

## ARTICLES ORIGINAUX

## OORSPRONKELIJKE ARTIKELS

## ORIGINAL ARTICLES

## ARTICULOS ORIGINALES

n 3 2

## Effets de différentes espèces de champignons endomycorhiziens sur la croissance de dix espèces de plantes tropicales au Zaïre

P. Khasa\*, V. Furlant\*\* &amp; J.A. Fortin\*\*\*

Keywords: Dazomet, Endomycorrhizae, Fumigation, *Glomus*, Leguminous plants, *Rhizobium*, Tropical plants.

### Résumé

En vue d'étudier les meilleures associations champignons endomycorhiziens — plantes-hôtes, six espèces différentes de champignons endomycorhiziens ont été testées sur dix espèces de plantes tropicales légumineuses ou non sous les conditions climatiques de Kinshasa. Les plants ont été cultivés dans des sachets de polyéthylène contenant un sable limoneux stérilisé au dazomet et ont été inoculés avec des racines de poireau endomycorhizé. Après 5 semaines de culture, tous les plants inoculés sont endomycorhizés, cependant les rendements en masse de matière sèche sont supérieurs chez la majorité des espèces végétales dans le cas de l'inoculation avec le *Glomus vesiculiferum*, le *Glomus sp. Z<sub>2</sub>* et *Z<sub>3</sub>*.

Chez les plantes légumineuses, l'inoculation avec le *G. vesiculiferum*, le *Glomus sp. Z<sub>2</sub>* ou le *Glomus Z<sub>3</sub>*, d'une part, et le *Rhizobium*, d'autre part, a augmenté de façon significative la biomasse du leucaena, du soja, du haricot et du pois cajan.

### Summary

In order to study the best associations between endomycorrhizal fungi and host plants, six different endomycorrhizal fungal species were inoculated on ten tropical plant species cultivated under actual climatic conditions of Kinshasa. Plants were cultivated in polyethylene bags filled with a loamy sand medium, previously sterilized with dazomet and were inoculated with endomycorrhized leek roots. After a growth period of 5 weeks, all plants species inoculated were colonized, but the dry matter mass yield was superior on plant species inoculated with *Glomus vesiculiferum*, *Glomus sp. Z<sub>2</sub>* and *Z<sub>3</sub>*. On leguminous plants, the dual inoculation with *G. vesiculiferum*, *Glomus sp. Z<sub>2</sub>*, *Glomus sp. Z<sub>3</sub>* and *Rhizobium* significantly increased the biomass of leucaena, soybean, navy bean, and pigeon-pea.

### Introduction

En général, chez les plantes endomycorhizées, la biomasse et le contenu en éléments minéraux, le phosphore en particulier, sont plus élevés que chez les plants non mycorhizés, surtout dans les sols peu fertiles (1,5,17,25). Certaines espèces de champignons endomycorhiziens sélectionnées sont plus efficaces que la flore endomycorhizienne indigène pour stimuler la croissance des plantes cultivées dans un sol ayant une faible teneur en phosphore disponible (19). Un des principaux buts de l'utilisation des endomycorhizes est de réduire l'emploi des fertilisants phosphatés, des dernières permettraient en effet de réduire les dépenses jusqu'à 70% pour les fertilisants phosphatés et de 30 à 40% pour l'azote, le potassium et les oligo-éléments (10).

Dans une perspective d'application des endomycorhizes dans les cultures courantes, il est indispensable de sélectionner les espèces de champignons endomycorhiziens les plus efficaces pour chaque espèce de plante cultivée. Au moins quatre conditions influencent l'efficacité d'un champignon endomycorhizien (1): 1) le développement uniforme dans le

sol des hyphes extramatriciels; 2) la capacité de coloniser extensivement le système racinaire, 3) la capacité des hyphes à absorber le phosphore de la solution du sol; 4) la durabilité du mécanisme de transport des éléments nutritifs tout au long des hyphes et dans la racine.

D'autre part, l'efficacité d'un champignon endomycorhizien est la résultante de l'intensité de colonisation de la racine et de l'intensité d'exploration du sol, elle se mesure par la stimulation de croissance de la plante mycorhizée (21).

Non seulement les espèces de plantes et les espèces d'endophytes influencent l'efficacité de la symbiose endomycorhizienne, mais également tout un ensemble de facteurs abiotiques et biotiques tels que le type de sol, le pH, l'approvisionnement en oxygène, la température, l'aridité et la biocénose environnante (16,20).

En outre, il a été démontré que des plants de légumineuses endomycorhizés pouvaient contenir plus d'azote par rapport à des plants non mycorhizés (24). Il a été observé que les champignons endomycorhiziens peuvent induire une fixation accrue d'azote par le *Rhizobium* (8). Plusieurs chercheurs, en différents endroits dans le monde, ont constaté

\* Département de biologie, B.P. 190, Université de Kinshasa, Zaïre.

