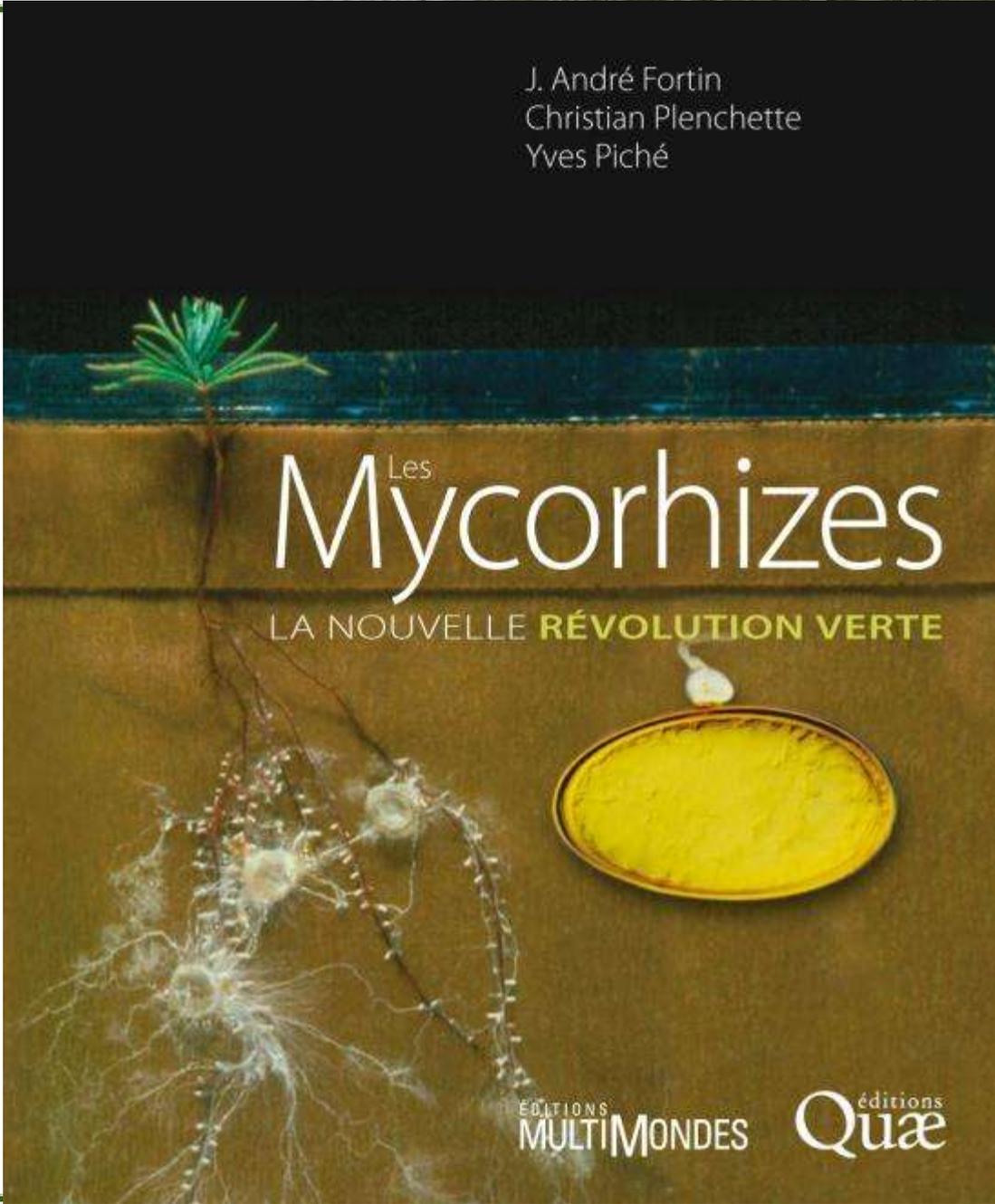


Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte 1^{ère} partie

J. André Fortin
Dîners botaniques
Université Laval

J. André Fortin
Christian Plenchette
Yves Piché

The book cover features a central illustration of a small green plant with a thin stem and a fan-like top, growing from a dark blue horizontal band. Below this band, the ground is depicted in shades of brown and tan. The plant's roots extend downwards, where they are intertwined with a complex, white, fibrous network representing mycorrhizal fungi. To the right of the roots, there is a small, white, mushroom-like fungus growing on a thin stem. Below the fungus, there is a shallow, oval-shaped dish containing a bright yellow, textured substance, possibly representing a mycorrhizal product or soil amendment. The overall composition is centered and balanced, with the text overlaid on the right side of the illustration.

Les Mycorhizes

LA NOUVELLE **RÉVOLUTION VERTE**

ÉDITIONS
MULTIMONDES

éditions
Quæ

Écologie intégrative des symbioses végétales

- biologie, agriculture, foresterie
 - 1^{er} cycle: BIO 4902
 - 2^e et 3^{ème} cycles: BIO 7904
 - Automne



Symbiose et co-évolution

1^{ère} Partie:

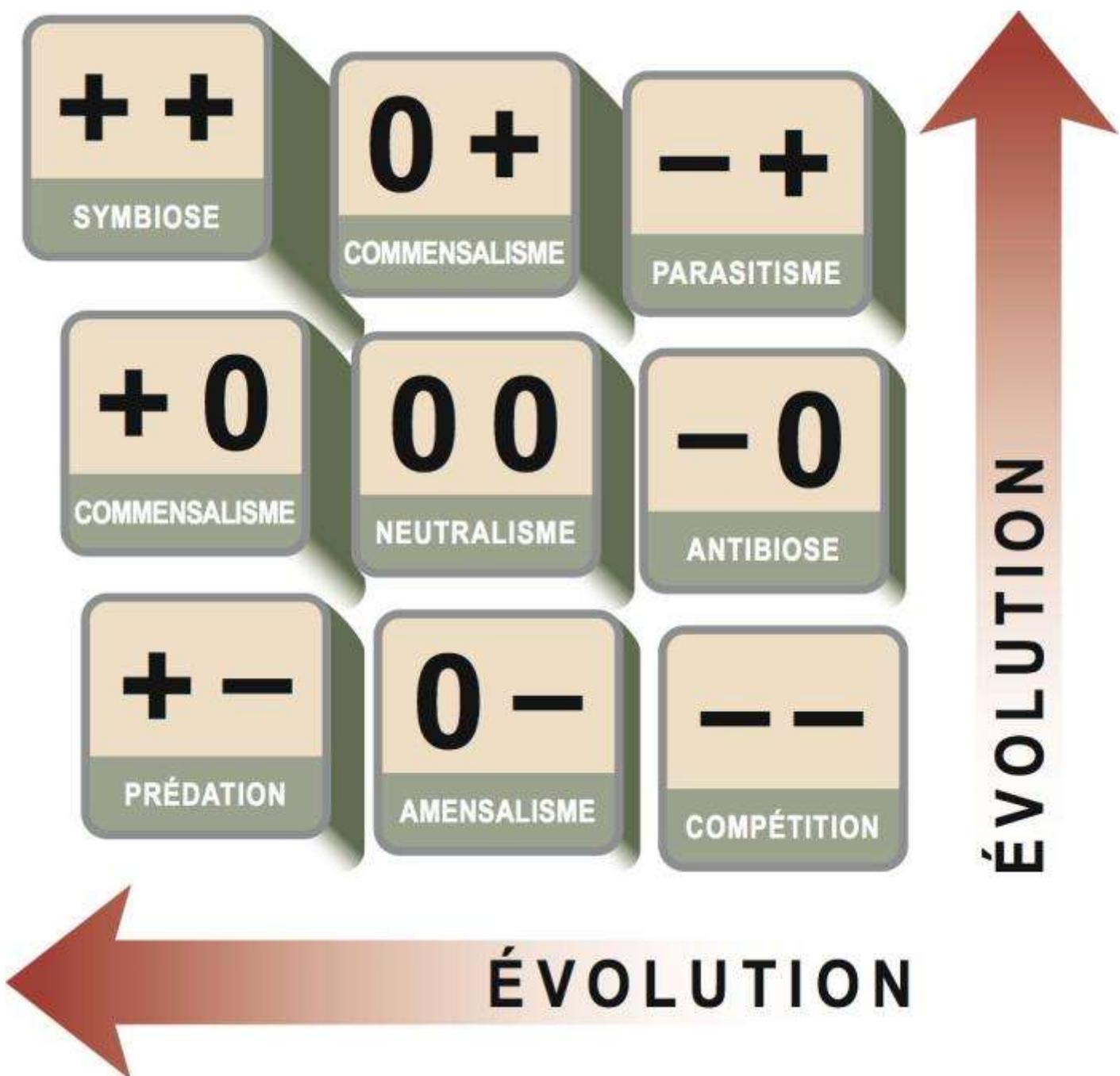
1- Les interactions interspécifiques

2- L'évolution des cellules eucaryotes

- Théorie de l'endosymbiose en série

3- Étude synoptique des symbioses végétales

- *Types de symbioses*



3- Types de symbiose végétale

TABLEAU 2.1

LES DIFFÉRENTES SYMBIOSES VÉGÉTALES

SYMBIOSE	NATURE DES SYMBIOTES MICROBIENS	PLANTES IMPLIQUÉES	STRUCTURES MICROBIENNES	POURCENTAGE DES ESPÈCES DE PLANTES	STRUCTURE DE L'HÔTE	FONCTIONS ACQUISES OU AMÉLIORÉES
Lichen	Champignons ascomycètes et basidiomycètes	Algues vertes ou bleues	Mycélium entourant l'algue	na	Algues entourées du champignon	Nutrition minérale, approvisionnement en eau, résistance à la sécheresse
Bactériorhize	Bactérie des genres rhizobium et bradyrhizobium	Légumineuses, par ex. haricot, luzerne, acacia	Bactéroïdes dans les cellules corticales des racines	5 %	Nodules racinaires souvent fugaces, production de leghémoglobine	Fixation de l'azote atmosphérique
Actinorhize	Actinomycètes du genre frankia	Divers genres, par ex. aulnes, myriques, dryades, casuarina	Mycélium, vésicules septées dans les cellules corticales des racines	1 %	Nodules pérennes sans leghémoglobine	Fixation de l'azote atmosphérique
Phycorhize	Algues cyanophycées	Cycadales, par ex. cycas	Algues intracellulaires dans les cellules corticales des racines	<1 %	Dichotomie de racines, à géotropisme négatif	Fixation de l'azote atmosphérique
Mycorhizes	Champignons ascomycètes, basidiomycètes et glomérormycètes	Nombreuses plantes vasculaires	Mycélium associé aux racines	>85 %	Complexe racine-champignon	Voir tableau 2.2

TABLEAU 2.2

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MYCORHIZES

TYPES DE MYCORHIZES	CHAMPIGNONS IMPLIQUÉS	PLANTES HÔTES	STRUCTURES FONGIQUES	STRUCTURES DE L'HÔTE	IMPACTS PHYSIOLOGIQUES
Arbusculaires	Champignons microscopiques glomérormycètes ~200 espèces	Bryophytes et plantes vasculaires : 70 % des espèces actuelles	Arbuscules et vésicules intracellulaires, mycélium et spores extraracinaires	Peu de changements, coloration jaune	Accès à l'eau et aux minéraux peu mobiles accru, résistance aux maladies, phytophagie et phénologie modifiées
Ectomycorhizes	Champignons supérieurs : basidiomycètes ascomycètes : milliers d'espèces	Arbres gymnospermes et angiospermes : 5 % des espèces actuelles	Manchon, mycélium intercellulaire, rhizomorphes, sclérotés, ascomata, basidiomata. Absence de pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale, ramifications dichotomiques ou racémeuses	Accès accru aux minéraux, utilisation de l'azote organique, résistance aux maladies et nématodes, tolérance aux pH acides et aux métaux lourds
Ectendomycorhizes	Deutéromycètes : quelques espèces	Pins, rares	Manchon mince, mycélium intercellulaire, pénétration intracellulaire, ascomata	Hypertrophie corticale, ramifications	<i>idem</i>
Arbutoides	Basidiomycètes : quelques espèces	Éricacées, rares	Manchon mince, pénétration intracellulaire, basidiomata	Hypertrophie corticale	<i>idem</i>
Éricoides	Ascomycètes : quelques dizaines d'espèces	Éricacées : 5 % des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire, ascomata	Peu de modifications	<i>idem</i>
Orchidoïdes	Basidiomycètes et mycéliums stériles peu connus	Orchidées : 10 % des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire pelotonné; basidiomycètes	Peu de modifications	Souvent essentiel à la morphogénèse, nutrition saprophytique de la plante, protection contre les pathogènes
Sebacinoïdes	Piriformospora ; basidiomycètes : quelques espèces	Variées	Mycélium intracellulaire	Peu de modifications	Peu connus

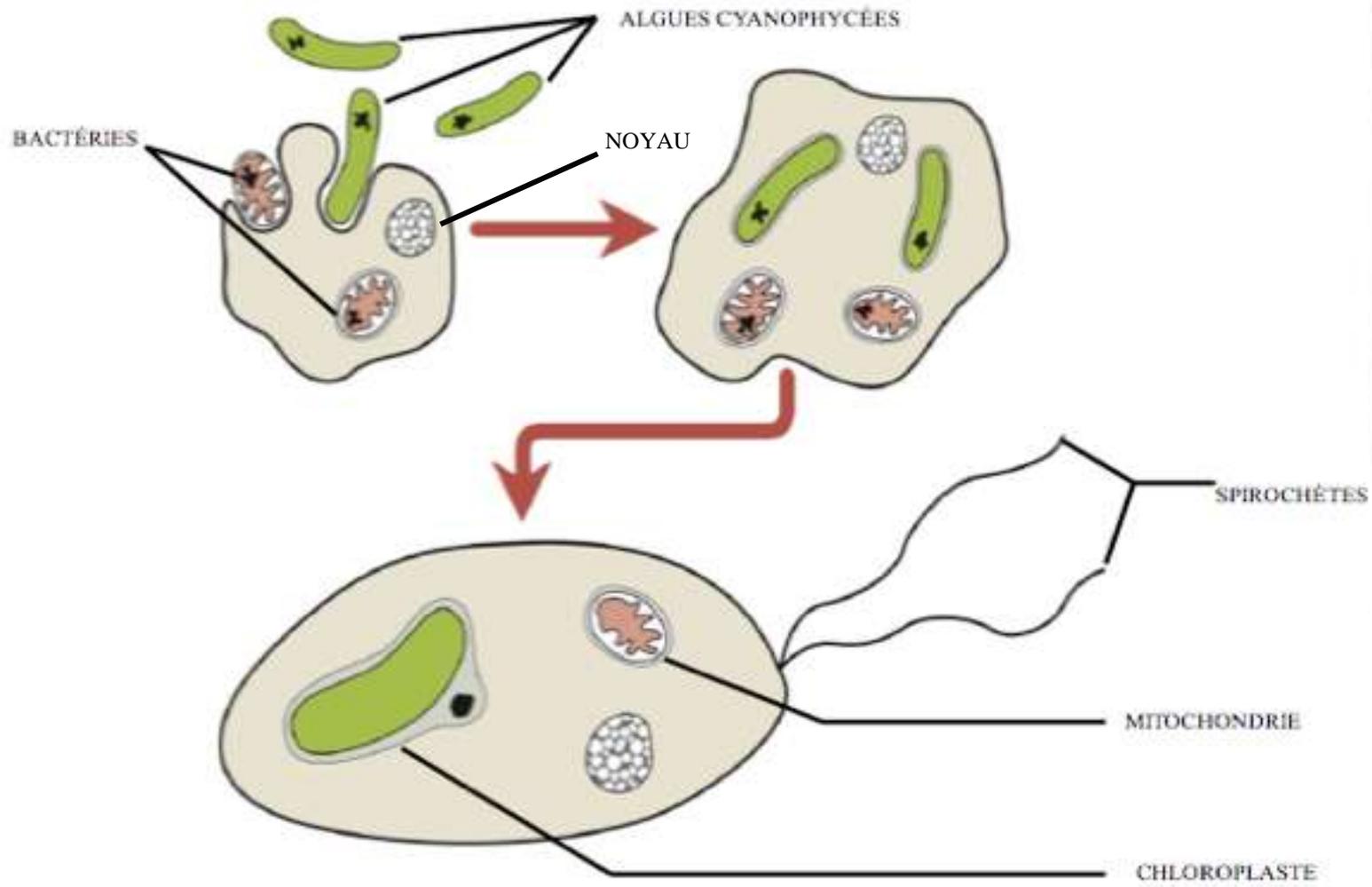




Figure 3.1 – Les lichens ont été les premiers organismes symbiotiques à coloniser les rochers maritimes.

