainsi que d'autres éléments minéraux, par les arbres revêt un intérêt primordial dans la mise en œuvre de méthodes de conservation et de gestion durable des écosystèmes tropicaux. Une exploitation forestière intensive peut entraîner un risque d'exportation d'une ressource rare comme le phosphore avec des conséquences sur l'évolution de l'écosystème en termes de croissance, de structure et de stabilité.

En Guyane française, il y a encore peu d'informations disponibles sur l'identification des endomycorhizes, mais l'utilisation de nouvelles technologies permettra, plus rapidement, la caractérisation et l'identification de ceux-ci par typage moléculaire.

Ces nouvelles connaissances devraient permettre d'aborder le problème de l'influence des communautés symbiotiques sur la diversité spécifique forestière et leur implication dans les phénomènes de structuration, de régénération, de réhabilitation de sols dégradés par des activités humaines et éventuellement dans les phénomènes de succession (Allen et Allen, 1984).

Moïse BÉREAU – Eliane LOUISANNA – Agnès de GRANDCOURT
UMR Écologie des Forêts de Guyane
CIRAD ENGREF INRA
Campus agronomique
F-97387 KOUROU CEDEX
(bureau.m@kourou.cirad.fr)
(louisanna.e@kourou.cirad.fr)
(degrandcourt.a@cirad.fr)

Jean GARBAYE
UMR INRA UHP
"Interactions Microorganismes-Arbres"
Centre INRA de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(garbaye@nancy.inra.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (A.B.). — White sand vegetation of Brazilian Amazonia. — *Biotropica*, vol. 13, 1981, pp. 199-210.
- ALEXANDER (I.J.), HÖGBERG (P.). — Ectomycorrhizas of tropical angiospermous trees. — *New Phytologist*, vol. 102, 1986, pp. 541-549.
- ALLEN (E.B.), ALLEN (M.F.). — Competition between plants of different successional stages : mycorrhizae as regulators. — *Canadian Journal of Botany*, vol. 62, 1984, pp. 2625-2629.
- BAGO (B.), AZCON-AGUILAR (C.), GOULET (A.), PICHE (Y.). — Branched absorbing structures (BAS) : a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. — *New Phytologist*, vol. 139, 1998, pp. 375-388.
- BARITEAU (M.), GEOFFROY (J.). — Sylviculture et régénération naturelle en forêt guyanaise. — *Revue forestière française*, vol. XLI, n° 4, 1989, pp. 309-323.
- BÉREAU (M.), GAZEL (M.), GARBAYE (J.). — Les symbioses mycorrhiziennes des arbres de la forêt tropicale humide de Guyane française. — *Canadian Journal of Botany*, vol. 75, 1997a, pp. 711-716.

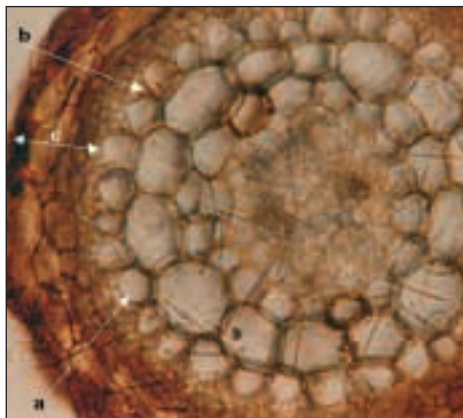
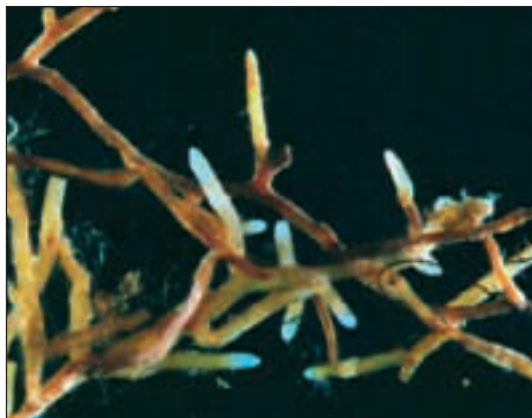


Photo 1 (à gauche) Racines ectomycorhizées de *Coccoloba latifolia* Lamark (racines courtes)
 Photo 2 (à droite) Coupe transversale de racine ectomycorhizée de *Neea tristis* Heimpl.
 a : cellules corticales racinaires ; b : réseau de Hartig ; c : manteau fongique

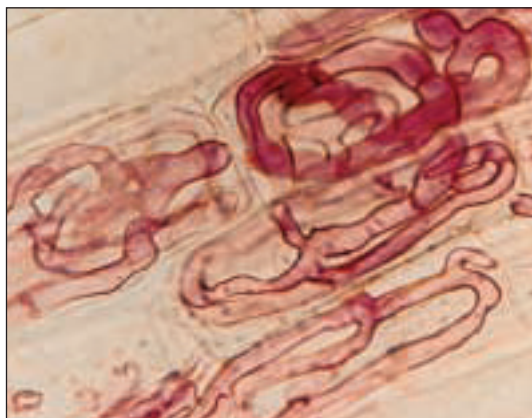


Photo 3 Structure spiralée de mycélium cœnocitique d'endomycorhize
 chez *Dicorynia guianensis* Amshoff

Photos M. BÉREAU - E. LOUISANNA

- BÉREAU (M.), LOUISANNA (E.), GARBAYE (J.). — Effect of endomycorrhizas and nematodes on the growth of seedlings of *Dicorynia guianensis* Amshoff, a tree species of the tropical rainforest in French Guiana. — *Annals of Forest Science*, vol. 54, 1997b, pp. 271-277.
- BÉREAU (M.), BARIGAH (T.S.), LOUISANNA (E.), GARBAYE (J.). — Effects of endomycorrhizal development and light regimes on the growth of *Dicorynia guianensis* Amshoff seedlings. — *Annals of Forest Science*, vol. 57, 2000, pp. 725-733.
- BODDINGTON (C.L.), DODD (J.C.). — A comparison of the development and metabolic activity of mycorrhizas formed by arbuscular mycorrhizal fungi from different genera on two tropical forage legumes. — *Mycorrhiza*, vol. 8, 1998, pp. 149-157.
- BOLAN (N.S.). — A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. — *Plant and Soil*, vol. 134, 1991, pp. 189-207.
- BOULET (R.). — Organisation des couvertures pédologiques des bassins versants ECEREX. Hypothèses sur leur dynamique. In : Mise en valeur de l'Écosystème forestier guyanais / INRA - CTFT Ed. . — Paris, 1990 — pp. 15-45.

- CLARK (R.B.). — Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. — *Plant and Soil*, vol. 192, 1997, pp. 15-22.
- CLARK (R.B.), ZETO (S.K.). — Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. — *Journal of Plant Nutrition*, vol. 23, n° 7, 2000, pp. 867-902.
- De BARY (A.). — Comparative Morphology and Biology of the Fungi, Mycetozoa and Bacteria / English translation of 1884 edition. — Oxford : Clarendon Press, 1887.
- DICKSON (S.), SMITH (S.E.), SMITH (F.A.). — Characterization of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Allium porum* : colonization, plant growth and phosphate uptake. — *New Phytologist*, vol. 144, 1999, pp. 163-172.
- DUCHAUFOR (Ph.), BONNEAU (M.). — Une méthode nouvelle de dosage du phosphore assimilable dans les sols forestiers. — *Bulletin AFES*, vol. 4, 1959, pp. 193-198.
- FASSI (B.), MOSER (M.). — Micorrize nelle foreste naturali nell' Africa tropicale e nei Neotropici. In : Funghi, Piante e Suolo / CNR Ed. — Turin : Centro di Studio sulla Micologia del Terreno, 1991. — pp. 173-202.
- FITTER (A.H.). — Costs and benefits of mycorrhizas : implications for functioning under natural conditions. — *Experientia*, vol. 47, 1991, pp. 350-362.
- FRANK (A.B.). — Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustenflechten. — *Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, vol. 2, 1877, pp. 123-200.
- FRANK (A.B.). — Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. — *Ber. Deutsch. Ges.*, vol. 3, 1885, pp. 128-145.
- GALLAUD (I.). — Étude sur les mycorrhizes endotrophes. — *Revue générale de Botanique*, vol. 17, 1905, pp. 5-48 ; 66-83 ; 123-135 ; 223-239 ; 313-325 ; 425-433 ; 479-500.
- GERDEMANN (J.W.). — The effect of mycorrhizas on the growth of maize. — *Mycologia*, vol. 56, 1964, pp. 342-349.
- GUEHL (J.-M.), DOMENACH (A.-M.), BÉREAU (M.), BARIGAH (T.S.), CASABIANCA (H.), FERHI (A.), GARBAYE (J.). — Functional diversity in an Amazonian rainforest of French Guyana. A dual isotope approach (d¹⁵N and d¹³C). — *Oecologia*, vol. 116, 1998, pp. 316-330.
- HENKEL (T.), TERBORGH (J.), VILGALYS (R.). — Ectomycorrhizal fungi and their leguminous hosts in the Pakaraima Mountains of Guyana. — *Mycological Research*, vol. 106, n° 5, 2002, pp. 515-531.
- JAKOBSEN (J.). — Transport of Phosphorus and Carbon in VA mycorrhizas. In : Mycorrhiza : Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology / A. Varma, B. Hock Eds. — Berlin : Springer-Verlag, 1995. — pp. 305-332.
- JANOS (D.). — Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in an Amazonian rainforest. — *Acta Amazonica*, vol. 10, 1980, pp. 527-533.
- JANOS (D.). — Tropical mycorrhizas, nutrient cycles and plant growth. In : Tropical Rain Forest : Ecology and Management / S.L. Sutton, T.C. Whitmore, A.C. Chadwick Eds. — Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1983. — pp. 327-345.
- JANOS (D.). — Methods for vesicular-arbuscular mycorrhiza research in the lowland wet tropics. In : Physiological ecology of plants of the wet tropics / E. Medina, H.A. Mooney, C. Vasquez-Yanes Eds. — The Hague (Netherlands) : Junke, 1984. — pp. 173-187 (Tasks for vegetation science ; vol. 12).
- JOHANSEN (A.), JAKOBSEN (J.), JANSEN (E.S.). — External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L.3. Hyphal transport of ³²P and ¹⁵N. — *New Phytologist*, vol. 124, 1993, pp. 64-68.
- KOIDE (R.T.), GOFF (M.D.), DICKIE (I.A.). — Component growth efficiencies of mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. — *New Phytologist*, vol. 148, 2000, pp. 163-168.
- KORMANIK (P.P.), Mc GRAW (A.C.). — Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In : Methods and Principles of Mycorrhizal Research / Schenk Ed. . — Chicago : The American Pathological Society, 1982. — pp. 37-45.
- KUBITZKY (K.). — Amazonas-Tiefland und Guayana-Hochland : historische und ökologische Aspekte ihrer Florentwicklung. — *Amazoniana*, vol. 11, 1989, pp. 1-12.
- MALLOCH (D.W.), PIROZYNSKI (K.A.), RAVEN (P.H.). — Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbioses in vascular plants (a review). — *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, vol. 77, 1980, pp. 2113-2118.
- MARSCHNER (H.), DELL (B.). — Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. — *Plant and Soil*, vol. 159, 1994, pp. 89-102.

