



**HAL**  
open science

# Pourquoi et comment observer l'état mycorhizien des plants forestiers

Jean Garbaye

► **To cite this version:**

Jean Garbaye. Pourquoi et comment observer l'état mycorhizien des plants forestiers. *Revue forestière française*, 1990, 42 (1), pp.35-47. 10.4267/2042/26039 . hal-03425035

**HAL Id: hal-03425035**

**<https://hal.science/hal-03425035>**

Submitted on 10 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.

# biologie et forêt

## POURQUOI ET COMMENT OBSERVER L'ÉTAT MYCORHIZIEN DES PLANTS FORESTIERS

J. GARBAYE

Il est maintenant établi expérimentalement, dans une très grande variété de conditions, que la symbiose mycorhizienne est un facteur majeur de la production végétale. Ceci est vrai dans les écosystèmes naturels, en agriculture, et plus spécialement en sylviculture, car les arbres forestiers sont particulièrement dépendants des champignons qui leur sont associés.

Lorsque les plants sont introduits en forêt, leur reprise dépend pour une grande part de l'état de leur système mycorhizien. S'ils ont peu de mycorhizes, ou si leurs champignons associés ne sont pas adaptés aux nouvelles conditions de sol et de climat, ils ne peuvent reprendre leur croissance que quand les champignons indigènes de la station ont formé de nouvelles mycorhizes, ce qui aggrave la crise de transplantation. La situation est évidemment encore plus difficile si la plantation a lieu dans un sol dépourvu de champignons ectomycorhiziens (sol agricole, lande à callune, remblais, sol décapé, etc...). Au contraire, la reprise est beaucoup plus facile si les mycorhizes de la pépinière sont bien adaptées au lieu de plantation. Dans le cas des plants à racines nues, qui reste le plus fréquent en France, un autre facteur a son importance : l'aptitude des mycorhizes à survivre à l'arrachage et à tous les traumatismes que subit le système racinaire pendant le stockage, le transport et la mise en jauge (Al Abras et *al.*, 1988). Certains types de mycorhizes, présents en pépinière et potentiellement efficaces après transplantation, sont sans effet s'ils disparaissent entre-temps.

La qualité d'un plant en tant que matériel de reboisement doit donc être jugée non seulement d'après les critères usuels (origine génétique, dimensions, équilibre racine/partie aérienne, éventuellement état hydrique ou réserves glucidiques), mais aussi en fonction de l'état de son

système racinaire fin, en particulier en ce qui concerne l'état sanitaire et symbiotique des racines courtes absorbantes. Les mycorhizes font en effet partie intégrante de la plante, et il a été démontré que les différents champignons qui peuvent s'associer à une même essence peuvent avoir des efficacités très différentes. Une application pratique de cette constatation est la mycorhization contrôlée, c'est-à-dire l'introduction artificielle dans les pépinières de souches fongiques sélectionnées pour stimuler la croissance des plantations. Cette pratique commence à se développer dans différents pays, dont la France (Le Tacon et *al.*, 1988).

De façon générale, les pépiniéristes et les reboiseurs doivent donc dès à présent être sensibilisés au problème, et être capables de décrire et de juger l'état mycorhizien d'un plant. Pour cela, il n'est bien entendu pas question de mettre en œuvre les techniques sophistiquées utilisées dans les laboratoires de recherche (coupes fines, microscopie optique ou électronique, réactions biochimiques, isolement et cultures des symbiotes, etc...), mais d'avoir recours à l'observation visuelle assistée d'outils optiques simples.

Le but de cet article est d'inciter les praticiens à observer les racines des plants, en donnant des éléments pour cette observation et les bases de son interprétation, le tout illustré de photographies.

## CHAMP D'APPLICATION

Il existe plusieurs types de mycorhizes dus à des groupes de champignons différents. Certains arbres forestiers de nos régions (Frênes, Érables, certains fruitiers) ont des **endomycorhizes** qui sont impossibles à observer avec des moyens simples et dont il ne sera pas question ici. Par contre, les essences de reboisement les plus répandues (Chênes, Hêtre, Pins, Épicéas, Douglas, Mélèzes) ont des **ectomycorhizes**, caractérisées par un manchon (ou « manteau ») que le champignon forme autour des racines, et qui sont donc facilement repérables. Nous ne considérerons que ces dernières.

## RAPPELS SUR LA MORPHOLOGIE DES ECTOMYCORHIZES

Les arbres à ectomycorhizes, que ce soit au stade semis ou au stade adulte, ont un système racinaire très hiérarchisé, constitué de racines longues et de racines courtes.

