

**GOUVERNEMENT DU CANADA  
SOUSSION AU SBSTTA**

**Chercheur scientifique principal:**

Yolande Dalpé,  
Centre de recherches de l'est sur les céréales et les oléagineux (CRECO)  
Direction générale de la recherche  
Agriculture et agroalimentaire Canada  
Edifice Wm. Saunders, Ferme expérimentale centrale  
Ottawa, Ontario, Canada K1A 0C6

**BIODIVERSITÉ DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS**

**1. Introduction**

Ce n'est que depuis quelques décennies seulement que les botanistes et mycologues ont réalisé que la majorité des plantes terrestres vivent en symbiose avec des champignons du sol (Mosse, 1956). Le terme mycorhize, créé pour l'occasion nous vient d'ailleurs de la combinaison de deux mots, l'un grec *mikès* (champignon) et l'autre latin *rhiza* (racines), il désigne donc essentiellement l'association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes. Parmi les types de mycorhize observés dans la nature il en est un qui se retrouve sur la grande majorité des plantes cultivées, il s'agit des mycorhizes à arbuscules qui vivent en association avec environ 85% des plantes herbacées. C'est donc dire que dans le monde végétal la symbiose mycorhizienne est la règle plutôt que l'exception.

Il y a 400 millions d'années, alors que les continents étaient pratiquement déserts, végétaux et champignons s'associaient, l'un capable d'utiliser l'énergie solaire pour se développer, l'autre passé maîtres dans l'art d'absorber des composantes du sol. C'est de la complémentarité de rôle et de fonction de ces organismes que naquirent au cours des ères géologiques subséquentes les plantes terrestres dans toute leur diversité. C'est ainsi qu'aujourd'hui, les champignons à arbuscules (CMA) se retrouvent sous tous les climats, dans tous les écosystèmes et ce, indépendamment du type de sol, de la végétation ou des conditions de croissance.

Une symbiose désigne une association d'organismes vivants dont chacun des partenaires bénéficie afin de mieux survivre, se nourrir et se reproduire. Les CMA, champignons microscopiques du sol, colonisent simultanément les racines et leur rhizosphère en s'y propageant sur plusieurs centimètres sous la forme de filaments ramifiés. Ce réseau filamenteux, greffé aux racines permet à la plante d'accéder à une plus grande quantité d'eau et de minéraux du sol nécessaires à sa nutrition (Fig. 1). En échange, la plante fournit au champignons les sucres, acides aminés et vitamines essentiels à sa croissance (Harley & Smith, 1983). Mieux nourrie, une plante mycorhizée croît davantage, fructifie abondamment et surtout acquiert une meilleure résistance aux stress environnementaux tels que la sécheresse, le froid et les pathogènes racinaires (Sylvia & Williams, 1992).

Sachant que la majorité des plantes cultivées qui servent à l'alimentation humaine et animale, sont mycorhizées, on peut envisager d'exploiter cette symbiose au profit de l'agriculture en sélectionnant les meilleurs couples plante-champignon (Abbott & Robson, 1991). Il devient ainsi possible de favoriser des systèmes culturaux plus sains, de réduire l'usage d'intrants chimiques (pesticides, fertilisants) tout en assurant la rentabilité des cultures et la qualité de l'environnement. C'est dans cette optique que s'est développé le projet d'étude de la biodiversité des CMA par le biais d'inventaires des sols indigènes et agricoles (Dalpé, 1989; Dalpé et al, 1986; Hamel, 1994,96,97; Bâ et al, 1996; Diop et al. 1997), le développement de banque de souches, de bases de données taxonomiques, de descriptions fongiques (Dalpé, 1995; Koske, 1986,92) et de documents taxonomiques informatisés (Dalpé & Séguin, en préparation).

Le Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux d'Agriculture et agroalimentaire Canada (CRECO), est actuellement le seul établissement canadien qui possède et entretient une collection de référence de CMA, disponibles aux intervenants de l'industrie, des agences gouvernementales, des universités ou des producteurs privés. Tous les services relatifs à l'approvisionnement et l'identification des souches ainsi que ceux de consultations sont présentement offerts au Centre. Plusieurs ententes de recherche concertée avec des entreprises de fertilisants naturels, d'inocula mycorhiziens et de géotextiles sont en cours et d'autres dans les domaines de la micropropagation et des fertilisants liquides se négocient présentement.

La plupart des travaux en cours dans le domaine des mycorhizes, que ce soit aux niveaux universitaire, industriel et gouvernemental visent principalement

- à inventorier les CMA des sols indigènes et agricoles,
- à comprendre les rouages biologiques et physiologiques de ce phénomène de symbiose végétale,
- à exploiter ces microorganismes du sol pour le développement de l'agriculture,

Toutefois, malgré la démonstration expérimentale répétée des bénéfices engendrés par l'usage des mycorhizes en agriculture, cette biotechnologie demeure dans l'ombre et toujours sous-exploitée, reconnue jusqu'à ce jour par le monde scientifique et quelques industries d'avant-garde. Pour parvenir à faire adopter par les instances décisionnelles, nationales et internationales, cette avenue de développement il faut persévérer dans l'acquisition de connaissances, principalement dans les domaines de la biodiversité et de l'exploitation logique et efficace de cette biodiversité.