\*\* Station de recherches, Agriculture Canada, 2560, boul. Hochelaga, Sainte-Foy, Québec, Canada G1V 2J3.

\*\*\* Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal, 4101 est, rue Sherbrooke, Montréal, Québec, Canada H1X 2B2.

Reçu, le 26.06.90 et accepté pour publication le 28.11.90

un synergisme évident chez plusieurs espèces de légumineuses inoculées avec un champignon endomycorhizien et le *Rhizobium* (2).

Le but de cette expérience a été de mesurer les effets de six souches et espèces différentes de champignons endomycorhiziens, sur dix espèces de plantes d'importance économique au Zaïre.

## Méthodes

### Préparation du substrat

Le sol a été récolté dans les quinze premiers centimètres d'un jardin de *Psychotria* sur le Campus de l'Université de Kinshasa et tamisé à 5 mm pour éliminer les plus grosses particules. Il s'agit d'un sable limoneux avec les caractéristiques suivantes : pH de 6,3; azote total, 0,74%; C/N, 1,49; matière organique, 1,9%; P disponible (Bray II, 4), 15  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Le sol a été arrosé à saturation après l'application du fumigant dazomet (Basamid®) au taux de 50 g m<sup>-2</sup> puis recouvert d'un film de polyéthylène pendant 4 jours. La température ambiante était de 30°C. Des sachets en polyéthylène noir et perforés (n° 20 x 31 x 0,06, achetés chez la compagnie Plastica à Kinshasa) ont été remplis avec 3,4 l du sol désinfecté.

### Préparation du matériel végétal

Les espèces végétales utilisées sont : le manioc (*Manihot esculenta* cv. Kinuani 30085/28), le leucaena (*Leucaena leucocephala*), l'arachide (*Arachis hypogaea* cv. P43), le soja (*Glycine max* cv. Santoraza), le haricot (*Phaseolus vulgaris* cv. PV 014112), le riz (*Oryza sativa* cv. IRAT2RY), l'oignon (*Allium cepa* cv. Texas), le papayer (*Carica papaya*), le pois cajan (*Cajanus cajan*), le stylosanthes (*Stylosanthes guianensis* cv. Cook).

Les graines de ces plantes sont semées, après désinfection dans une solution d'hypochlorite de sodium 0,6% pendant 45 min et rinçage à l'eau distillée, dans les sachets, sauf pour le manioc dont nous avons utilisé des boutures de 20 cm avec au moins 6 yeux. Pour briser la dormance, les graines de stylosanthes et de leucaena ont subi un prétraitement d'immersion dans l'eau à 50°C (15 min) et à 90°C (5 min) respectivement. Les boutures de manioc ont été désinfectées dans une solution de 2 g l<sup>-1</sup> de captan 50 WP. L'inoculation a eu lieu 8 jours après l'application du fumigant lorsque tout danger de toxicité est écarté.

### Production de l'inoculum endomycorhizien

La production de l'inoculum endomycorhizien a été faite en serre à l'Université Laval à Québec dans les conditions de culture suivantes : température de 24/18°C (jour/nuit), photopériode de 16 h, intensité lumineuse de 15 klx (éclairage avec lampes au sodium à haute pression de 400 W) et humidité relative d'environ 50%. Le poireau est utilisé comme plante-hôte pour la production d'inoculum endomycorhizien à partir de 3 souches de champignons endomycorhiziens non identifiés, mais différenciés morphologiquement, isolés au Zaïre : *Glomus* sp. Z<sub>1</sub>, *Glomus* sp. Z<sub>2</sub>, *Glomus* sp. Z<sub>3</sub> et de 3 espèces connues. *Glomus vesiculiferum* (Thaxter) Gerdemann & Trappe, *G. versiforme* (Karsten) Berch et *G. intraradix* Schenck & Smith dont les origines sont mentionnées au tableau I. La production d'inoculum est faite en pot de 3,6 l rempli de montmorillonite calcinée granulaire ou Tur-

face® (distribué par AIMCOR, One Parkway North, Suite 400, Deerfield, Illinois 60015 USA). Chaque pot reçoit 100 ml/semaine de la solution de Long Ashton modifiée (22) durant le premier mois et 200 ml/semaine pendant les quatre mois suivants. En d'autre temps, les pots sont arrosés selon leurs besoins avec de l'eau distillée. Un traitement phytosanitaire au Vendex® -Malathion® a été fait au deuxième et au troisième mois pour lutter contre les thrips et un autre au Pentac Aquaflo® au quatrième mois pour éliminer les acariens.