Photo : J. André Fortin, Université Laval





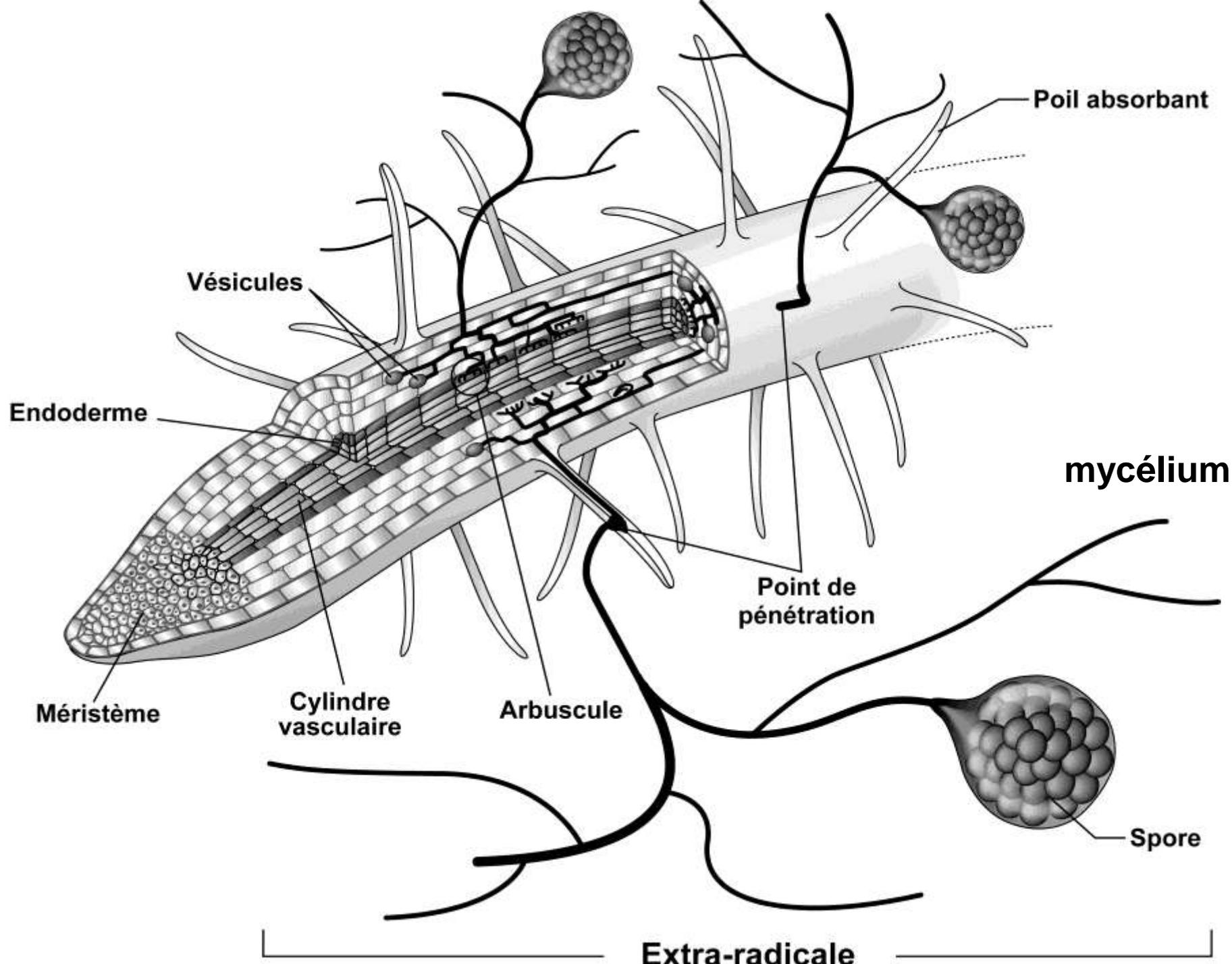




À retenir:

- Le mutualisme (symbiose au sens strict) est un terme évolutif: la sélection naturelle favorise les organismes qui s'associent.
- La symbiose a joué un rôle dans l'évolution des cellules eucaryotes: les chloroplastes, les mitochondries et les cinétochores (e.g. fuseau achromatique) des organismes actuels proviennent de symbioses ancestrales.
- **Le rôle fondamental et universel des symbioses dans l'évolution et le fonctionnement des espèces végétales et des écosystèmes terrestres.**