## 2. Mycorhizes à arbuscules

### 2.1 Biologie et taxonomie

**Morphologie et nutrition:** Les CMA développent dans le sol un réseau important de filaments microscopiques (Fig. 2); lorsque les filaments de ces organismes fongiques entrent en contact avec une jeune racine, ils s'y fauflent entre les cellules corticales et se propagent rapidement en différenciant des arbuscules intracellulaires et dans certains cas, des vésicules intercellulaires (Fig.3). On nomme ces organismes des champignons à arbuscules justement en référence à la forme des structures qu'ils différencient dans les racines. Des spores sont également différenciées soit dans le sol et dans les racines; elles servent d'organes de réserve et de propagation ainsi que de structure de référence pour l'identification des espèces (Fig. 4). On ne possède à ce jour aucun indice sérieux quant à la sexualité des CMA, leur association avec les Zygomycètes vient de la similitude de leurs spores avec celle d'autres représentants connus de cette classe.

Le contact étroit créé entre la plante et le champignon par le biais du réseau filamenteux constitue le siège d'échanges nutritifs permettant la survie et la croissance des deux partenaires. D'une part, le champignon largement dispersé dans le sol par le biais de son important réseau de filaments, a accès à un beaucoup plus fort volume de sol que le système racinaire lui-même. Les filaments fongiques servent donc ni plus ni moins que de pompe pour diriger vers la racine un supplément d'eau et de sels minéraux auquel celle-ci n'aurait pas normalement accès. En échange, le champignon reçoit de la plante des éléments métabolisés qu'il s'avère incapable de synthétiser lui-même, tels que sucres, acides aminés et métabolites secondaires (Fig. 1).

**Bénéfices de la symbiose:** La plante mycorhizée s'avère mieux nourrie et mieux adaptée à son environnement (Figs 10,11,12). Elle acquiert ainsi une protection accrue contre les stress environnementaux (Sylvia et Williams, 1992) notamment la sécheresse (Subramanian et al. 1995), le froid (Charest et al. 1993; Paradis et al. 1995), la salinité élevée (Davis & Young, 1985) et la pollution (Leyval et al. 1994; Shetty et al. 1995). De plus, la symbiose tend à réduire l'incidence des maladies racinaires et minimise l'effet nocif de certains agents pathogènes (Dehne, 1982; St-Arnaud et al. 1995). Globalement, les plantes mycorhizées voient leur croissance et leur santé améliorées et acquièrent du coup une protection accrue contre les conditions environnementales défavorables à leur survie.

**Taxonomie:** Les CMA appartiennent à une catégorie très ancienne de champignon, les Zygomycètes et ont été regroupés récemment en un ordre, les Glomales (Morton & Benny, 1990) qui comprend toutes les espèces capables de vivre en symbiose avec les plantes. L'essentiel des espèces connues appartient à la famille des *Glomacées* (Pirozynski & Dalpé, 1989) formée des genres *Glomus* et *Sclerocystis*. L'ensemble des CMA compte actuellement environ 160 espèces distribuées en trois familles et 6 genres, avec une distribution mondiale. L'essentiel des espèces connues ont été décrites durant les deux dernières décennies ce qui indique d'une part l'intérêt accru pour ces organismes et d'autre part la difficulté inhérente à leur traitement taxonomique. En fait, la plus grande difficulté vient de ce que toute la taxonomie de ces organismes repose actuellement sur les caractères morphologiques des spores. Il s'agit de structures unicellulaires, de forme généralement globoïde, à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures, reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur de morphologie variée (Fig. 4). Les caractères morphologiques étant réduits et souvent variables selon la maturité des spores étudiées, les études ultrastructurales (Fig. 6,7) permettent d'appuyer les observations faites préalablement en microscopie optique. De plus les approches moléculaires bien qu'encore exploratoires permettent de détecter pour quelques espèces seulement, à l'aide de sondes spécifiques la présence qualitative et quantitative d'un champignon directement dans son substrat (Moutoglis, 1997).

**Culture:** Une embûche de taille qui ralentit les travaux sur la biodiversité et l'exploitation de ces microorganismes du sol vient de leur état de symbiote obligatoire. Ces champignons ne peuvent croître qu'en présence d'une plante vivante c'est donc dire que leur propagation nécessite l'utilisation de cultures en pots effectuée soit en serres ou en chambre de croissance (figs 8,9). Pour remédier à cette barrière, une méthode de culture in vitro sur racines excisées (Fig. 5) a été mise au point, mais seulement une demi-douzaine de souches sont actuellement disponibles en culture axénique. Cette méthodologie relativement récente constitue toutefois une avenue très prometteuse pour le développement des études de biodiversité, de taxonomie, d'ontogénie des spores et de vérification du potentiel mycorhizien des souches isolées. Un dernier aspect cette fois des plus positif, les CMA s'avèrent non spécifiques quant au choix de leur plante partenaire, ce qui permet de cultiver avec succès un même champignons sur un grand nombre d'espèces végétales.