Après 5 mois de culture, les racines sont récoltées, désinfectées avec un mélange chloramine T 2% et streptomycine 200 mg/l (18), rincées à l'eau distillée stérile, asséchées partiellement, puis emballées et expédiées au Zaïre par avion. Après 48 h, les racines arrivent à destination et sont entreposées pendant un mois à 4°C jusqu'à leur utilisation.

### Production de l'inoculum rhizobien

Toutes les souches de *Rhizobium* requises pour nos expériences ont été produites en laboratoire à Kinshasa. Ce sont : 1) le *Rhizobium freedii* souche FA3 spécifique au *Glycine max*; 2) le *R. leguminosarum* biovar *Phaseoli* souche P121 spécifique au *Phaseolus vulgaris*; 3) le *Rhizobium* sp. souche CRENK-18 spécifique au *L. leucocephala* et 4) le *Bradyrhizobium* sp. souche CB756 utilisée pour les autres légumineuses tropicales (Tableau I).

Ces souches de *Rhizobium* qui croissent initialement sur le milieu YMA (yeast mannitol agar) sont multipliées dans des erlenmeyers de 250 ml sur milieu YMB (yeast mannitol broth) (28). Les cultures sont incubées à 28°C pendant 7 jours sur un agitateur afin d'assurer une bonne oxygénation du milieu. Ensuite, nous évaluons la densité des bactéries (Tableau I) en utilisant la chambre de comptage de Petroff-Hauser (28) avec l'aide du microscope photonique.

### Dispositif expérimental

Les sachets sont disposés en factorielle complètement aléatoire : 1) une factorielle 7 x 4 (six espèces différentes de champignons endomycorhiziens plus un traitement témoin et les quatre espèces de plantes non légumineuses) répétée dix fois; 2) une factorielle 14 x 6 (14 traitements : Témoin (T), *Rhizobium* (R), *Glomus* sp. Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>, *G. vesiculiferum* (VES), *G. versiforme* (VER), *G. intraradix* (INT), R + Z<sub>1</sub>, R + Z<sub>2</sub>, R + Z<sub>3</sub>, R + VES, R + VER, R + INT et les six espèces de légumineuses), le tout répété dix fois. Tous les sachets sont placés dans le jardin expérimental du Département de biologie de l'Université de Kinshasa. Une fois par semaine, on effectue une rotation de tous les sachets.

Les racines de poireau endomycorhizé utilisées pour l'inoculation sont coupées en segments d'environ 1 cm. La colonisation endomycorhizienne de ces racines est évaluée à environ 70% selon la technique décrite par Plenchette *et al.* (22). Dans chaque sachet à inoculer, on introduit 2 g de racines à 3 cm sous la surface du sol. Il faut éviter d'exposer l'inoculum endomycorhizien au soleil car les rayons UV réduisent sensiblement le potentiel colonisateur du symbiote fongique. Les sachets témoins reçoivent 2 g de racines préalablement stérilisées à l'autoclave pendant 30 min, ainsi que 50 ml de la microflore restante inférieure à 20  $\mu\text{m}$  provenant de l'eau de lavage des racines colonisées désinfectées. Dans chaque sachet, on sème 4 graines, pour le manioc nous avons utilisé 2 boutures par sachet. Avant le semis, les graines de

TABLEAU 1

## Symbiotes racinaires utilisés comme inoculant, provenance et quantité utilisée

Symbiote	Provenance	Quantité utilisée
<i>G. vesiculiferum</i>	V. Furlan, Agriculture Canada Sainte-Foy (Québec)	2 g racines colonisées/sachet
<i>G. intraradix</i>	V. Furlan, Agriculture Canada Sainte-Foy (Québec)	2 g racines colonisées/sachet
<i>G. versiforme</i>	V. Furlan, Agriculture Canada Sainte-Foy (Québec)	2 g de racines colonisées/sachet
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	Récolté par l'auteur (K.P.) au Mayumbe (Zaire)	2 g de racines colonisées/sachet
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	Récolté par l'auteur (K.P.) au Mayumbe (Zaire)	2 g de racines colonisées/sachet
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	Récolté par l'auteur (K.P.) au Mayumbe (Zaire)	2 g de racines colonisées/sachet
<i>Rhizobium fredii</i> souche FA3	Projet National Engrais (FAO) du département de l'agriculture (Kinshasa, Zaire), souche originaire de Montpellier (France)	10 ml/pot (9,5 × 10 <sup>7</sup> bactéries/ml)
<i>R. leguminosarum</i> biovar <i>Phaseoli</i> souche P121	R. Lalonde, Agriculture Canada Sainte-Foy (Québec)	10 ml/pot 5,6 × 10 <sup>6</sup> bactéries/ml
<i>Rhizobium</i> sp. souche CRENK-18	Centre régional d'études nucléaires, Kinshasa (Zaire)	10 ml/pot (1,3 × 10 <sup>7</sup> bactéries/ml)
<i>Bradyrhizobium</i> sp., souche CB756	Centre régional d'études nucléaires, Kinshasa (Zaire)	10 ml/pot (5,9 × 10 <sup>6</sup> bactéries/ml)