Les racines longues sont pérennes et se terminent par des « suçoirs » blancs et renflés en période d'élongation. Elles sont capables de se ramifier. Leur allongement et leur grossissement (par fonctionnement d'une assise cambiale comme dans le tronc) ne sont pas limités, et leur fonction est de porter le système absorbant de l'arbre dans un volume de sol le plus grand possible.

Ce système absorbant est constitué par les racines courtes, portées latéralement par les branches les plus fines des racines longues. Les racines courtes ont un allongement très limité et ne dépassent pas quelques millimètres, leur vie est brève (une saison ou au plus deux ou trois ans), et elles ne développent pas de structure secondaire, donc ne grossissent pas en diamètre. Elles peuvent directement absorber l'eau et les éléments minéraux du sol à travers leurs cellules épidermiques qui sont parfois différenciées en poils absorbants. Cependant cela est rare dans les conditions naturelles, et les racines courtes sont en règle générale le siège de la symbiose ectomycorhizienne.

Une ectomycorhize est donc une racine courte transformée par son association intime avec un champignon, ou plus exactement un nouvel organe mixte racine-champignon. Dans cette asso-

ciation, le corps filamenteux du champignon se différencie en trois parties : le **mycélium externe** (formé de filaments séparés ou agrégés en cordons, et qui explore le sol dans un grand volume autour de la racine), le **manteau** (feutrage plus ou moins dense de filaments, qui recouvre toute la racine courte, la protège et accumule des réserves), et le **réseau** (mycélium très ramifié qui pénètre entre les cellules de la racine et les enserre étroitement comme dans un filet ; c'est au niveau du réseau que se font les échanges entre l'arbre et le champignon, ce dernier constituant un passage obligé entre le sol et la plante).

La morphologie de la mycorhize (grosesseur, ramification, couleur, aspect de la surface du manteau, mycélium externe, etc...) dépend beaucoup plus du champignon que de l'arbre. Or, les espèces de champignons ectomycorhiziens sont très variées : bolets, amanites, russules, lactaires, cortinaires, inocybes, hébélomes, laccaires, sclérodermes, chanterelles, etc... Par conséquent, il existe un très grand nombre de types d'ectomycorhizes, très difficiles à reconnaître les uns des autres avec des moyens simples. Différentes classifications morphologiques ont été proposées (Dominik, 1961 et 1969 ; Zak, 1973 ; Voiry, 1981). La plus grande difficulté réside dans la variation pendant le vieillissement : une même mycorhize peut changer de couleur (généralement du clair au foncé), et l'état de surface du manteau peut considérablement évoluer (généralement par réduction du mycélium externe). Ces variations seront illustrées dans les troisième et quatrième planches photographiques (pp. 46-47).

Ce n'est que dans le cas des Pins que l'arbre influence de façon marquée la forme des mycorhizes : toutes les ectomycorhizes de Pin présentent une ramification dichotomique (en Y), simple ou à plusieurs étages, conduisant alors à une structure coralloïde.

#### CAS PARTICULIERS DES JEUNES PLANTS

Les types de mycorhizes sont beaucoup moins variés dans les pépinières et dans les jeunes plantations que dans les peuplements forestiers plus âgés (Garbaye et Wilhelm, 1984 ; Garbaye et al., 1986). Il y a trois raisons essentielles à cela : beaucoup de champignons sont spécifiques des arbres adultes ; certains ont besoin d'une litière et d'un humus forestier bien développé et n'apparaissent donc que dans les peuplements fermés ; et surtout les conditions culturales des pépinières (travail du sol, pesticides, engrais, plein soleil, planches monospécifiques, etc...) sélectionnent un petit nombre d'espèces fongiques, souvent les mêmes d'une pépinière à l'autre, qui seules trouvent leur optimum dans ces conditions artificielles.

Les champignons ectomycorhiziens les plus fréquents dans les pépinières françaises hors région méditerranéenne (aussi bien avec les résineux qu'avec les Chênes et le Hêtre) appartiennent aux genres *Thelephora* (*Thelephora terrestris*), *Hebeloma* (*Hebeloma crustuliniforme*, *Hebeloma sacchariolens*, *Hebeloma mesophaeum*), *Laccaria* (*Laccaria laccata*, *Laccaria bicolor*, *Laccaria proxima*), *Paxillus* (*Paxillus involutus*), *Inocybe* (*Inocybe fastigiata*, *Inocybe pyriodora*, *Inocybe geophylla*, etc...), *Scleroderma* (*Scleroderma citrinum*, *Scleroderma areolatum*, *Scleroderma verrucosum*), et *Tuber* (*Tuber albidum*). Il y a aussi des champignons spécifiques des pins : *Suillus* (*Suillus bovinus*, *Suillus luteus*, *Suillus granulatus*) et *Rhizopogon* (*Rhizopogon luteolus*, *Rhizopogon rubescens*), ou spécifiques des Mélèzes (*Suillus grevillei*). Toutes ces espèces sont également communes en forêt, et des descriptions illustrées de leurs fructifications peuvent être trouvées dans tous les atlas de champignons. Leur présence et leur abondance relative dans chaque pépinière dépend en partie de la disponibilité en inoculum naturel, du sol et du climat de la région, mais surtout de la pression de sélection exercée par les techniques culturales (Garbaye, 1987).