## 2.2 Biodiversité et potentiel agricole

Cette performance accrue des plantes mycorhizées à puiser leur nourriture dans le sol et à résister aux stress environnementaux confère aux symbiotes fongiques un rôle de biofertilisant et d'agent de protection des cultures. Côté agricole, l'utilisation accrue des minéraux du sol par les plantes mycorhizées permet d'envisager une réduction substantielle de l'apport externe d'engrais et de pesticides tout en maintenant des rendements de culture au moins équivalents sinon supérieurs (Abbott & Robson, 1991). Parallèlement, une gestion adéquate des mycorhizes en milieu agricole permet de prolonger la qualité et la durabilité des sols tout en protégeant à long terme l'environnement et en réduisant les coûts de production (Figs 9,13).

## 3. Objectifs généraux du projet de recherche

L'expertise du CRECO sur les CMA est actuellement associée à l'étude sur les ressources fongiques du programme des ressources biologiques. Les objectifs généraux du projet consistent à:

- ▶ améliorer et diversifier la collection de cultures mycorhiziennes
- ▶ évaluer le potentiel mycorhizien des souches sur une variété de plantes cultivées
- ▶ développer une grille de référence des meilleurs couples plante-champignon capables de favoriser une croissance optimale des plantes mycorhizées lorsque cultivées en milieu sous-fertilisé

Les principaux sous-objectifs consistent à:

- ▶ inventorier les sols agricoles et indigènes afin d'isoler, caractériser et identifier de nouvelles souches, diversifier les sources d'inocula et déceler les plus performantes pour la production et la protection végétale

- ▶ propager et évaluer leur potentiel mycorhizien en milieu sous-fertilisé
- ▶ mettre au point des techniques de cryopréservation pour la conservation à long terme des souches
- ▶ produire et publiciser des didacticiels, des clés taxonomiques informatisées et des documents vidéo afin de bien former et informer les intervenants impliqués dans la recherche et le développement des mycorhizes
- ▶ mettre au point des techniques de micropropagation pour l'obtention de cultures pures de haute qualité

#### **4. Méthodologies utilisées**

**Isolement de souches:** par tamisage et gradient de sucrose suivi de l'extraction de spores fongiques sous stéréomicroscope et de leur caractérisation en microscopie optique et électronique à l'aide d'outils cytochimiques

**Propagation des souches fongiques:** effectuée en chambres de croissance sur des plantes vivantes et par micropropagation sur racines transformées avec *Agrobacterium tumefaciens*

**Caractérisation des souches:** en microscopie optique pour évaluer les caractères morphologiques propres à distinguer les espèces, en microscopie électronique à balayage et à transmission dans le but de décrire les espèces nouvellement observées en utilisant des outils histochimiques propres à mettre en évidence les caractères utiles pour faciliter la distinction des espèces en milieu de travail appliqué.

**Conservation à long terme:** à l'aide de techniques de cryopréservation tel que lyophilisation, incubation à faible température et azote liquide

**Évaluation du potentiel mycorhizien:** effectuée en serres sur différentes plantes cultivées; biomasse, maturation, photosynthèse, contenu en sucre, protéines et minéraux étant les paramètres physiologiques et biochimiques utilisés pour évaluer la réaction des plantes à la mycorhization

**Clés d'identification illustrées et informatisées:** en microscopie optique, à l'aide de système de capture d'images, d'illustrations de haute qualité provenant du matériel développé dans la banque de souches et d'observation des CMA cultivées in vivo et in vitro.

#### **5. Produits et technologies en développement**

- Inventaire sur la diversité des CMA en milieu tempéré, sols agricoles et indigènes
- Banque de souches fongiques disponibles pour la recherche et pour l'industrie
- Grille d'évaluation du potentiel de souches EMA sur différentes cultures végétales
- Méthodologie pour l'évaluation pratique des bénéfices de la symbiose sur la production végétale.
- Méthodologie pour le traitement et la propagation de souches en culture in vitro
- Document informatisé, vidéo livrant les notions élémentaires de la taxonomie des EMA et illustrant les espèces fongiques les plus fréquemment observées dans les milieux agricoles.
- Clé visuelle d'identification des espèces traitées dans le document vidéo

6. État actuel de la recherche

Les travaux actuellement poursuivis sur les mycorhizes visent l'inventaire des sols agricoles et indigènes en espèces mycorhiziennes, la culture et la propagation des souches retenues de ces inventaires, l'évaluation du potentiel mycorhizien de ces mêmes souches en vue du développement des endomycorhizes comme agents de protection des végétaux et comme biofertilisants pouvant assurer la longévité des écosystèmes agricoles tout en soutenant une production végétale abondante et de qualité.

Les domaines, avenues de recherche et résultats globaux obtenus dans le cadre de la présente étude sur les mycorhizes sont présentées dans le tableau ci-dessous:

<b>BIODIVERSITÉ</b>		
Inventaires	Sols agricoles	Hamel et al. 1996 (Jachères Québec)
		Dalpé et al. 1986 (Arbres fruitiers Québec)
		Bâ et al. 1996 (Maïs, Burkina Faso)
		Diop et al. 1997 (Acacias, Sénégal)
	Sols indigènes	Dalpé, 1989 (Dunes riveraines Est du Canada)
		Dalpé & Aiken, 1992,97 (Arctique canadien)
Dalpé 1993,97 (Dunes riveraines, Grands-Lacs)		
Outils taxonomiques	Herbier	250 spécimens de références
	Banque de souches	120 souches de références
	Bases de données	photographiques, taxonomiques, distribution
	Biochimie des lipides	Grandmougin et al. (95,97), Sancholle & Dalpé, (92,93)
	Ultrastructure	11 espèces traitées,
	Descriptions	Fungi Canadenses (6 espèces décrites)
3 Espèces nouvellement répertoriées des régions des Grands-Lacs et de l'Arctique canadien		