légumineuses sont pralinées avec une suspension du *Rhizobium* spécifique. De plus, une semaine après le semis, une partie des sachets reçoit 10 ml d'une suspension du *Rhizobium* spécifique diluée à 10% v/v avec de l'eau déminéralisée stérile (Tableau I). Pour conserver un bon degré d'humidité du sol et éviter une trop forte insolation des semis, nous recouvrons les sachets d'un paillis stérilisé de *Paspalum* pendant toute la durée de l'essai. Après la germination, nous éclaircissons les semis pour ne laisser que deux plantes par sachet. Deux fois par semaine, chaque sachet est arrosé avec 300 ml d'eau.

TABLEAU 3

## Influence des différentes espèces ou souches endomycorhiziennes sur la masse de matière sèche de la partie aérienne de six espèces de légumineuses.

Traitement	Arachide	Soja	Haricot	Pois cajan	Stylosanthes	Leucaena
- <i>Rhizobium</i>						
Témoin	4,62 a	1,52 f	2,34 ef	2,40 f	0,65 bcd	1,05 e
<i>G. vesiculiferum</i>	6,79 ab	2,85 abcde	4,34 b	4,14 abc	0,58 bcd	2,46 cd
<i>G. versiforme</i>	4,52 a	1,97 ef	3,78 bcd	2,67 ef	0,38 d	2,58 cd
<i>G. intraradix</i>	6,03 ab	1,64 f	3,31 bcde	3,94 bc	0,59 bcd	2,55 cd
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	5,37 ab	2,29 def	2,89 cdef	3,28 cdef	0,65 bcd	2,87 bc
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	6,27 ab	3,24 abc	4,68 b	4,00 bc	0,74 bc	2,74 bcd
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	7,34 ab	2,72 bcde	3,88 abc	3,53 bcde	6,49 cd	2,41 cd
+ <i>Rhizobium</i>						
Témoin	5,20 a	3,44 ab	2,56 def	3,69 bcd	0,65 bcd	2,18 d
<i>G. vesiculiferum</i>	6,52 ab	2,69 bcde	-	4,36 ab	0,78 bc	3,20 ab
<i>G. versiforme</i>	6,36 ab	1,55 f	-	2,91 def	0,76 bc	2,85 bc
<i>G. intraradix</i>	6,65 ab	2,14 def	-	2,48 f	0,66 bcd	2,59 cd
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	6,02 ab	2,37 cdef	1,97 f	3,28 cdef	0,70 bcd	2,67 bcd
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	6,56 ab	3,67 a	5,90 a	3,77 bcd	0,82 ab	3,75 a
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	6,27 ab	3,00 abcd	4,50 b	4,99 a	1,17 a	2,73 bcd

Les valeurs d'une même colonne non suivies par la même lettre sont significativement différentes à P < 0,01 (Test de Waller-Duncan K-ratio), sauf pour l'arachide où P < 0,05.

TABLEAU 2

## Influence des différentes espèces ou souches endomycorhiziennes sur la masse de matière sèche (g) de la partie aérienne de quatre espèces de non légumineuses.

Traitement	Manioc	Riz	Oignon	Papayer
Témoin	3,08 a	0,78 c	0,75 b	1,26 bc
<i>G. vesiculiferum</i>	2,78 a	0,83 bc	1,40 a	2,54 a
<i>G. versiforme</i>	2,35 a	1,02 a	1,10 ab	1,53 bc
<i>G. intraradix</i>	3,17 a	1,02 a	0,71 b	1,20 c
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	3,33 a	0,95 ab	1,29 a	1,67 b
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	3,10 a	0,85 bc	1,30 a	2,20 a
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	2,87 a	0,89 abc	1,29 a	1,42 bc

Les valeurs d'une même colonne non suivies par la même lettre sont significativement différentes à P < 0,01 (Test de Waller-Duncan K-ratio).

## Récolte des plants

A la cinquième semaine, tous les plants sont récoltés. Les parties aériennes sont séchées à 75°C pendant 48 h puis on mesure la masse de matière sèche. Au moment de la récolte, un échantillon représentatif de racines de chaque traitement est prélevé et conservé dans le FAA [formaldéhyde 37% (65 ml), acide acétique glacial (25 ml), alcool éthylique 50% (1000 ml)]. Dans le cas des légumineuses, nous avons enregistré le nombre de nodules et leur masse de matière sèche après séchage à 75°C pendant 48 h. Les quelques cas de contamination par le *Rhizobium* dans les traitements sans *Rhizobium* sont éliminés du traitement concerné. Les racines sont éclaircies au KOH 10% par autoclavage et colorées à la fuschsine acide à 0,05% (13). Le pourcentage de colonisation endomycorhizienne est évalué au microscope (22). Les analyses statistiques des données sont également effectuées (26,29).