La première espèce citée (*Thelephora terrestris*) est d'une importance particulière, car elle possède tous les caractères permettant à un champignon ectomycorhizien de coloniser les

pépinières et d'y dominer : fructifications abondantes et pérennes disséminant des spores toute l'année, résistance aux pesticides et aux hauts niveaux de fertilité, et adaptation aux températures extrêmes propres aux sols nus et cultivés. *Thelephora terrestris* est donc dominant dans beaucoup de pépinières, où on repère facilement ses fructifications pétaoloïdes brun sombre, coriaces, qui couvrent le sol nu et engainent parfois la base des plants. Cependant, tous les travaux expérimentaux ont montré que *Thelephora terrestris* était un symbiote moyennement efficace pour stimuler la croissance des plants après transplantation en forêt. Un plant mycorhizé par *Thelephora terrestris* est donc très supérieur à un plant non mycorhizé mais il est préférable d'associer le plant à d'autres symbiotes plus efficaces.

Le genre *Laccaria* mérite également qu'on s'y arrête : il forme des mycorhizes à manteau dense, très résistantes aux opérations de stockage et de manutention des plants à racines nues, et stimulant fortement la croissance des semis en pépinière et des jeunes plantations d'Épicéa et de Douglas sur les sols acides (Le Tacon et al., 1988). Les principaux laccaires (*Laccaria laccata*, *Laccaria bicolor* et *Laccaria proxima*) sont fréquents dans les pépinières sur sol acide, et la présence des mycorhizes correspondantes constitue un facteur de qualité des plants.

Dans l'avenir, de gros progrès sont donc à faire dans les techniques de gestion des pépinières forestières pour favoriser les champignons les plus efficaces et les mieux adaptés aux conditions spécifiques de chaque région de reboisement. Un préalable indispensable à cet effort est la possibilité de caractériser l'état mycorhizien d'un lot de plants, afin de pouvoir formuler un diagnostic et porter un jugement sur la qualité de son système racinaire.

## TECHNIQUES SIMPLES D'OBSERVATION

La description de l'état mycorhizien d'un plant implique l'observation de l'ensemble de son système racinaire, la distinction entre les différents types de racines courtes, et la quantification de leurs abondances relatives.

Que l'observation soit entreprise lors de l'arrachage du plant ou après son conditionnement, son stockage et son transport, un lavage des racines est nécessaire. Il est préférable d'éviter le lavage au jet, qui est trop violent, et de légèrement remuer le plant dans un seau d'eau, en changeant l'eau jusqu'à ce qu'elle reste claire. Si le sol est argileux ou sec, un trempage préalable de quelques heures facilite l'opération.

Les racines sont alors coupées en segments de 5 cm environ qui sont immergés dans l'eau dans un récipient bas (soucoupe, couvercle de boîte ou de bocal, etc...). Il est nécessaire de maintenir les échantillons dans l'eau pour deux raisons : des racines fines détachées du plant sèchent très vite, surtout à proximité d'une source de lumière artificielle, et l'immersion permet aux filaments mycéliens de flotter librement au lieu de se coller entre eux ou à la mycorhize. Un fond noir ou sombre facilite l'observation, en faisant ressortir les filaments mycéliens. Sous un bon éclairage, certains types d'ectomycorhizes sont déjà bien visibles à l'œil nu, mais une observation détaillée nécessite le grossissement. Une petite loupe à main de naturaliste peut convenir (grossissement 8 à 12), mais l'outil idéal, qui assure un confort d'observation bien supérieur, est la loupe binoculaire (aussi appelée stéréomicroscope). Certaines loupes binoculaires peuvent grossir jusqu'à 50 fois, mais un grossissement de 20 fois est la plupart du temps suffisant.

La première phase de l'observation est qualitative : un passage en revue rapide de tous les segments de racines permet de repérer les différents types morphologiques de racines courtes (mortes, nécrosées, saines mais non mycorhizées), et les principales formes de mycorhizes qu'il est possible de distinguer et de mémoriser. À ce stade, le dessin d'un schéma synthétique de chaque type facilite les opérations ultérieures.

La deuxième phase est quantitative : sur l'ensemble des racines ou sur un échantillon pris au hasard, on reprend l'observation plus en détail et on note l'abondance relative de chaque type de racine courte précédemment distingué. Lorsqu'une quantification précise est nécessaire, on dénombre (à l'aide d'autant de compteurs à main qu'il y a de types morphologiques) la totalité des racines courtes de l'échantillon. Il est alors possible de calculer un taux de mycorhization (nombre de mycorhizes/nombre total de racines courtes) ou tout autre rapport. Le plus souvent, on se contente d'une estimation approximative, par exemple en affectant une note d'abondance relative (de 0 à 3 ou de 0 à 5) à chaque type de racine courte ou de mycorhize.

### INTERPRÉTATION ET DIAGNOSTIC

Le premier problème est l'identification des différents types morphologiques de mycorhizes observés. La simple observation de l'aspect extérieur d'une mycorhize, telle qu'elle est proposée ici, ne permet généralement pas à elle seule d'identifier l'espèce du champignon associé. L'observation microscopique de coupes anatomiques peut parfois mener plus loin dans l'identification (Voiry, 1981 ; Agerer, 1987), mais il s'agit de méthodes fastidieuses incompatibles avec un diagnostic de routine. De nombreux laboratoires développent actuellement des techniques biochimiques (isoenzymes, analyse de l'ADN par RFLP, immunologie) qui permettront, dans un proche avenir, la reconnaissance d'espèces ou même de souches. En attendant, à défaut de certitude, il existe cependant des moyens d'aboutir à de bonnes présomptions, suffisantes pour caractériser et comparer des lots de plants.

D'abord, dans le cadre restreint des pépinières forestières françaises non méditerranéennes, il existe quand même quelques mycorhizes dont la morphologie est si typique qu'on ne peut les confondre avec aucune autre. Il s'agit par exemple de celles dues à *Cenococcum graniforme*, illustrée plus loin, ou des mycorhizes de *Tuber albidum*, peu ramifiées, à manteau dense, épais, crème, hérissé de « spinules », c'est-à-dire de poils raides et pointus perpendiculaires à la surface du manteau.

D'autres types morphologiques sont caractéristiques d'un genre ou d'un petit nombre de genres de champignons, comme le montreront les exemples de la deuxième planche photographique (p. 43) et leurs commentaires.

Mais ce sont les fructifications du champignon (ou « carpophores »), qui permettent souvent, par recoupements, de préciser l'identité du champignon responsable d'un type de mycorhize. La présence dans une planche de pépinière d'un champignon sous forme symbiotique n'entraîne pas nécessairement l'apparition de carpophores : la saison, les façons culturales ou les conditions climatiques de l'année peuvent ne pas être favorables à la fructification. Par contre, la présence de carpophores d'une espèce donnée implique obligatoirement l'existence du champignon correspondant sous forme de mycorhizes.

En général, les champignons cités précédemment comme étant communs dans les pépinières fructifient assez abondamment, surtout à partir de la deuxième année de la culture, même si les carpophores sont cachés par les plants et passent facilement inaperçus lorsqu'on ne les cherche pas. Les carpophores de *Tuber albidum* et de *Rhizopogon* sp. sont enterrés de quelques centimètres et ne peuvent être trouvés qu'en grattant ou en tamisant la terre.

Lorsque les principaux types de racines courtes et de mycorhizes ont été reconnus et quantifiés, un diagnostic de qualité des plants peut être porté. Dans l'état actuel de nos connaissances, et en attendant les résultats de nouvelles plantations comparatives, seules quelques règles simples peuvent être proposées :

- *Taux de nécroses racinaires* : il n'est pas rare de trouver des plants dont 50 % des racines sont non mycorhizées et nécrosées (brunes et plus ou moins molles et ridées), ce qui réduit d'autant la capacité absorbante du système racinaire. C'est un facteur qui, à partir de 10 à 20 %, affecte très négativement la qualité des plants. Il est cependant normal d'observer environ 5 % de nécroses, dont certaines correspondent simplement à la mortalité naturelle des racines courtes. Lorsqu'elles sont abondantes, les nécroses peuvent être dues au dessèchement, mais elles sont le plus souvent causées par des champignons pathogènes (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, etc...). C'est une maladie insidieuse car elle ne se manifeste pas, en pépinière, par d'autres symptômes que ces nécroses racinaires et un ralentissement de croissance (Perrin, 1986).

- *Taux de mycorhization* : un plant forestier doit présenter au moins 80 à 90 % de racines courtes mycorhizées pour surmonter la crise de transplantation dans de bonnes conditions, surtout, comme nous l'avons vu, si la plantation a lieu sur un sol dépourvu de champignons ectomycorhiziens. Par contre, la vigueur des plants en pépinière n'est pas forcément liée au taux de mycorhization : le niveau de fertilité des sols de pépinière peut être très élevé, du fait de l'utilisation massive d'engrais, et suffisant pour assurer une bonne nutrition minérale même en l'absence de symbiose. Celle-ci est cependant indispensable en forêt, où les ressources minérales sont toujours beaucoup plus faibles.

- *Nature de la mycorhization* : le fait qu'un type de mycorhize soit favorable ou non à l'installation d'une plantation dépend de plusieurs facteurs : efficacité propre de la symbiose (en terme de nutrition minérale, de protection contre les pathogènes et d'équilibre hormonal de la plante), mais aussi aptitude des mycorhizes à survivre après la sortie de la pépinière et à s'adapter aux nouvelles conditions de la plantation. Par exemple, les mycorhizes à manteau ténu dues aux hébélomes ont fait la preuve de leur efficacité propre dans des essais en conditions contrôlées, mais elles sont fragiles et résistent mal lors de la manutention des plants et de la transplantation. À l'inverse, les mycorhizes noires de *Cenococcum graniforme* ne sont que moyennement efficaces mais survivent et se développent activement après transplantation (Garbaye et Wilhelm, 1984). Les données expérimentales sont encore trop rares pour que l'on puisse porter un jugement sur tous les types de mycorhizes rencontrés dans les pépinières françaises. Néanmoins, il est possible de proposer les éléments d'appréciation suivants dans le cas des plantations sur sols acides (les données manquent sur sol calcaire) :

- mycorhizes particulièrement souhaitables : *Laccaria* sp., *Scleroderma* sp., *Paxillus involutus*, et dans le cas des Pins (en plus des précédentes), *Rhizopogon luteolus* et *Suillus granulatus* ;

- mycorhizes peu souhaitables (parce que peu efficaces, supportant mal la transplantation et/ou mal adaptées aux conditions forestières) : *Thelephora terrestris*, *Hebeloma sacchariolens*, *Hebeloma mesophaeum*. Il est cependant préférable d'avoir des plants mycorhizés par ces champignons que peu ou pas mycorhizés.

## COMMENTAIRES DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

- **La première planche** (page 42) montre des vues macroscopiques de systèmes racinaires de plants et les carpophores de champignons ectomycorhiziens communs dans les pépinières.

**Photo 1.** Semis de Pin noir d'Autriche ayant subi différents traitements expérimentaux modifiant leur état mycorhizien. À droite : système racinaire non mycorhizé ; les racines courtes sont abondantes mais fines et nues. Au milieu : système racinaire faiblement mycorhizé par un *Rhizopogon* ; les racines courtes mycorhizées sont blanches et renflées. À gauche : système

racinaire presque complètement mycorhizé par *Paxillus involutus* (mycorhizes claires à manteau épais) ; le développement de la plante est meilleur que dans les deux autres traitements.

**Photo 2.** Systèmes racinaires de plants de Chêne pédonculé fraîchement arrachés dans une pépinière d'Alsace sur sol alluvial sablo-argileux. On voit d'abondantes mycorhizes blanches dues à *Scleroderma verrucosum* (voir aussi photos 3, 11 et 12). Lorsque les mycorhizes de scléroderme sont aussi abondantes, on peut les identifier à l'odeur, qui est la même que celle des carpophores.

**Photo 3.** Carpophores de *Scleroderma verrucosum* dans la pépinière précédente.

**Photo 4.** Carpophores d'*Hebeloma crustuliniforme*.

**Photo 5.** Carpophores de *Thelephora terrestris*.

**Photo 6.** Carpophores de *Laccaria laccata*.

● **La deuxième planche** (page 43) présente des vues à la loupe binoculaire de types morphologiques de mycorhizes fréquents dans les pépinières.

**Photo 7.** Mycorhize de *Cenococcum graniforme* sur plant de Hêtre. Le manteau est noir, brillant par petites facettes, et porte de longues soies noires et raides. Ce type de mycorhize est toujours dû à ce champignon. Il n'est que très rarement ramifié.

**Photo 8.** Mycorhize de *Rhizopogon luteolus* sur Pin maritime. Le manteau est blanc, épais et hirsute, et des cordons bruns, ramifiés, partent de la base de la mycorhize. En l'absence de carpophores, il est très difficile de distinguer les mycorhizes de *Rhizopogon* et de *Suillus*, deux genres de champignons spécifiques des Pins dans nos régions. On remarque la ramification dichotomique (en Y) typique des racines courtes de Pin. Dans ce cas précis, un deuxième étage est en train de se mettre en place, qui conduira à un amas coralloïde. Les mycorhizes de Pin présentent toujours ce type de ramification particulier, quel que soit le champignon associé.

**Photo 9.** Mycorhize de *Paxillus involutus* sur Chêne. Le manteau, de couleur crème légèrement rosâtre, est épais mais fragile. Il est arraché par plaque sur l'échantillon photographié. On remarque des cordons épais toujours associés à ce type de mycorhize, que seule la couleur permet de distinguer des mycorhizes de scléroderme (voir photo 11).

**Photo 10.** Mycorhizes non ramifiées, à manteau ténu blanc environné d'un feutrage mycélien lâche « en toile d'araignée », et sans cordons. Ce type morphologique, très fréquent, est dû aux champignons appartenant aux genres *Hebeloma* et *Inocybe*. Lors de l'observation, le mycélium externe peut être plus ou moins abondant selon les traitements subis par les racines (arrachage, dessiccation, lavage, etc...).

**Photo 11.** Jeunes mycorhizes de *Scleroderma* sp. sur Chêne. Le manteau blanc pur est mou et peut être abrasé par plaques comme dans le cas de *Paxillus involutus* (photo 9). Les mycorhizes sont très ramifiées et finissent par former des amas (voir photo 2). Sur les Pins, ces amas sont dichotomiques et coralloïdes.

**Photo 12.** Vieille mycorhize de *Scleroderma* sp.. En vieillissant, les branches de la mycorhize prennent des formes courbes (« vermiformes »), et la couleur du manteau passe du blanc au blanc jaunâtre (à ne pas confondre avec la nuance rose-saumon des mycorhizes de *Paxillus involutus* présentées sur la photo 9).



1



2



3



4



5



6



7



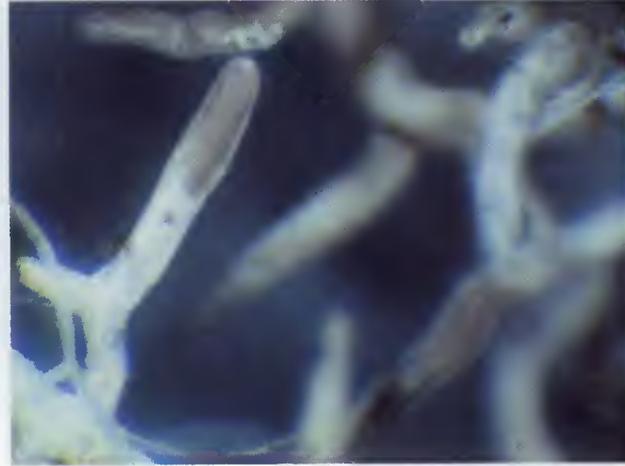
8



9



10



11



12

● **La troisième planche** (page 46) montre l'évolution dans le temps des mycorhizes de *Thelephora terrestris* sur des plants de Douglas.

**Photo 13.** Jeune mycorhize de *Thelephora terrestris*. Le manteau, blanc pur ou légèrement crème, est très épais, comme on le voit par rapport au diamètre plus réduit de la base de la racine courte, qui n'est pas revêtue par le champignon. Il est de structure lâche (feutrée) en surface, et porte une « brosse » de poils courts.

**Photo 14.** Jeune mycorhize de *Thelephora terrestris* en train de se ramifier.

**Photo 15.** Mycorhize de *Thelephora terrestris* commençant à vieillir. Le manteau externe blanc et poilu disparaît à partir de la base de la mycorhize, laissant voir la couche interne brune et lisse.

**Photo 16.** Mycorhize de *Thelephora terrestris* ayant perdu la couche externe du manteau, qui ne subsiste que sous la forme d'un réseau lâche de filaments morts et jaunes. La mycorhize est cependant encore vivante et fonctionnelle, comme le montrent les cordons mycéliens blancs qui partent de sa base et explorent le sol. Ces cordons sont une caractéristique des mycorhizes de *Thelephora terrestris*, mais ne sont pas présents sur toutes, comme le montrent les photos précédentes. Ils apparaissent tardivement, lorsque le manteau externe commence à disparaître.

**Photo 17.** Vieille mycorhize de *Thelephora terrestris* réduite à son manteau interne brun clair, plus sombre vers la base. Cette mycorhize n'est pas morte, et peut se rejuveniliser lors de la reprise de croissance du plant, comme le montre la photo suivante.

**Photo 18.** Vieille mycorhize de *Thelephora terrestris* en reprise d'activité. La partie ancienne, basale, se remarque par son manteau brun et lisse et par des cordons blancs, alors que l'extrémité s'allonge et porte un manteau juvénile complet comme sur la photo 13.

● **La quatrième et dernière planche** (page 47) montre, de la même façon que la précédente pour *Thelephora terrestris*, l'évolution dans le temps des mycorhizes de *Laccaria laccata* sur Douglas. La comparaison des deux planches permet de mettre en évidence les différences entre ces deux types de mycorhizes, qui sont particulièrement difficiles à distinguer pour un œil non averti.

**Photo 19.** Mycorhize de *Laccaria laccata* au tout début de son installation. Le manteau est peu épais et lâche, avec un mycélium externe désordonné.

**Photo 20.** Jeune mycorhize de *Laccaria laccata*. Comme dans le cas de *Thelephora terrestris* (voir photo 13), le manteau est épais et sa couche externe est feutrée et porte de nombreux poils. Ceux-ci sont cependant plus longs, plus souples et plus irrégulièrement disposés. La couleur du manteau jeune peut également être un critère de distinction : alors qu'il est blanc pur ou blanc-crème avec *Thelephora terrestris*, il est souvent nuancé de mauve avec les laccaires, surtout à l'extrémité de la mycorhize. On devine cette nuance sur cette photo, mais elle est plus nette sur la suivante.

**Photo 21.** Mycorhize de *Laccaria laccata* à un stade un peu plus avancé. La couche extérieure du manteau et le mycélium externe se raréfient, laissant apparaître le manteau interne brun et lisse. La couleur mauve est bien visible à l'extrémité de la mycorhize.

**Photo 22.** Mycorhize de *Laccaria laccata* vieillissante. Les poils mycéliens ne subsistent qu'à l'extrémité.

**Photo 23.** Vieilles mycorhizes de *Laccaria laccata*. Le manteau externe a complètement disparu et on ne voit que le manteau interne dense, lisse et brun, de couleur uniforme. Seules les extrémités des mycorhizes portent encore des filaments explorant le sol, à ne pas confondre avec les cordons caractéristiques de *Thelephora terrestris* qui partent de la base des mycorhizes et qui sont plus gros et plus longs, formés de filaments agrégés.

**Photo 24.** Portion du système racinaire d'un plant de Douglas arraché en début d'hiver et massivement mycorhizé par *Laccaria laccata*. Les mycorhizes sont vieilles, totalement lisses et brunes, et certaines sont très ramifiées. Certaines extrémités portent les traces d'une ou deux reprises d'activité tardives (petits renflements plus clairs), mais ont également perdu leur manteau externe. De telles mycorhizes sont bien vivantes, et celles qui auront résisté au stockage et aux manipulations développeront de nouveau un manteau externe et des filaments mycéliens lors de la reprise des plants, rétablissant le contact avec le sol et assurant la colonisation des racines courtes nouvellement formées. L'évolution morphologique ressemblera alors à celle des mycorhizes de *Thelephora terrestris* (photo 18), mais sans les cordons et avec un manteau typique de *Laccaria laccata* (photos 19 à 22).

J. GARBAYE  
Laboratoire de Microbiologie forestière  
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)  
CHAMPENOUX  
54280 SEICHAMPS

## BIBLIOGRAPHIE

- AGERER (R.). — Colour atlas of ectomycorrhizas. — Einhorn: Verlag Eduard Dietenberger, Schwäbisch Gmünd, 1987.
- AL ABRAS (K.), LAPEYRIE (F.), LE TACON (F.), MARTIN (F.). — Appréciation de la qualité des systèmes racinaires des plants forestiers par leur état symbiotique. Incidence sur la crise de transplantation de l'Épicéa commun. — *Revue forestière française*, vol. XL, n° spécial « Diagnostics en forêt », 1988, pp. 140-148.
- DOMINIK (T.). — Synopsis of a new classification of ectotrophic mycorrhizae established on morphological and anatomical characteristics. — *Mycopath. et Mycol. Appl.*, 11, 1961, pp. 359-361.
- DOMINIK (T.). — Key to ectotrophic mycorrhizae. — *Folia Forestalia Polonica*, Série A, Lestnictwo, 15, 1969, pp. 309-321.
- GARBAYE (J.). — Effect of agriculture and forestry practice on mycorrhizal symbiosis. — Proceedings of the Symposium on Fungi and Environment, Borgotaro (Italy), 1987.
- GARBAYE (J.), WILHELM (M.-E.). — Influence de la mycorhization acquise en pépinière sur la mycorhization de jeunes plantations de Chêne. — *Acta oecologica. Oecologia Plantarum*, 5 (19), 1984, pp. 151-161.
- GARBAYE (J.), MENEZ (J.), WILHELM (M.-E.). — Les mycorhizes des jeunes chênes dans les pépinières et les régénérations naturelles du Nord-Est de la France. — *Acta oecologica. Oecologia Plantarum*, 7 (21), 1986, pp. 87-96.
- LE TACON (F.), GARBAYE (J.), BOUCHARD (D.), CHEVALIER (G.), OLIVIER (J.-M.), GUIMBERTEAU (J.), POITOU (N.), FROCHOT (H.). — Field results from ectomycorrhizal inoculation in France. Canadian Workshop on Mycorrhizae in Forestry / M. Lalonde and Y. Piché Ed.. — Québec (Canada), 1988.
- PERRIN (R.). — Les Agents pathogènes du sol en pépinières forestières : prévisions des risques et lutte. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 3, 1986, pp. 243-248.
- VOIRY (H.). — Classification morphologique des ectomycorhizes du Chêne et du Hêtre dans le Nord-Est de la France. — *European Journal of Forest Pathology*, 11, 1981, pp. 284-299.
- ZAK (B.). — Classification of ectomycorrhizae. In: « Ectomycorrhizae their ecology and physiology » / G.C. Marks and T.T. Kozlowski Ed., pp. 43-78. — New-York: Academic Press, 1973. — 444 p.



13



14



15



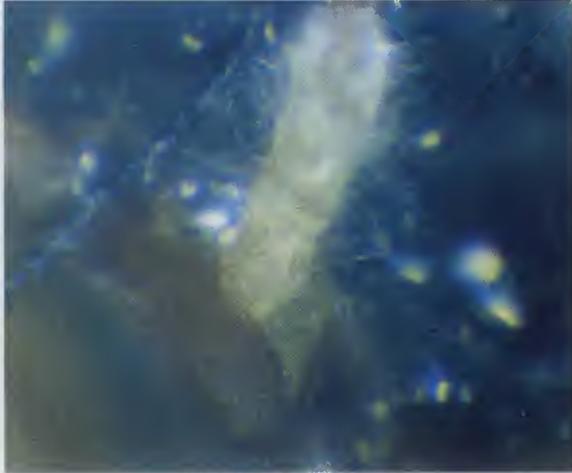
16



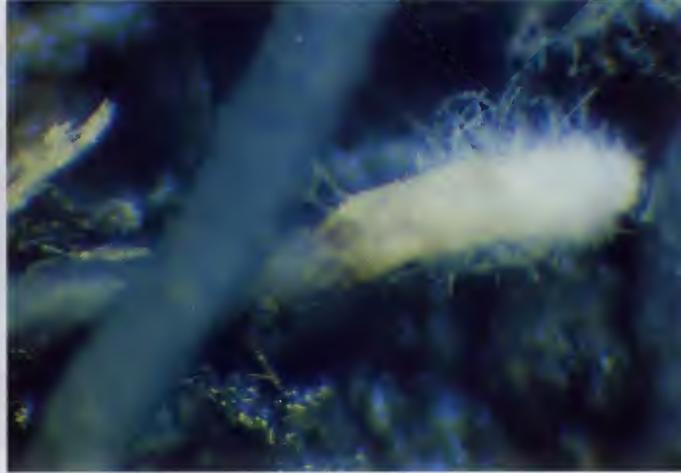
17



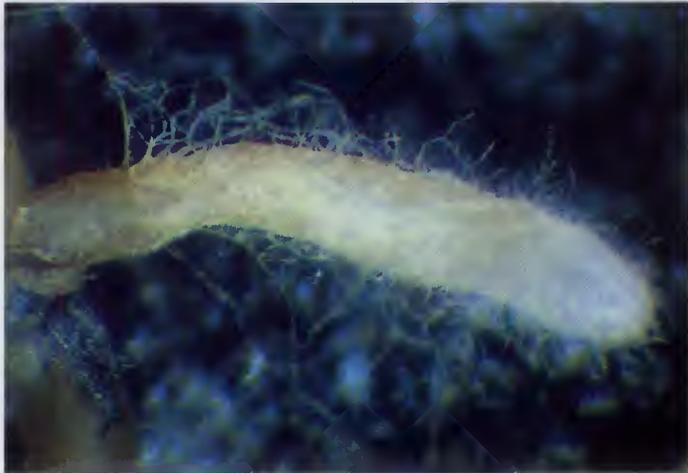
18



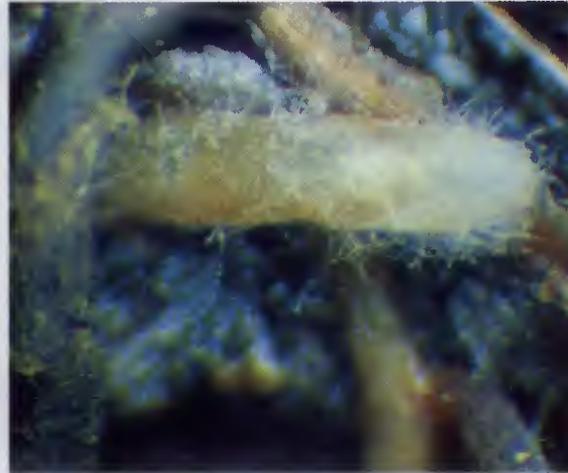
19



20



21



22



23



24