**EXPLOITATION DE LA BIODIVERSITÉ DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS**

Potentiel mycorhizien	Serres	Blé	résistance au froid (Paradis et al. 1995)
		Maïs	évaluation du potentiel de souches CMA (Boucher et al. 1997)
		Gazon	Fertilisation (Boudreault et al. 1997)
	Champs	Arbres	Survie en milieu urbain (entente avec industries)
		Maïs	Rendement agricole
			Réduction de fertilisation
			Pérennité des souches
		Gazon	Bénéfices, ensemencement de pelouses (Industries)
			Effet comparé de différentes souches fongiques
	Compatibilité avec fertilisants naturels (Industries)		
Conservation à long terme	Viabilité	Analyse comparée des technologies disponibles	
		Établissement d'une banque de souches cryopréservées	

**6. Impact des données de la recherche sur les mycorhizes sur la prise de décision en agriculture**

Le principal but visé par la recherche concertée sur la biodiversité des CMA est de contribuer à l'adoption de la biotechnologie des mycorhizes dans les milieux agricoles afin de graduellement intégrer cette technologie aux pratiques agricoles conventionnelles. Ainsi, à moyen terme, on pourra travailler à rétablir la qualité des sols et prolonger sinon assurer leur pérennité.

Il a été démontré qu'une gestion appropriée des mycorhizes en agriculture permet une réduction substantielle de l'apport d'intrants chimiques réduisant ainsi le degré de pollution des eaux de surface, les travaux d'entretien et d'exploitation, les coûts de production tout en maintenant les rendements à leur meilleur. Le maintien et le développement d'une banque de souches de haute qualité vise à soutenir et accélérer l'implantation des mycorhizes comme agents biofertilisants dans les activités agricoles et contribuer ainsi au développement d'un environnement sain et durable.

L'existence de grilles de références pour optimiser le couplage des partenaires fongiques et végétaux permettra de démontrer, preuves à l'appui, les avantages de la mycorhization sur la qualité des sols, la protection des cultures, les rendements végétaux sans oublier la valeur ajoutée aux aliments et la réduction de l'usage de pesticides et de fertilisants.

Présenté ci-dessous sous forme de diagramme, les avantages et bénéfices relatifs à l'adoption des mycorhizes en milieu agricole permettent de mieux visualiser toute l'ampleur du phénomène au niveau végétal et par ricochet l'impact de son adoption à long terme sur la qualité de vie.

DOMAINE	AVANTAGES	BÉNÉFICES
Physiologie végétale	Amélioration de la nutrition	Réduction d'apport de fertilisants au sol (15-25% et +)
	Tolérance aux stress hydriques	Culture de sols arides ou impropres à l'agriculture
	Résistance aux basses températures	Diversité de culture en zones inhospitalière
Morphologie végétale	Transformation de l'architecture racinaire	Adaptation aux stress, résistance accrue à l'érosion, fixation des sols
		Production améliorée pour certaines plantes racine
Communauté végétale	Diversité du sous-sol en micro organismes	Rétablissement de la microflore des sols
		Assainissement de la qualité des sols, qualité des composts
	Survie des partenaires	Amélioration des rendements
		Meilleure acclimatation à la transplantation
		Diversité du parterre végétal
Agriculture	Production végétale	Augmentation de la biomasse aérienne et/ou racinaire
	Résistance aux stress	Sécheresse
		Froid
		Pollution
	Résistance envers les pathogènes	Protection des cultures
		Diminution de l'usage de pesticides
		Augmentation de la qualité des produits agricoles
Amélioration de la santé animale, végétale et humaine		
Valeur ajoutée aux produits	Synthèse accrue de métabolites primaires ou secondaires	
	Précocité des récoltes	