## Résultats

Dans nos conditions expérimentales, pour l'ensemble des dix espèces de plantes, les souches de champignons endomycorhiziens Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> et le *G. vesiculiferum* sont les plus efficaces pour stimuler la croissance des plantes (Tableaux II et III). Chez les plants du papayer, la masse de matière sèche des plants inoculés avec *G. vesiculiferum* et *Glomus*

TABLEAU 4

Influence de différentes espèces ou souches endomycorhiziennes en présence du *Rhizobium* sur la nodulation de six espèces de légumineuses.

Traitement	Arachide		Soja		Haricot		Pois cajan		Stylosanthes		Leucaena	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
+ <i>Rhizobium</i>												
Témoin	288,6 a	152,9 a	27,6 ab	93,6 ab	15,2 b	30,0 b	14,7 a	50,1 a	55,3 a	10,7 a	13,5 a	17,8 a
<i>G. vesiculiferum</i>	299,2 a	192,3 a	31,5 a	127,5 a	-	-	21,7 a	97,0 a	66,8 a	8,1 a	8,3 a	16,7 a
<i>G. versiforme</i>	310,2 a	164,9 a	14,8 b	54,7 ab	-	-	14,2 a	34,3 a	78,2 a	12,3 a	4,3 a	15,0 a
<i>G. intraradix</i>	362,8 a	217,5 a	14,0 b	40,0 b	-	-	22,2 a	91,2 a	68,5 a	9,8 a	9,3 a	25,3 a
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	348,8 a	170,2 a	17,2 ab	59,9 ab	2,0 c	8,0 c	18,8 a	53,1 a	61,3 a	9,1 a	6,8 a	65,3 a
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	251,2 a	188,4 a	23,7 ab	92,3 ab	30,2 a	91,4 a	25,3 a	97,2 a	85,8 a	19,1 a	15,0 a	63,7 a
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	255,0 a	428,7 a	26,0 ab	92,8 ab	12,2 b	12,4 c	11,3 a	52,98a	78,6 a	19,5 a	7,5 a	54,7 a

Les valeurs d'une même colonne non suivies par la même lettre sont significativement différentes à  $P < 0,01$  (Test de Waller-Duncan K-ratio).

A. Nombre de nodules/plant. B: Masse de matière sèche des nodules/plant (mg).

sp. Z<sub>2</sub> est significativement plus grande que celle des plants témoins. Chez le riz, *G. intraradix*, *G. versiforme* et *Glomus* sp. Z<sub>1</sub> stimulent la croissance des plants de manière très significative comparé aux plants non inoculés. Chez les plants de manioc, l'endomycorhization n'a aucun effet et les plants inoculés ont montré des symptômes d'attaque virale. Quant aux plants d'oignon, quatre champignons endomycorhiziens (*G. vesiculiferum*, *Glomus* sp. Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub>) sont significativement plus efficaces, par rapport au témoin (Tableau II).

Chez les légumineuses, à l'exception de l'arachide et du stylosanthes, la réponse à l'endomycorhization par rapport au témoin est très variable selon l'espèce végétale (Tableau III). La double symbiose *Rhizobium-Glomus* sp. Z<sub>2</sub> contribue à augmenter de façon très significative la masse de matière sèche des plants de leucaena et de haricot. Tandis que le couple *Glomus* sp. Z<sub>3</sub> — *Rhizobium* s'avère plus efficace chez le stylosanthes et le pois cajan comparativement aux autres traitements. Chez le haricot nous avons constaté une floraison plus hâtive chez les plants inoculés avec *Glomus* sp. Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub>. Toutes les légumineuses ont formé des nodules racinaires pourvus de leghémoglobine à l'exception des plants de haricot et de stylosanthes. Les différences dans le nombre de nodules et la masse de matière sèche suivant les

traitements ne sont pas significatives (Tableau IV), sauf pour le soja et le haricot, dues aux grandes variances observées. Toutes les plantes inoculées ont été colonisées selon un pourcentage variable par les six espèces et souches de champignons endomycorhiziens (Tableau V). Les plus hauts taux moyens de colonisation endomycorhizienne ont été obtenus avec l'oignon et le papayer chez les non légumineuses (15%) et avec l'arachide (19%) et le haricot (18%) chez les légumineuses. Parmi toutes les espèces de plantes-hôtes cultivées, le manioc a eu le plus faible pourcentage de colonisation endomycorhizienne, suivi dans l'ordre croissant, du riz, du pois cajan, du soja, du leucaena et du stylosanthes.