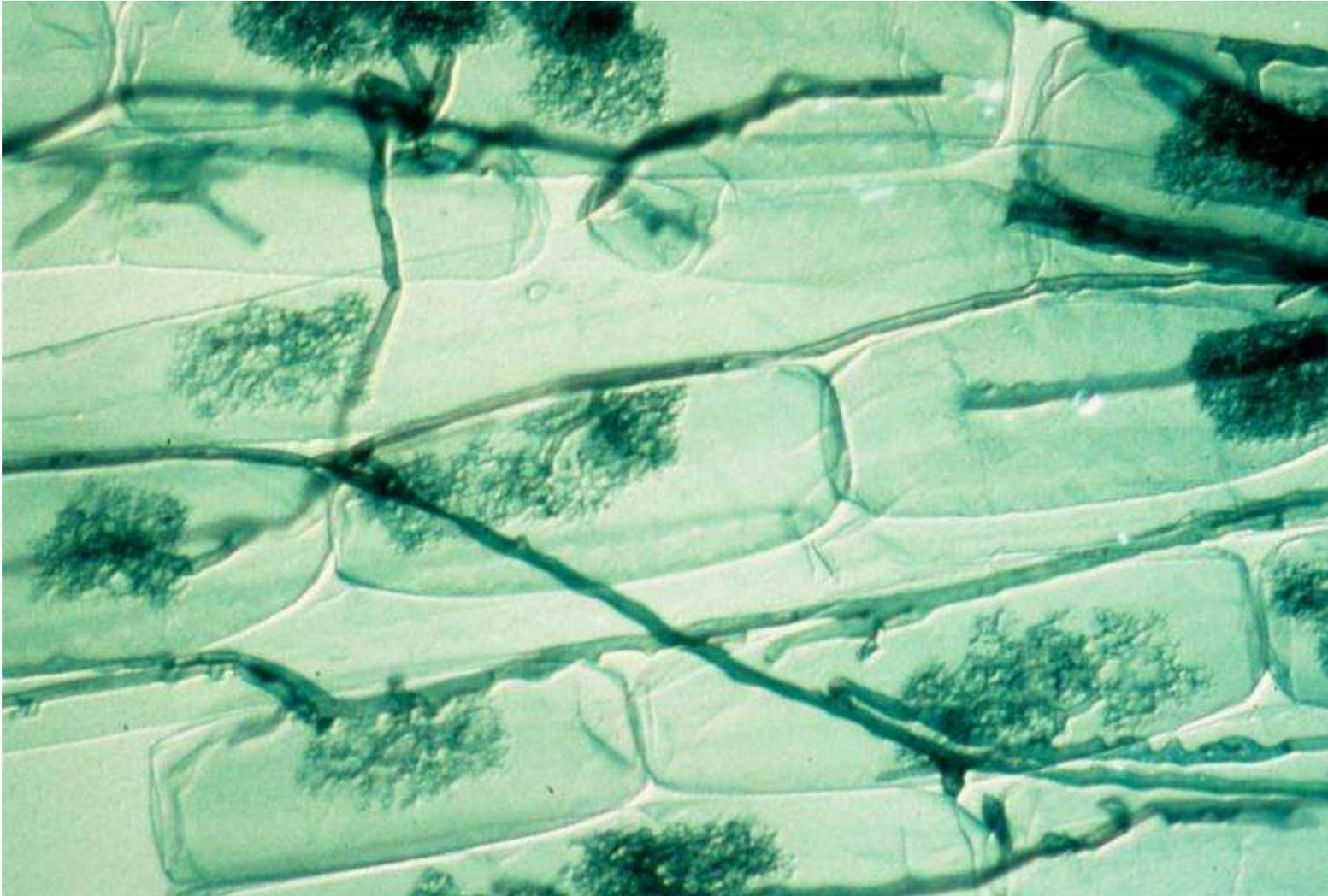




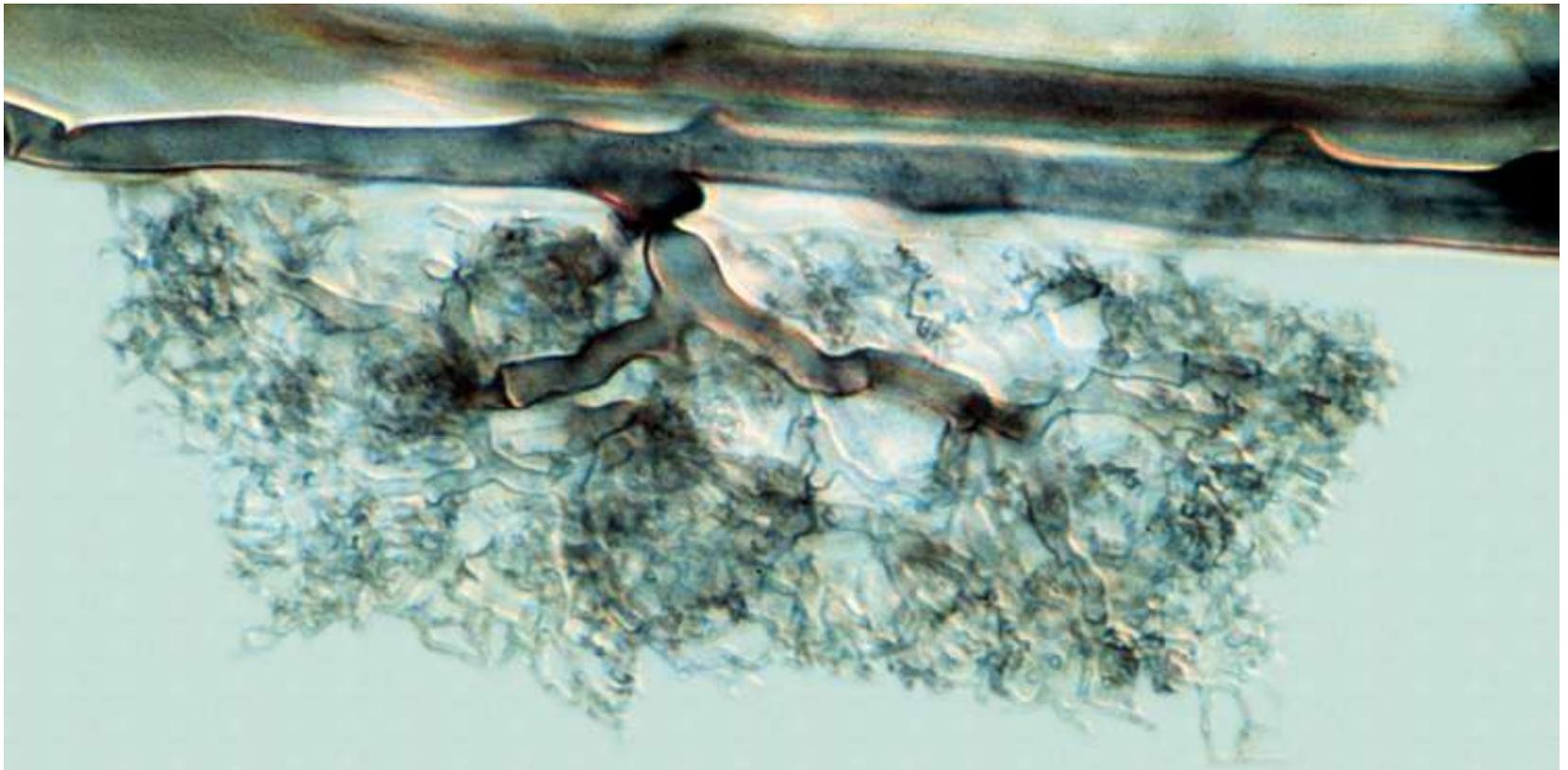


Anatomie

1. Les mycorhizes arbusculaires



Structure cellulaire des mycorhizes arbusculaires



Arbuscule

Structure cellulaire des mycorhizes arbusculaires



Vésicules

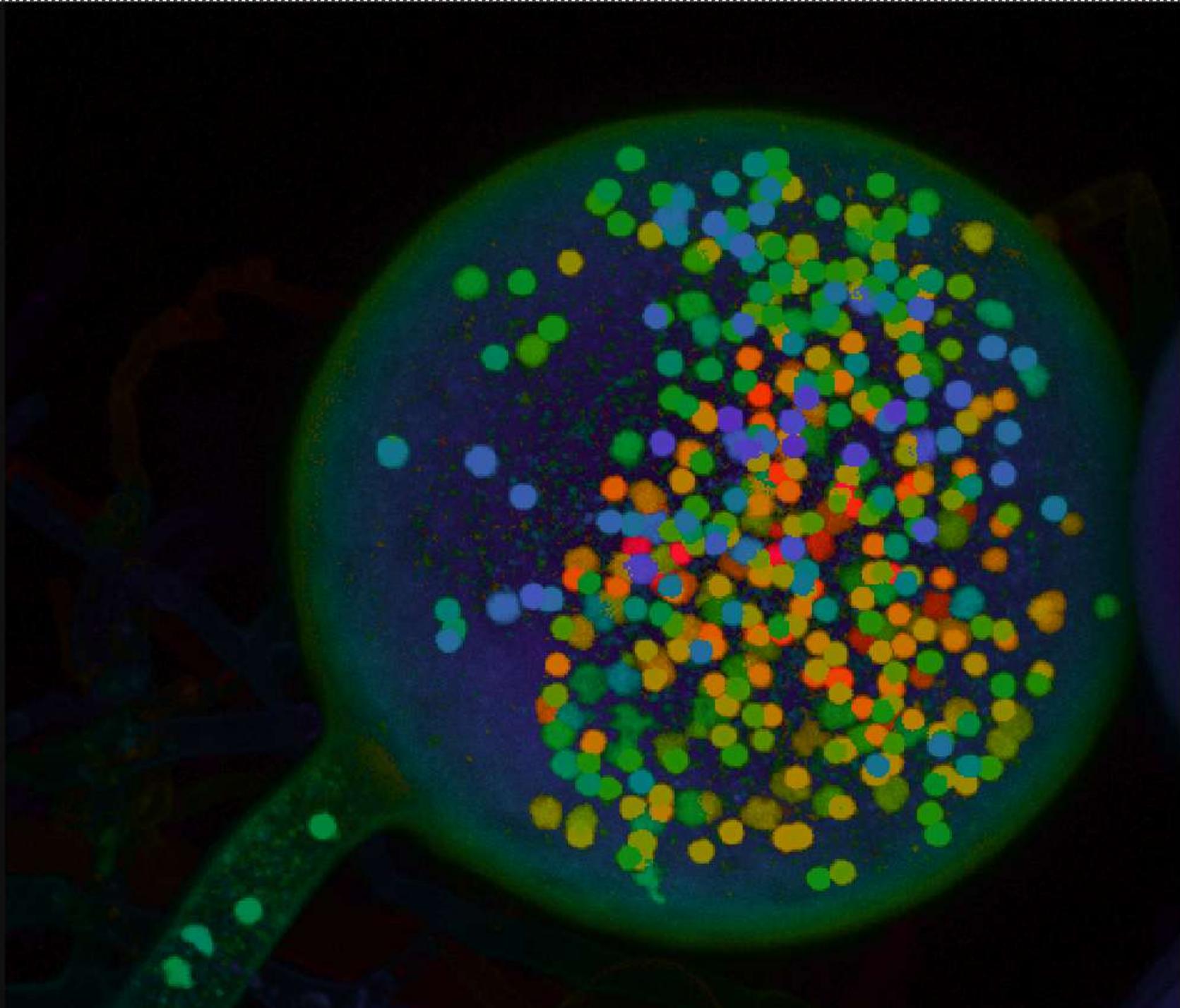
Spores de mycorhizes arbusculaires

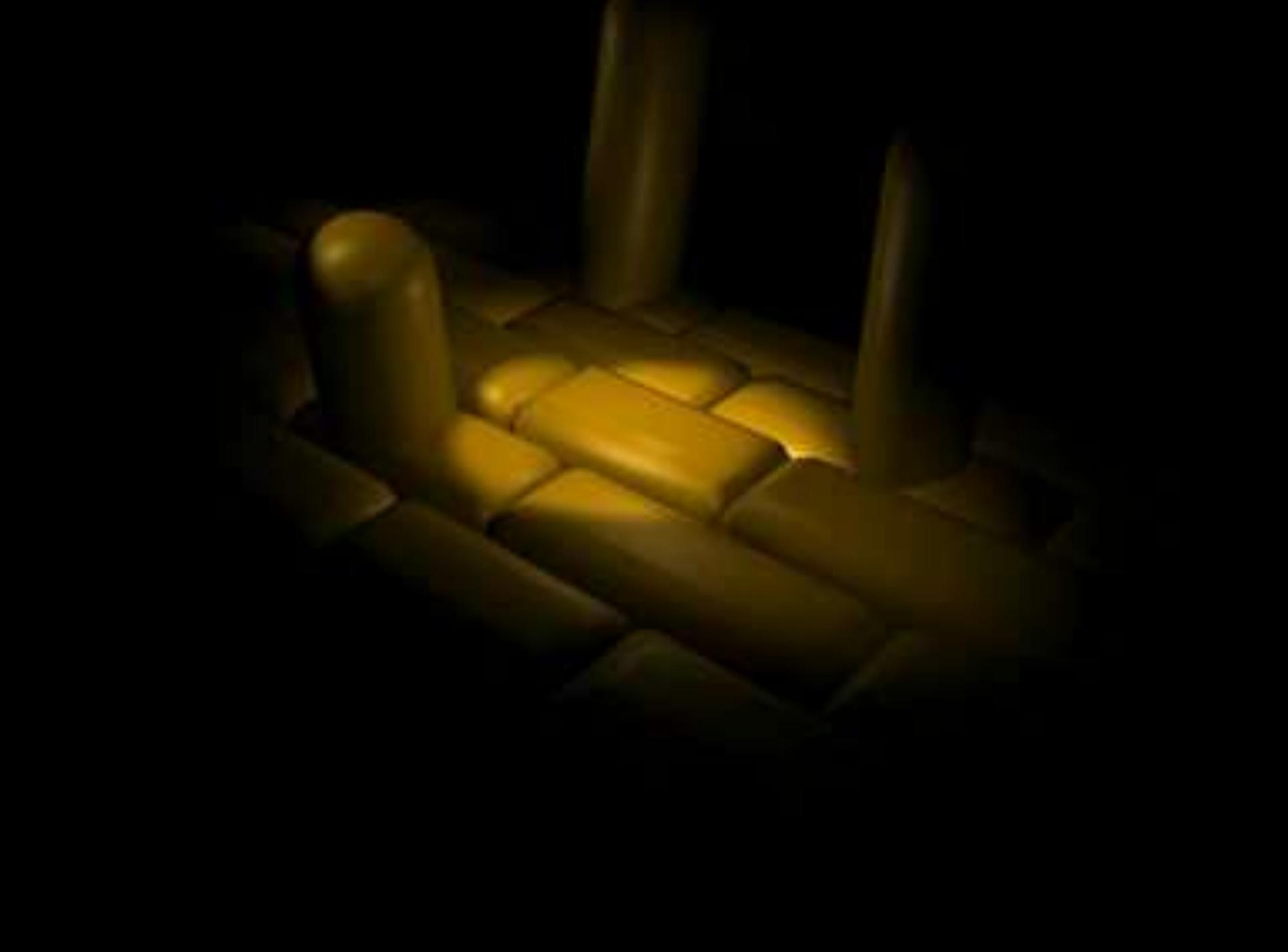


Cytologie des Glomeromycota