- MOSSE (B.). — Growth and chemical composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal applies. — *Nature*, vol. 179, 1957, pp. 922-924.
- NIELSEN (R.T.), BOUMA (T.J.), LYNCH (J.), EISSENSTAT (D.M.). — Effects of Phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on the carbon budget of common bean (*Phaseolus vulgaris*). — *New Phytologist*, vol. 139, 1998, pp. 647-656.
- RAAIMAKERS (D.), LAMBERS (H.). — Response to phosphorus supply of tropical tree seedlings : a comparison between a pioneer species *Tapirira obtusa* and a climax species *Lecythis corrugata*. — *New Phytologist*, vol. 132, n° 1, 1996, pp. 97-102.
- RIÉRA (B.), PUIG (H.), LESCURE (J.-P.). — La Dynamique de la forêt naturelle. — *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 219, 1990, pp. 69-78.
- SABATIER (D.), PREVOST (M.F.). — Quelques données sur la composition floristique et la diversité des peuplements forestiers de Guyane française. — *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 219, 1990, pp. 31-55.
- SMITH (S.E.), READ (D.J.). — Mycorrhizal symbiosis. Second edition. — Academic Press ; Harcourt Brace and Company Publishers, 1997. — 605 p.
- SMITH (S.E.), SMITH (F.A.). — Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport. — *New Phytologist*, vol. 114, 1990, pp. 1-38.
- TISSERANT (B.), GIANINAZZI-PEARSON (V.), GIANINAZZI (S.), GOLLOTTE (A.). — *In planta* histochemical staining of fungal alkaline phosphatase activity for analysis of efficient arbuscular mycorrhizal infections. — *Mycological Research*, vol. 97, 1993, pp. 245-250.
- TURENNE (J.-F.). — Modes d'humidifications et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. — ORSTOM, 1977. — 84 p. (Mémoire).
- VITOUSEK (P.M.), DENSLOW (J.S.). — Nitrogen and Phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rainforest. — *Journal of Ecology*, vol. 7, n° 4, 1986, pp. 1167-1178.

SYMBIOSE MYCORRHIZIENNE ET NUTRITION MINÉRALE [Résumé]

En Guyane française où les sols sont généralement acides et pauvres en éléments minéraux, la forêt est caractérisée par sa plurispécificité. Une approche de type écologique a montré, dans les racines des principales espèces forestières, la dominance d'endomycorhizes à structure intracellulaire particulière : des hyphes de type *Paris*, spiralé. Leur rôle dans l'acquisition du phosphore a été étudié expérimentalement chez deux Césalpiniacées. Les semis d'Angélique, *Dicorynia guianensis* Amshoff, sont très dépendants, pour leur croissance et leur teneur en phosphore, des mycorhizes à mycélium spiralé ; ce type de mycélium représente plus de 90 % de la colonisation fongique. Par contre, les semis de Wapa (*Eperua falcata* Aublet) forment également des mycorhizes mais ces dernières améliorent le statut phosphaté et sont sans effet sur la croissance de cette espèce. Ces résultats contribuent à la compréhension du rôle des symbioses endomycorhiziennes dans le processus de régénération naturelle et ouvrent des perspectives de recherche quant à leur intervention éventuelle dans le maintien de la diversité forestière.

MYCORRHIZAL SYMBIOSIS AND INORGANIC NUTRITION [Abstract]

In French Guiana where soils are generally acidic and poor in inorganic nutrients, a characteristic feature of forests is the diversity of species. An ecological approach has shown that on the roots of the major forest species there is a prevalence of endomycorrhizae that have a particular intracellular structure (spiral hyphae). Their involvement in phosphorus uptake has been investigated experimentally in two Cesalpiniaceae. *Dicorynia guianensis* Amshoff seedlings are highly dependent on mycorrhizae with spiralled mycelium for their growth and phosphorus content. This type of mycelium accounts for more than 90 % of fungal colonisation. On the other hand, apa (*Eperua falcata* Aublet) seedlings also form mycorrhizae but while the latter improve the phosphate status, they have no effect on the growth of this species. These results enhance our understanding of the role of endomycorrhizal symbioses in natural regeneration processes and open up new research horizons as to their possible involvement in maintaining forest diversity.