## Discussion

Sous nos conditions de culture, le rendement des différentes espèces de plantes cultivées est influencé de manière très variable selon l'espèce de champignon endomycorhizien et le sol utilisés. De plus, ces différences peuvent s'expliquer par le degré de compatibilité entre la plante-hôte et l'espèce de symbiote fongique, ainsi que par l'efficacité de ce dernier à absorber les éléments minéraux de la solution du sol, notamment le phosphore (1,21). La différence peut aussi être attribuée aux caractéristiques morphologiques particulières du système racinaire de chaque plante incluant la fibrosité

TABLEAU 5

Pourcentage de la colonisation endomycorhizienne selon l'espèce de plante-hôte et le traitement.

Traitement	Manioc	Riz	Oignon	Papayer	Arachide	Soya	Haricot	Pois cajan	Stylosanthes	Leucaena
- <i>Rhizobium</i>										
Témoin	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 e	0,0 d	0,0 e	0,0 d	0,0 e	0,0 c
<i>G. vesiculiferum</i>	3,3 ab	2,6 bc	20,3 a	19,2 a	13,6 bcde	10,3 abc	23,0 a	2,8 d	14,5 bc	16,1 a
<i>G. versiforme</i>	3,3 ab	1,4 bc	7,2 a	4,2 bc	17,2 abcd	15,6 a	9,7 d	6,1 abcd	9,7 bcd	6,2 abc
<i>G. intraradix</i>	5,0 ab	5,6 ab	14,2 a	16,7 a	14,9 bcd	3,3 bcd	18,9 abc	2,7 d	9,1 cd	12,2 ab
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>	2,8 b	6,3 ab	15,1 a	14,7 ab	16,9 abcd	7,6 bcd	14,8 bcd	4,4 bcd	7,5 d	10,9 ab
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>	1,4 b	7,9 b	23,3 a	14,2 bc	27,8 ab	8,6 abcd	22,0 ab	6,0 abcd	28,3 a	10,0 abc
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>	8,3 a	5,8 ab	12,0 a	22,6 a	24,7 abc	11,7 ab	25,5 a	3,7 cd	15,8 b	5,4 bc
+ <i>Rhizobium</i>										
Témoin					0,0 e	0,0 d	0,0 e	0,0 d	0,0 e	0,0 e
<i>G. vesiculiferum</i>					11,4 cde	2,6 cd	-	3,3 cd	11,7 bcd	5,9 bc
<i>G. versiforme</i>					10,3 de	8,3 abcd	-	2,6 d	13,3 bcd	7,2 abc
<i>G. intraradix</i>					14,2 bcde	5,1 bcd	-	10,3 ab	26,7 a	7,1 abc
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>1</sub>					19,2 abcd	8,3 abcd	14,4 bcd	12,1 a	8,9 cd	6,7 abc
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>2</sub>					26,9 ab	7,8 abcd	25,1 a	9,0 abc	26,7 a	13,0 ab
<i>Glomus</i> sp. Z <sub>3</sub>					30,0 a	-	11,1 cd	5,0 bcd	10,0 bcd	9,0 abc
Moyenne	4,0	4,9	15,4	15,3	18,9	8,1	18,3	5,7	15,2	9,1

Les valeurs d'une même colonne non suivies par la même lettre sont significativement différentes à  $P < 0,01$  (Test de Waller-Duncan K-ratio).

du système racinaire, la longueur des racines latérales et le pourcentage relatif de racines latérales par rapport à la masse de matière sèche du système racinaire entier (23). Chez l'arachide et le manioc, il n'y a pas eu de stimulation de la croissance avec l'un ou l'autre des inoculums endomycorhiziens utilisés. Non seulement ceci pourrait être attribuable à une trop faible colonisation endomycorhizienne, ou à la brève période de culture, mais également à des conditions de culture non optimales tant pour la plante-hôte que pour les symbiotes fongiques. En effet, un développement endomycorhizien normal et un rendement plus élevé ont déjà été observés, mais chez des plants endomycorhizés de l'arachide cultivés en milieu contrôlé (6). Dans ce cas, le *G. mosseae* a été utilisé, espèce qui n'a pas été observée par le Dr S. Berch à qui nous avons demandé d'analyser nos souches de champignons isolés au Zaïre. D'autre part, le manioc pourrait se comporter comme l'arachide puisque certains auteurs (7,9,27) rapportent des résultats qui démontrent la forte dépendance de cette plante pour des champignons endomycorhiziens différents de ceux que nous avons utilisés. La double symbiose racinaire, endomycorhize-*Rhizobium*, a augmenté de façon significative la croissance d'un certain nombre d'espèces de légumineuses (leucaena, soja, haricot et pois cajan) comparé à des plants inoculés avec un seul des deux microsymbiotes ou à des plants non inoculés; ces résultats concordent avec ceux d'autres sources (8,15).