## 7. Références

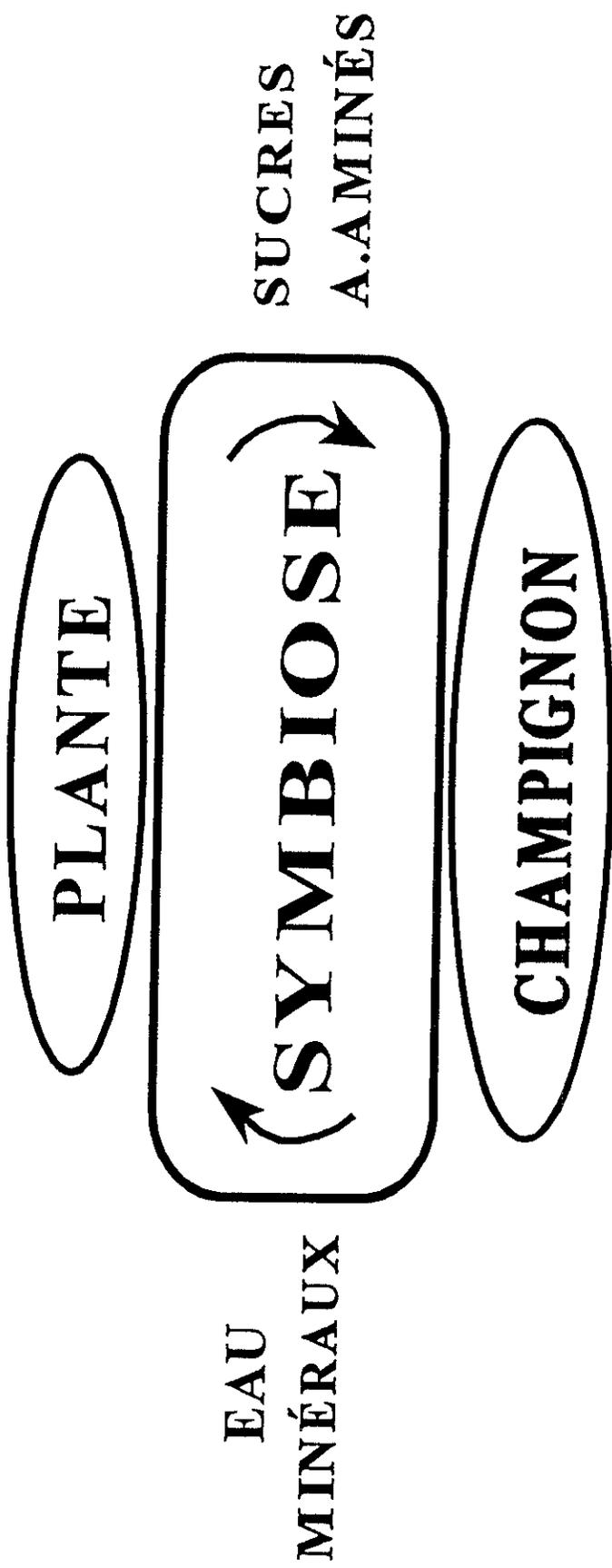
- Abbott, L.K. & Robson, A.D. 1991. Field management of mycorrhizal fungi. In: The rhizosphere and plant growth. D.L. Keister & P.B. Cregan Eds Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands p 355-362.
- Ba, A., Dalpé, Y. & Guissou, T., 1996. Glomales of *Acacia holosericea* and *acacia mangium* Bois et Forêts des Tropiques 25: 5-18.
- Boucher, A. Dalpé, Y. & Charest, C., 1997. Effets des symbioses mycorrhiziennes sur la croissance du maïs. Mycorrhizes 97, McGill Univ. Juin 1997
- Boudreault, C., Charest, C. & Dalpé, Y., 1997. Effets des mycorrhizes à arbuscules sur la croissance de deux graminées de pelouse. Mycorrhizes 97, McGill Univ. Juin 1997
- Charest, C. Dalpé, Y. & Brown, A. 1993. The vesicular-arbuscular mycorrhizae and chilling on two hybrids of *Zea mays* L. Mycorrhizae 4: 89-92.
- Charest, C. Clark, G. & Dalpé, Y. 1997. The impact of arbuscular mycorrhizae and phosphorus status on growth of two turfgrass species. Journal of Turfgrass management (In Press).
- Dalpé, Y. 1987. Spore viability of some Endogonaceae submitted to a single-stage lyophilisation. Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae p. 271.
- Dalpé, Y. 1989 (1991). Inventaire de la flore endomycorhizienne des rivages et dunes maritimes du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse. Le Naturaliste canadien 116: 219-236.
- Dalpé, Y. 1998. Survey of Glomaceae from Great Lakes area Ontario. Can. J.Bot. (à soumettre)
- Dalpé, Y. 1995. Systématique des endomycorhizes à arbuscules, de la mycopoléontologie à la biochimie. Orbis Press 1-20.
- Dalpé, Y. 1995. *Gigaspora margarita*. Fungi Canadenses No. 331. Can. J. Pl. Pathol. 16: 229-230.
- Dalpé, Y., Aiken, S. 1997. AMF diversity in Corvallis Island, Canada Arctic. Mycorrhizae (à soumettre)
- Dalpé, Y. & Mitrow, G. 1993. Gigasporaceae and Acaulosporaceae from Great Lakes areas. Proceedings of the 9th North American Conference on Mycorrhizae. NACOM 9: 12.
- Dalpé, Y. Charest, C. & Mitrow, G. 1996. Mycorrhizal dependency of Radicchio (*Cichorium intybus* L.) and the growth impact of effective mycorrhizal partnership. In: Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development. Eds: Azcon-Aguilar, C. & Barea, J.M. European Commission Report EUR16728 EN. Pages 310-313.
- Dalpé, Y. Granger, R.L. & Furlan, V. 1986. Abondance relative et diversité des Endogonacées dans un sol de verger du Québec. Can.J.Bot. 64: 912-917.
- Dalpé, Y., Aiken, S.G., Mitrow, G. & Consaul, L. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi diversity under Arctic environments. Mycological Society of America, Inoculum 43: 30.
- Davis, E.A. & Young, J.L. 1985. Endomycorrhizal colonization of glass-house grown wheat as influenced by fertilizer salts when banded or soil-mixed. Can.J.bot. 63: 1196-1203.
- Dehne, H.W. 1982. Interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. Phytopathology 72: 1115-1119.
- Diop T., Dalpé, Y., Plenchette, C. & Strullu, G. 1998. Glomales associates with *Acacia albida* Del. In the semi-arid zones of Senegal. Mycorrhiza (soumis pour publication).
- Grandmougin, A., Dalpé, Y., Veignies, E., Rafin, C. & Sancholle, M. 1995. Infection by arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* of leek plants (*Allium porrum* L.): effect on lipids. Proc. 11th International Meeting on plant lipids.
- Grandmougin-Fejani, A., Dalpé, Y., Hartmann, M-A., Laruelle, F., Couturier, D. & Sancholle, M. 1997. Taxonomic aspects of the sterol and  $\Delta 11$ -hexadecenoic acid (C16:1  $\Delta 11$ ) distribution in arbuscular mycorrhizal spores. In: Physiology, biochemistry and molecular biology of plant lipids. Eds J.P. Williams, M. Uddin Khan & N. Wan Lem. Kluwer Academic Publishers pages 195- 198.
- Granger, R.L. Khanizadeh, S. Meheriuk, M. Bérard, L.S. et Dalpé, Y. 1995. Simazine alters mycorrhizal population of apple trees. Fruit Variety Journal 49: 90-93.
- Hamel, C., Dalpé, Y. Lapiere, C. Simard, R., and Smith, D.L. 1994. Composition on the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi population in a old meadow as affected by pH, phosphorus, and soil disturbance. Agriculture, Ecosystems and Environment 49: 223-231.

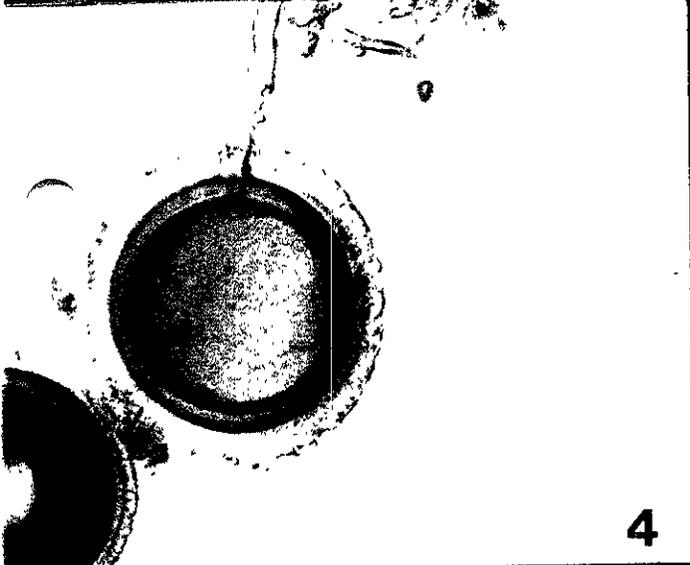
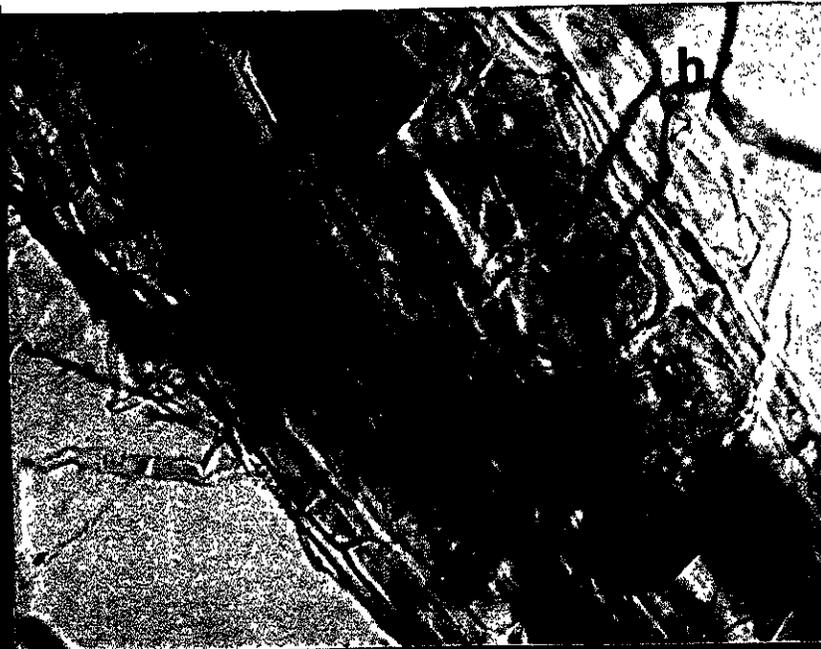
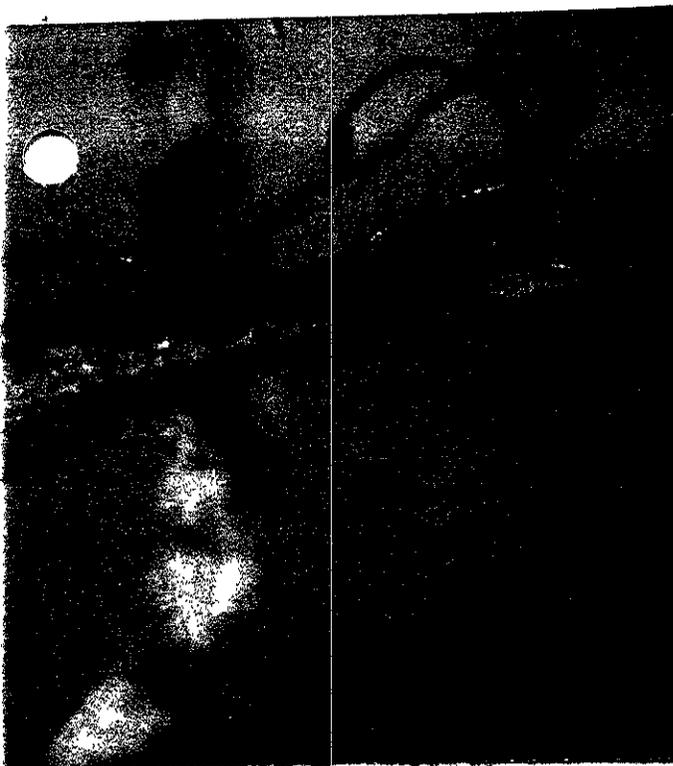
- Hamel, C. Dalpé, Y. Lapiere, C. Simard, R.R. & Smith, D.L. 1996. Endomycorrhizae in an newly cultivated acidic meadow: Effects of three years of barley cropping, tillage, lime and phosphorus on root colonization and soil infectivity. *Biology and Fertility of soils* 21:160-165.
- Hamel, C. Dalpé, Y. Furlan, V. & Parent, S. 1997. Indigenous populations of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate stability are major determinants of leek (*Allium porrum* L.) Response to inoculation with *Glomus intraradices* Schenck & Smitth alnd with *G. Versiforme* (Karsten) Berch. *Mycorrhiza* (In Press)
- Harley, J.L. & Smith, S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, New York. 483 pages.
- Koske, R.E. Friese, C. Walker, C. & Dalpé, Y. 1986. *Glomus pustulatum*: A new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 26: 143-149.
- Koske, R.E., Dalpé, Y., and L.L. Tews. 1992. *Glomus lamellosum* sp. nov.: a new species associated with beach grass. *Mycotaxon* 53:289-293.
- Leyval, C. Weissenhorn, I. Glashoff, A. & Berthelin, J. 1994. Influence of heavy metalson germination of arbuscular-mycorrhizal fungalspores in soils. *Acta Bot. Gallica* 141: 523-528.
- Morton, J.B. & Benny, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new busorders, Glomineae and Gigasporineae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491.
- Mosse, B., 1956. Fructifications of an Endogone species causing endotrophic mycorrhizae in fruit plants. *Ann. Bot. (London)* 20:349-362.
- Moutoglis, P. 1997. Genetical aspects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Thèse PhD, Université de Montréal (à soumettre).
- Paradis, R., Dalpé, Y. & Charest, C. 1995. The combined effect of arbuscular mycorrhizas and short-term cold exposure on wheat. *New Phytol.* 129: 637-642.
- Pirozynski, K.A. & Dalpé, 1989. The geological history of the Glomaceae with particular reference to mycorrhizal symbiosis. *Symbiosis* 7:1-36.
- Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H. & Kerp, H. 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America* 91: 11841-11843.
- Sancholle, M., & Dalpé, Y. 1992. Fatty acids of some VAM fungi belonging to the Endogonales. *Proceedings of the 10th Symposium on the Metabolism, Structure and Utilization of Plant Lipids.* 10: 44-48.
- Sancholle, M. & Dalpé, Y. 1993. Taxonomic relevance of fatty acids of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and related species. *Mycotaxon* 49: 187-193.
- Shetty, K.G. , Herick, B.A.D. & Schwab, A.P. 1995. Effects of mycorrhizae fertilizer amendments on zinc tolerance of plants. *Environmental Pollution* 88: 307-314.
- Subramanian, K.S., Charest, C. Dwyer, L.M. & Hamilton, R.I. 1995. Arbuscular mycorrhiza sand water relations in maize under drought stress at tesseling. *New Phytol.* 129: 643-650.
- Sylvia, D.M. & Williams, S.E., 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In. *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture.* G.J. Bethlenfalvay & R.G. Linderman Eds ASA Special Publication Number 54, Madison Wisconsin 101-124.

**Légendes des figures**

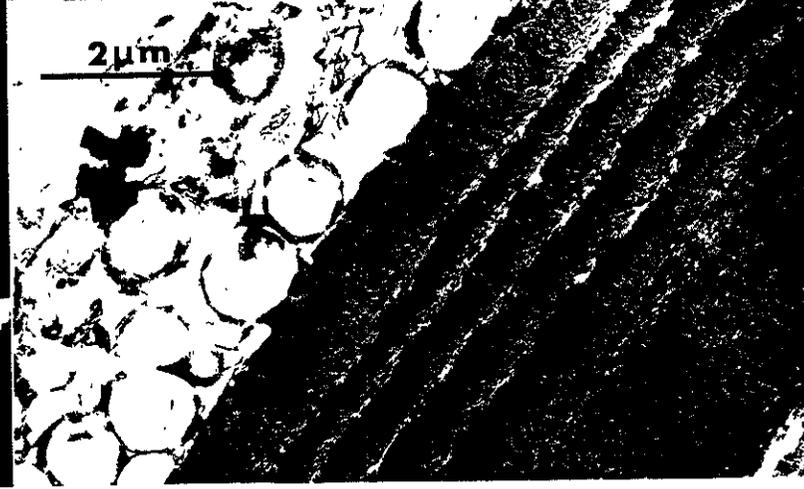
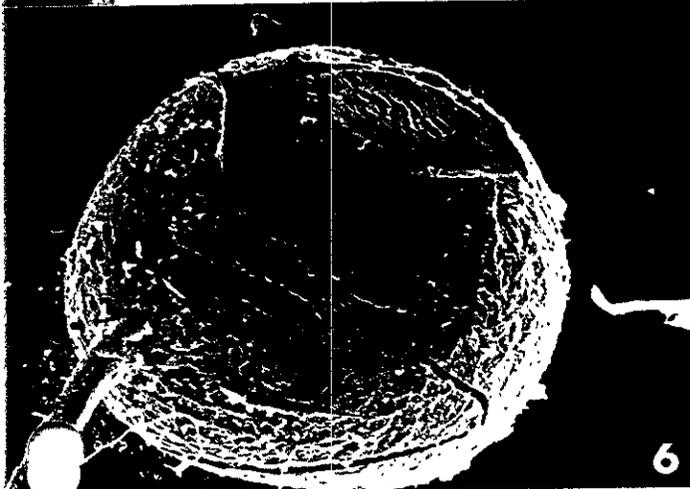
- Figure 1: Schéma des échanges nutritifs de la symbiose mycorhizienne
- Figure 2: Filaments mycorhiziens porteur de spores, le long d'une racine (1mm = 10µm)
- Figure 3: Section de racine colonisée avec vésicules(v), arbuscules (a) et hyphes (h) (1mm = 2µm)
- Figure 4: Spore de l'espèce *Glomus coronatum* rattaché à son hyphé suspenseur (1mm = 5µm)
- Figure 5: Culture in vitro sur racines transformées de carotte
- Figure 6: Spore de *Glomus intraradices* en microscopie électronique à balayage (1mm = 2µm)
- Figure 7: Paroi sporale de *Glomus etunicatum* en microscopie électronique à transmission (1mm = 0.08µm)
- Figure 8: Culture en pots des CMA de la banque de souches du CRECO
- Figure 9: Culture en serres grillagées des CMA pour la propagation des souches (Projet PERD)
- Figure 10: Analyse comparée des rendements biomasse du radicchio (*Cichorium Intybus*) cultivé en présence de différentes espèces de CMA
- Figure 11: Comparaison de la croissance après 12 semaines de l'oignon (*Allium cepa*) non-mycorhizé ou mycorhizé avec *Glomus intraradices*
- Figure 12: Analyse comparée des rendements biomasse du frêne (*Fraxinus americana*) cultivé en présence de différentes espèces de CMA
- Figure 13: Expérimentation au champs sur les bénéfices de la mycorhization des graminées de gazon

**FIGURE 1**





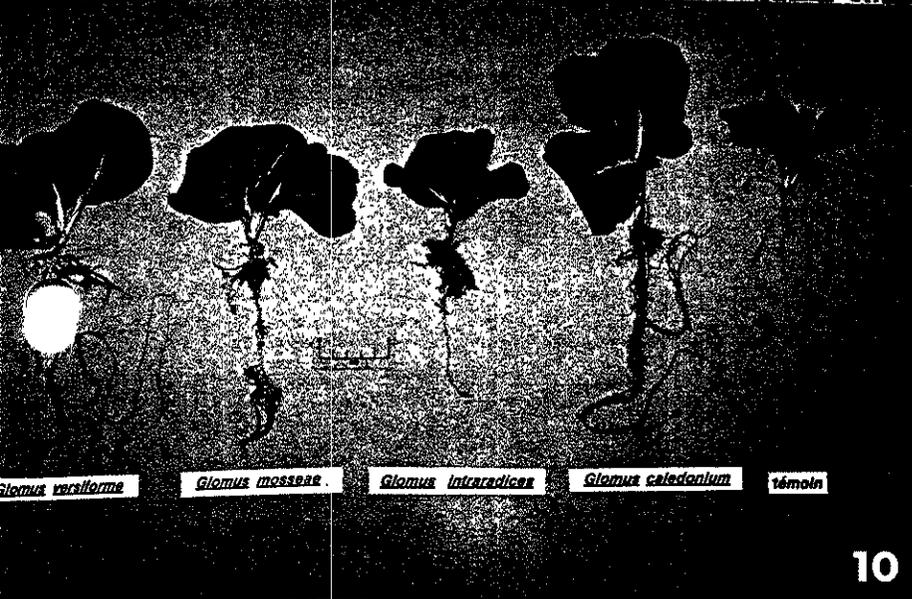
4



6



8



*Glomus versiforme*    *Glomus mossere*    *Glomus intraradices*    *Glomus caledonum*    témoin

10



GLOMUS INTRARADICES

TEMOIN/CONTRE



12