- Nombres de noyaux par spore
- Diversité moléculaire des noyaux
- Fusion des hyphes (hybridation)
- Cyclose, vidéos



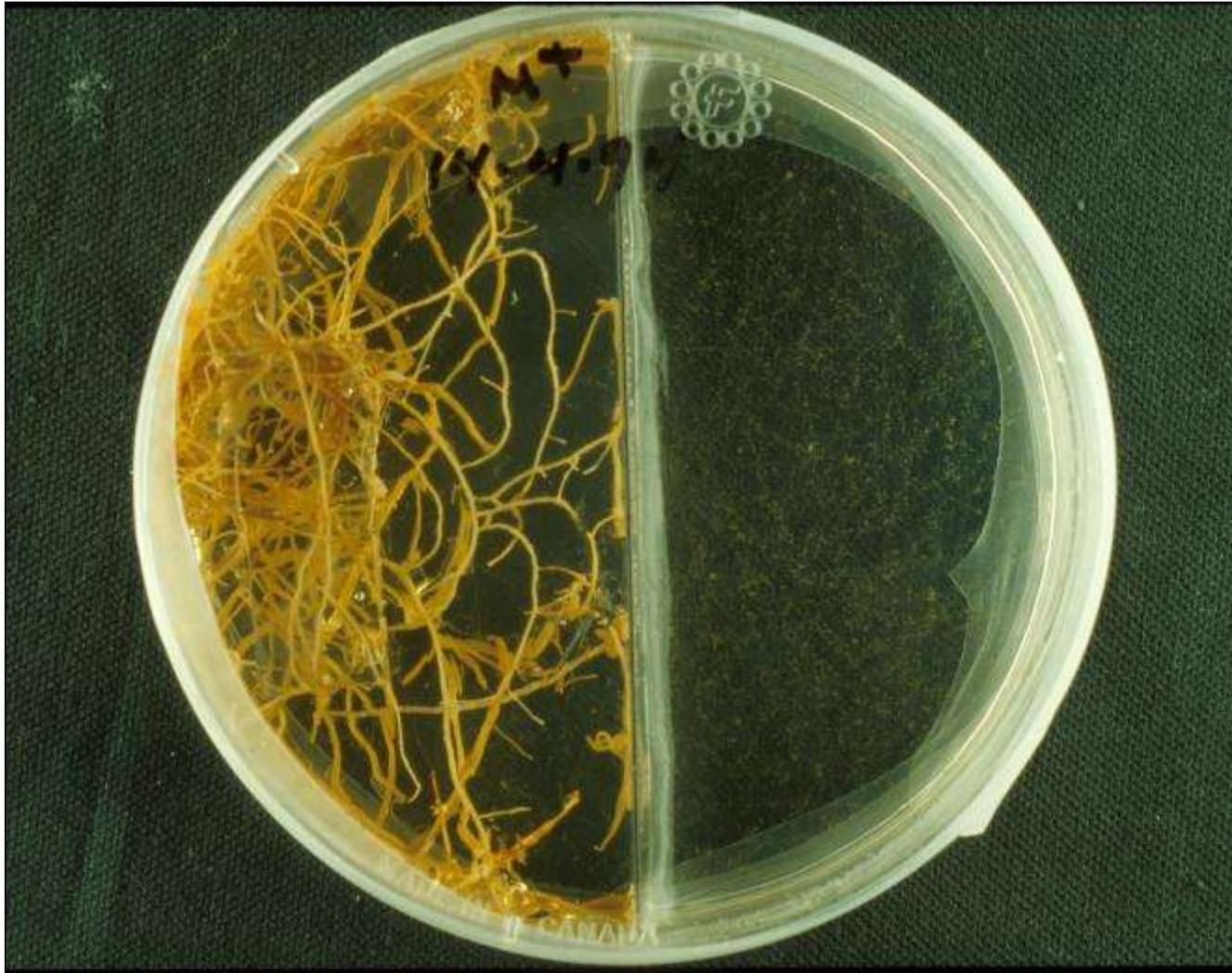








Culture des symbiotes



Culture des symbiotes



Symbiose obligatoire

- Partenaire fongique obligatoirement dépendant de l'hôte photosynthétique.
- Impossible de cultiver le champignon sans contact avec son hôte.
- Défi pour la production des inoculums.



Modifications de la biologie de la plante hôte

- Modification des structures
 - Extension mycélienne
- Modifications du fonctionnement
 - Nutrition minérale et absorption de l'eau
- Modification de la composition biochimique de la plante
 - Odeurs et saveurs modifiées
 - Modification des relations avec les insectes
 - Activités hormonales et autorégulation
- Résistances aux stress biotiques et abiotiques
 - Résistance aux pathogènes et métaux toxiques
- Agrégation du sol





SOL NATUREL

DAUCUS CAROTA

1980 08 13

SOL STERILE

DAUCUS CAROTA

1980 08 13

SOL NATUREL

ALLIUM PORRUM

1980 08 13



SOL STERILE

ALLIUM PORRUM

1980 08 13



AGE: 2 mo



SOL NON FUMIGÉ



SOL FUMIGÉ



SOL FUMIGÉ ET INOCULÉ

TABLEAU 10.1**LA DÉPENDANCE MYCORHIZIENNE DES PLANTES**

PLANTE	MASSE (G)		DMRC %		
			MESURÉE	THÉORIQUE	THÉORIQUE
			P ₂ O ₅ 100 PPM	P ₂ O ₅ 50 PPM	P ₂ O ₅ 150 PPM
	M	NM			
Carotte	9,2	0,07	99,2	99,5	60
Pois	40,3	1,3	96,7	97	55
Poireau	11,9	0,5	95,7	97	50
Haricot	13,3	0,7	94,7	95	50
Fève	21,8	1,4	93,5	94	45
Maïs doux	166,5	45,5	72,7	80	35
Tomate	174,6	71,2	59,2	65	10
Pomme de terre	185,3	107,5	41,9	60	0
Blé	155,5	155,6	0	30	0

Modifications métaboliques de la plante hôte

- Modification des pools de métabolites primaires
- Biosynthèse de nouvelles substances secondaires: mycorhizines
- Augmentation quantitatives de métabolites secondaires
- Diminution quantitative de métabolites secondaires

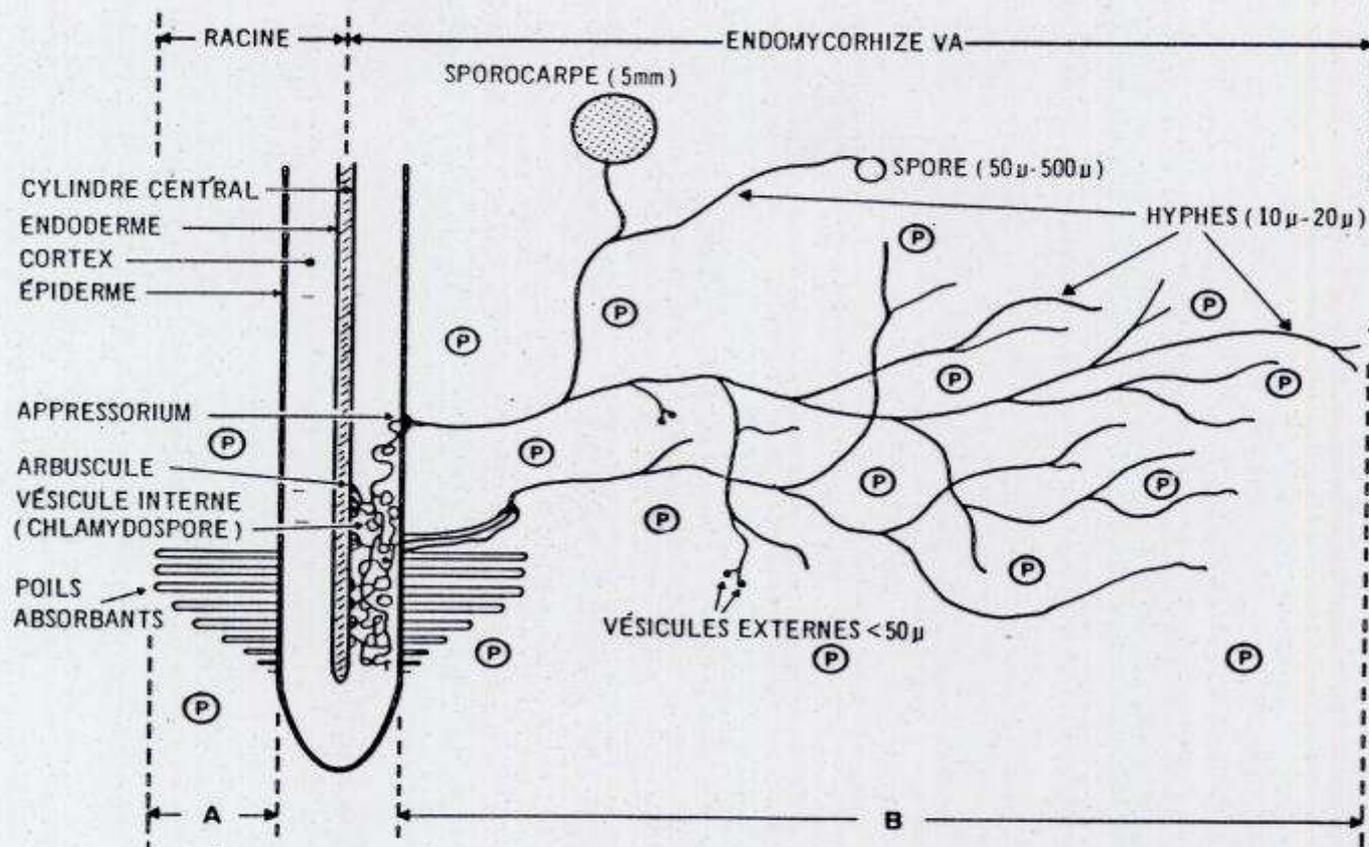


Absorption des nutriments

- Mobilité rapide vs mobilité lente des minéraux
- Phosphore, zinc
- Zone d'épuisement
- Importance de la phase extraracinaire
- Transport des phosphates
- Inhibition par les phosphates



Exploration du sol par le mycélium extraracinaire

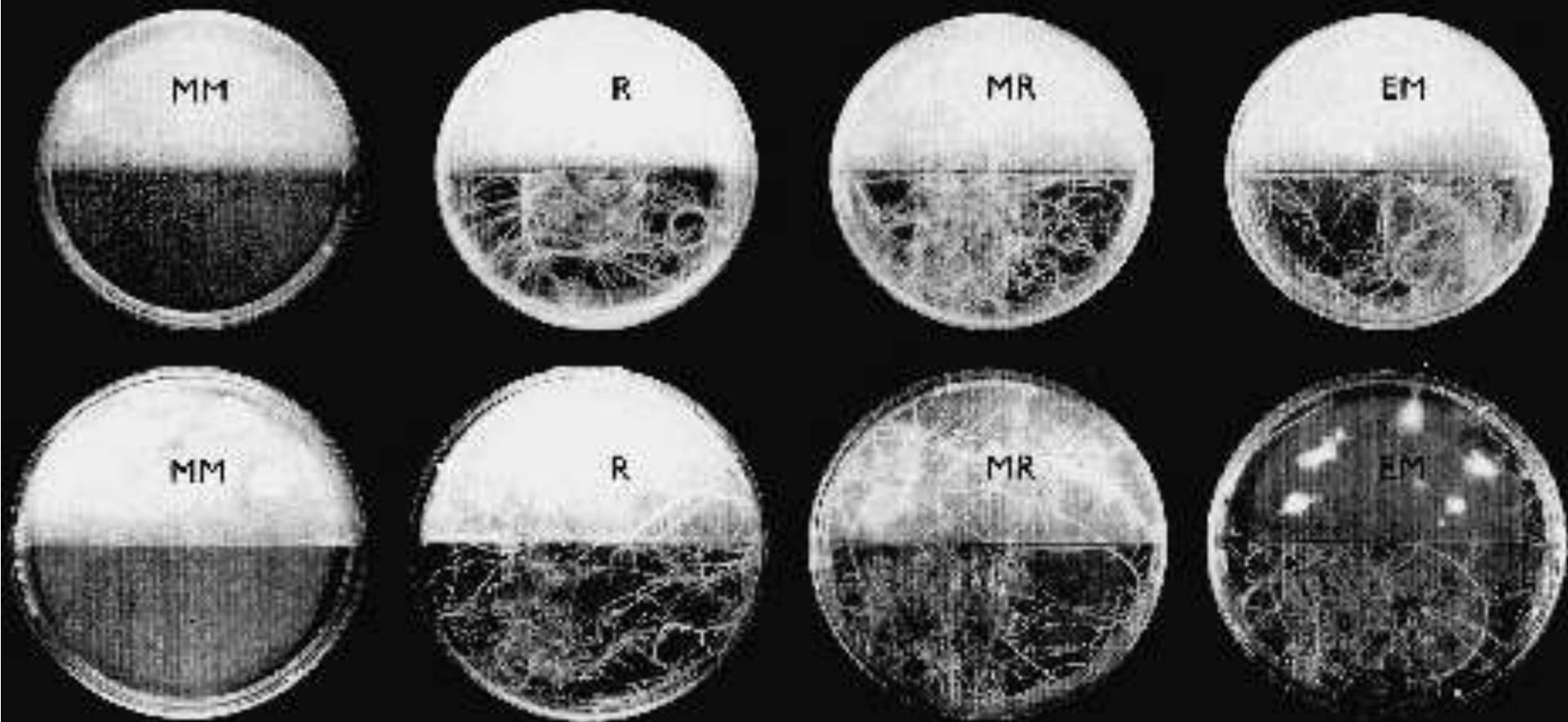


A- ZONE D'ÉPUISEMENT DU PHOSPHORE DE LA RACINE (1mm)

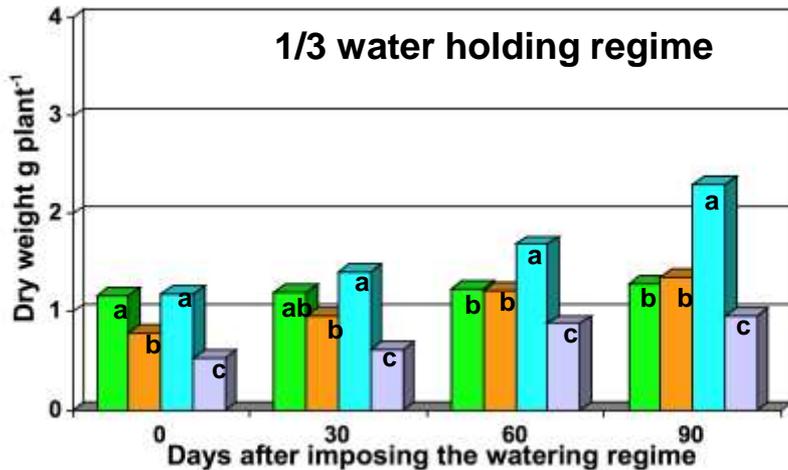
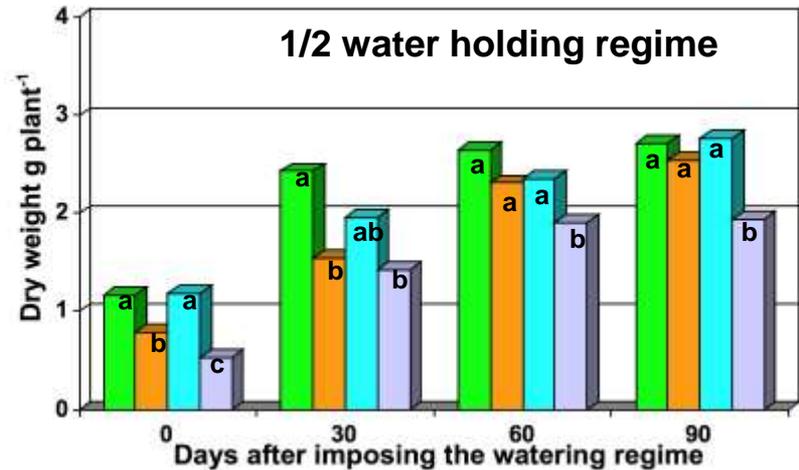
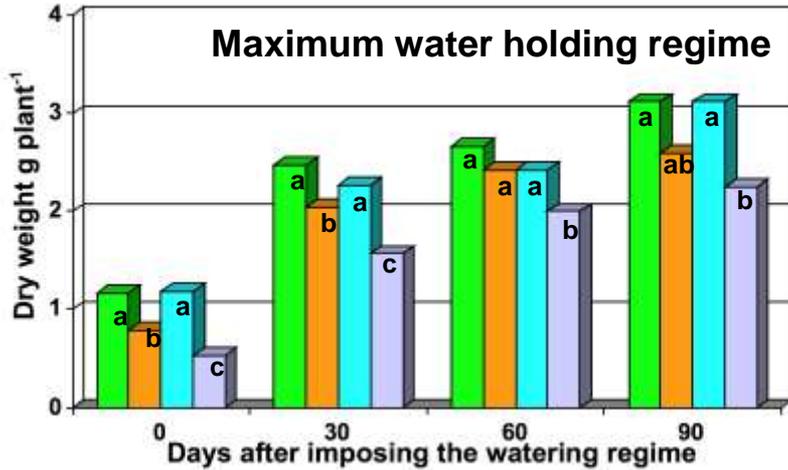
B- ZONE D'EXPLORATION DE LA MYCORHIZE (JUSQU'À 8cm)

Extension de la zone d'épuisement du phosphore autour d'une endomycorhize VA. (P = ions phosphate).

Villegas J. et J. A. Fortin, 2002. Phosphorus solubilisation and pH changes as a result of the interaction between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi, on a medium containing NO_3^- as nitrogen source. *Can. J. Bot.* 80 :571-576



Biomasse sèche des tiges Hafedh Nasr



Vert = *Glomus mosseae*
 Orange = *Glomus deserticola*
 Bleu = *Glomus « irregulare »*

Résistance de l'avocado au choc de transplantation: le jour suivant

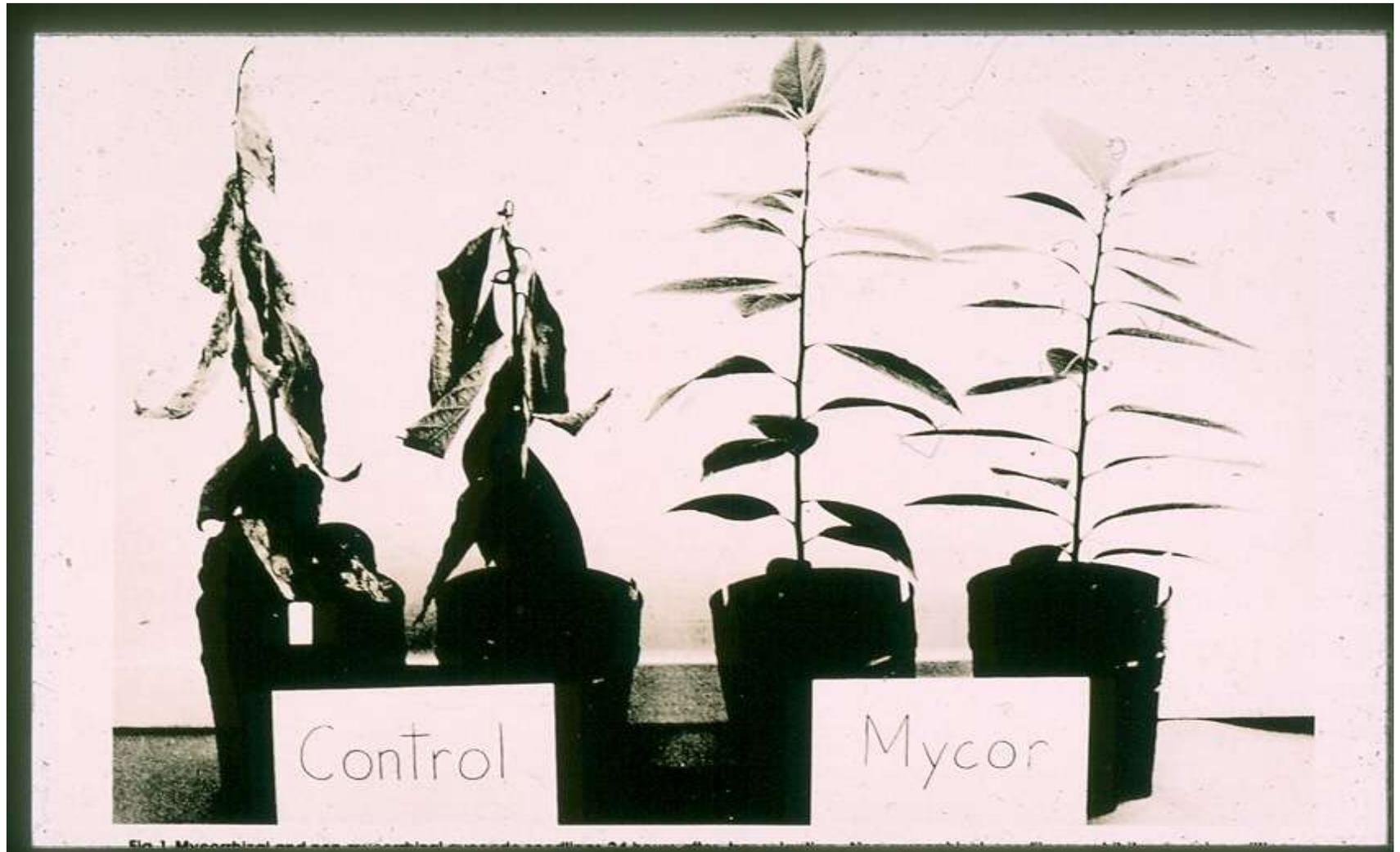


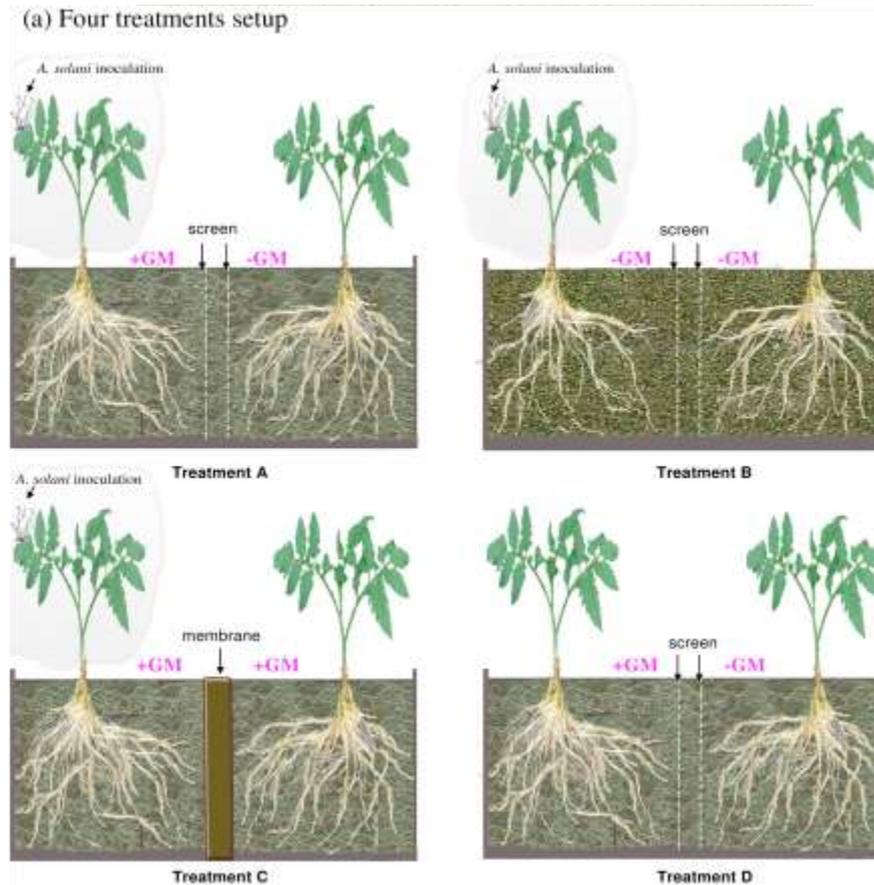
Fig. 1. Mycorrhizal and non-mycorrhizal avocado seedlings 24 hours after transplant. Note the difference in plant height and leaf number.



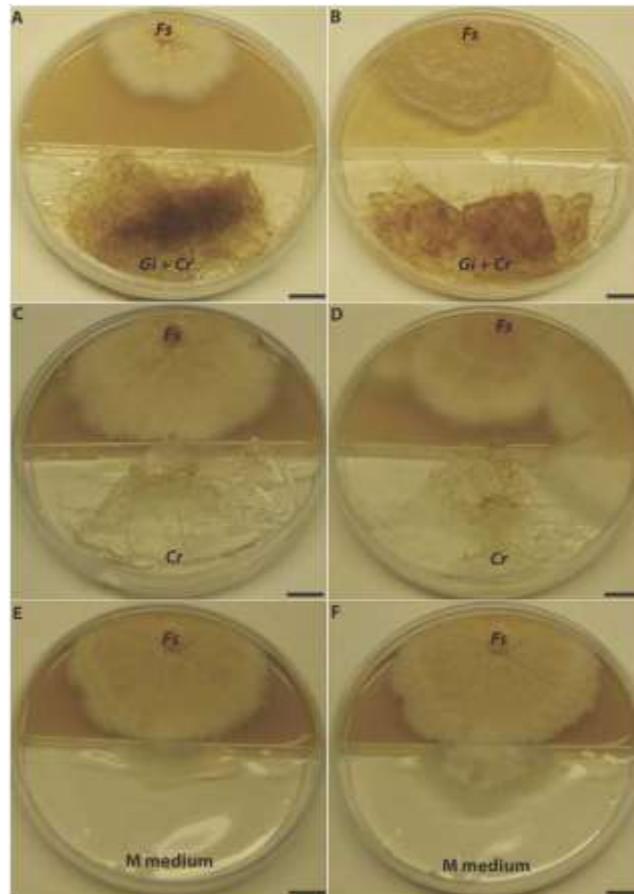
Figure 4.7 – Tous ces plants ont été inoculés avec le champignon pathogène *Pythium* sp. Ceux du bas, inoculés avec le *Glomus intraradices* ont résisté à la maladie alors que ceux du haut, sans mycorhizes, montrent les symptômes de la maladie.

Photo : Susan Parent, PremierTech

Song YY et al. 2010. Interplant Communication of Tomato Plants through Underground Common Mycorrhizal Networks. PLoS ONE | www.plosone.org 1 October 2010 | Volume 5 | Issue 10 | e13324



Ismail Y, McCormick S, Hijri M (2011) A Fungal Symbiont of Plant-Roots Modulates Mycotoxin Gene Expression in the Pathogen *Fusarium sambucinum*
PLoS ONE 6(3): e17990. doi:10.1371/journal.pone.0017990



L'avenir des mycorhizes en agriculture

Toutes les pratiques agricoles ont été conçues et sont appliquées comme si les mycorhizes n'existaient pas.

Pourtant elles sont omniprésentes et jouent des rôles fondamentaux dans tous les aspects de la vie des plantes.

Conclusion

Il faut repenser la presque
totalité des pratiques agricoles
à la lumière du rôle des
mycorhizes.

Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte 2ième partie

J. André Fortin
Dîners botaniques
Université Laval