Bien que toutes les plantes-hôtes inoculées soient endomycorhizées, l'efficacité relative des espèces ou souches de champignons endomycorhiziens doit préalablement être comparée sous différentes conditions de culture; ceci afin d'optimiser le rendement (1). Évidemment, dans la mesure du possible, la période de culture devrait s'étendre jusqu'à la maturité complète des plants pour une évaluation réelle des effets des symbiotes racinaires.

Chez certaines légumineuses, la double inoculation a diminué la colonisation endomycorhizienne probablement en raison de la compétition pour l'utilisation des glucides par les deux microsymbiotes; ceci pourrait être le cas du *G. vesiculiferum* chez le leucaena et le soja, et du *Glomus* sp. Z<sub>3</sub>, chez le haricot. L'effet synergique ne se manifeste pas toujours dans la double symbiose. Des effets antagonistes ont été observés chez le soja entre le champignon endomycorhizien et la nodulation dus à la compétition pour les glucides entraînant ainsi une baisse de productivité (3). Ces mêmes auteurs soulignent que le moment de l'inoculation d'un des deux endophytes affectent l'établissement de l'autre. Ils en concluent que pour une double symbiose plus efficace, il est préférable d'inoculer les deux endophytes en même temps. Cependant, nous avons constaté un effet

synergique dans la colonisation racinaire lors de l'inoculation avec le *Rhizobium* et le *Glomus* sp. Z<sub>1</sub>, chez les plants du pois cajan, alors que le *G. intraradix* a produit un tel effet chez le pois cajan et le stylosanthes. Dans tous les autres cas, nous avons obtenu un effet neutre. Le haricot et le stylosanthes ont formé des nodules inactifs, ceci indiquerait que les gènes nod sont fondamentalement différents des gènes nif (12). Nous avons constaté que le *R. leguminosarum* biovar *Phaseoli* souche P121 particulièrement efficace chez le *P. vulgaris* cv. Goldie dans les expériences au Canada (14) ne l'est pas du tout dans nos conditions d'essai chez le *P. vulgaris* cv. 014112. L'expression des gènes nif est probablement fonction du cultivar, de la fertilité du sol et des conditions environnementales de l'expérience tandis que l'expression des gènes nod est régie par les métabolites présents dans les exsudats racinaires (11).

Cette étude a permis de déterminer les champignons endomycorhiziens les plus efficaces pour chacune des espèces de plantes cultivées dans cette expérience. En général, nos résultats montrent que les souches de champignons *Glomus* sp. Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> et le *G. vesiculiferum* sont supérieurs dans nos conditions. Le leucaena (essence particulièrement intéressante en agroforesterie), le soja et le haricot (deux légumineuses vivrières à graines), le papayer (plante fruitière), le stylosanthes (plante fourragère), l'oignon (plante légumière) et le pois cajan (plante améliorante en jachère) ont particulièrement bien répondu à l'inoculation de ces trois souches et espèces de champignons endomycorhiziens.

Même si le *G. vesiculiferum* provient du nord du Québec (55°N, 79°O), donc d'une région froide, elle a bien stimulé la croissance chez plusieurs espèces végétales, du moins pour la courte durée de culture. Les souches du *Glomus* sp. Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub> se sont avérées très efficaces dans nos conditions d'essai. Les espèces seront identifiées et multipliées. D'autres études en champ suivront pour évaluer leur compétitivité en présence d'autres champignons endomycorhiziens indigènes ou connus.

Afin d'obtenir le meilleur profit des symbiotes racinaires (champignons endomycorhiziens, *Rhizobium*), il est indispensable de déterminer leur compatibilité, leur efficacité et leur synergisme sur les plantes-hôtes importantes cultivées au Zaïre. Ceci dans les meilleures conditions environnementales possibles, en particulier celle d'une fertilité optimale du sol.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude au Centre de recherches pour le développement international (CRDI) à Ottawa, Canada, qui a subventionné ce travail de recherche : projet n° 3-P-84-0132.

## Références bibliographiques

1. Abbott L.K. et Robson A.D., 1984. The effect of VA micorrhizae on plant growth. *In: VA mycorrhiza*. C.L.I. Powell et D.J. Bagyaraj (éd.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 113-130.
2. Bagyaraj D.J., 1984. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. *In: VA mycorrhiza*. C.L.I. Powell et Bagyaraj D.J. (éd.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 131-153.
3. Bethlenfalvay G.J., Brown M.S. et Stafford A.E., 1985. *Glycine-Rhizobium* symbiosis. II. Antagonistic effects between mycorrhizal colonization and nodulation. *Plant Physiol.* **79**: 1054-1058.
4. Bray R.H. et Kurtz L.T., 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus. *Soil Sci.* **59**: 39-42.
5. Cooper K.M., 1984. Physiology of VA mycorrhizal association. *In: VA mycorrhiza*. C.L.I. Powell et Bagyaraj D.J., (éd.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 155-185.
6. Daft M.J. et El-Giahmi A.A., 1976. Studies on nodulated and mycorrhizal peanuts. *Ann. Appl. Biol.* **83**: 273-276.
7. Ezeta F.N. et De Carvalho P.C.L., 1982. Influência da endomicorriza na absorção de PeKe no crescimento da mandioca. *Rev. Bras. Ci. Solo* **6**: 25-28.
8. Ganry F., Diem H.G., Wey J. et Dommergues Y.R., 1985. Inoculation with *Glomus mosseae* improves N<sub>2</sub> fixation by field grown soybeans. *Biol. Fert. Soils* **1**: 15-23.
9. Howeler R.H., Cadavid L.F. et Burckhardt E., 1982. Response of Cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. *Plant and Soil* **69**: 327-339.
10. Johnson C.P. et Menge J.A., 1982. Mycorrhizae may save fertilizer dollars. *Am. Nurseryman* **156**: 79-81
11. Kent N.P., Frost J.W. et Long S.R., 1986. A plant flavone, luteolin, induces expression of *Rhizobium meliloti* nodulation genes. *Science* **233**: 977-980.
12. Kondorosí E et Kondorosí A., 1986. Nodule induction on plant roots by *Rhizobium*. *Tibs* **11**: 296-299.
13. Kormanik P.P. et McGraw A.C., 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. *In: Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. N.C. Schenck (éd.). ASP, St. Paul, Minnesota, USA. 37-45.
14. Lalonde R., Antoun H., Paré T. et Joyal P., 1986. Effets de l'inoculation avec des souches du *Rhizobium leguminosarum* biovar *Phaseoli* sur le rendement et la teneur en azote du haricot (*Phaseolus vulgaris*). *Nat. Can.* **113**: 337-346.
15. Manjunath A., Bagyaraj D.J. et Gopala Gowda H.S., 1984. Dual inoculation with VA mycorrhiza and *Rhizobium* is beneficial to *Leucaena*. *Plant and Soil* **78**: 445-448.
16. Menge J.A., 1984. Inoculation production. *In: VA mycorrhiza*. C.L.I. Powell et D.J. Bagyaraj (éd.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 187-203.
17. Menge J.A., Lembricht H. et Johnson E.L.V., 1977. Utilization of mycorrhizal fungi in citrus nurseries. *Proc. Int. Soc. Citriculture* **1**: 129-132.
18. Mosse B., 1959. The regular germination of resting spores and some observations on the growth requirements of an *Endogone* sp. causing vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Trans. Br. mycol. Soc.* **42**: 273-286.
19. Mosse B., 1973. Advances in the study of VA mycorrhiza. *Ann. Rev. Phytopathol.* **11**: 171-196.
20. Owusu-Bennoah E. et Mosse B., 1979. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XI. Field inoculation responses in barley, lucerne and onion. *New Phytol.* **83**: 671-679.
21. Plenchette C., 1982. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA): un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection* **63**: 86-108.
22. Plenchette C., Furlan V. et Fortin J.A., 1982. Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **107**: 535-538.
23. Pope P.E., Chaney W.R., Rhodes J.D. et Woodhead S.H., 1983. The mycorrhizal dependency of four hardwood tree species. *Can. J. Bot.* **61**: 412-417
24. Ross J.P. et Harper J.A., 1970. Effect of *Endogone* mycorrhiza on soybean yields. *Phytopathology* **60**: 1552-1556.
25. Safir G.R., 1980. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and crop productivity. *In: The biology of crop productivity*. P.S. Carlson (éd.). Academic Press, Inc., NY, USA. 231-252.
26. SAS. 1985. SAS user's guide: Statistics (version 5th edition). SAS Institute Inc., Box 8000, Cary, NC 27511-8000 USA.
27. Sieverding, E. et Howeler R.H., 1985. Influence of species of VA mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. *Plant and Soil* **88**: 213-221
28. Somasegaran, P. et Hoben H.J., 1985. Methods in Legume - *Rhizobium* technology. Research report from University of Hawaii, NIFTAL project and MIRCEN. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. 367 p.
29. Waller, R.A. et Duncan D.B., 1969. «A Bayes rule for the symmetric multiple comparison problem». *Journal of American Statistical Association* **64**: 1484-1499.

Khasa, P.: Zaïrois; B.Sc. agronomie, M.Sc. génie forestier; présentement étudiant au doctorat (Ph.D.), faculté de foresterie, Université Laval, Québec.

Furlan, V. Canadien; B.Sc. biologie végétale, D.Sc. écologie forestière; présentement chercheur scientifique, Agriculture Canada, Sainte-Foy, Québec.

Fortin J.A. Canadien; B.Sc. biologie, M.Sc. botanique, D.Sc. biologie forestière; présentement directeur de l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal.