



HAL
open science

Les symbiotes mycorhiziens de l’Epicéa commun et du Douglas dans le Limousin

François Le Tacon, D. Lamoure, J. Guimberteau

► **To cite this version:**

François Le Tacon, D. Lamoure, J. Guimberteau. Les symbiotes mycorhiziens de l’Epicéa commun et du Douglas dans le Limousin. *Revue forestière française*, 1984, 36 (4), pp.325-338. <10.4267/2042/21743>. <hal-03423719>

HAL Id: hal-03423719

<https://hal.science/hal-03423719v1>

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.



HAL Authorization

LES SYMBIOTES MYCORHIZIENS DE L'ÉPICÉA COMMUN ET DU DOUGLAS DANS LE LIMOUSIN

F. LE TACON - D. LAMOURE
J. GUIMBERTEAU - C. FIKET

Le Massif Central est la plus importante région de reboisement en France. Les essences les plus utilisées sont le Douglas, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, et l'Épicéa, *Picea abies* (L.) Karst.

Les conditions climatiques, caractérisées par une forte pluviosité, l'altitude moyenne et les sols issus des arènes granitiques sont des conditions de milieu particulièrement favorables à une production résineuse élevée. Cependant, l'établissement de ces écosystèmes résineux artificiels se heurtent à des difficultés dont les plus importantes sont liées à des problèmes de micro-biologie des sols.

L'Épicéa commun et le Douglas, comme d'ailleurs tous les arbres forestiers, ne peuvent se développer que si leurs racines sont associées à des champignons symbiotiques. Dans le cas de ces deux essences, il se forme des ectomycorhizes. Les mycorhizes interviennent dans différents processus qu'il est possible de résumer de la façon suivante : absorption des éléments minéraux et particulièrement des éléments les moins mobiles du sol (P, Cu, Zn), métabolisme de l'azote, alimentation en eau, élaboration de substances de croissance, protection phytosanitaire des racines contre les agents pathogènes du sol.

En contrepartie, l'arbre fournit aux champignons symbiotiques qui lui sont associés des substances carbonées constituées essentiellement de sucres.

Dans la plupart des sols de plantation du Massif Central, les champignons ectomycorhiziens ont disparu en raison du déboisement ancien. La disparition de l'hôte entraîne en effet la disparition des symbiotes racinaires.

L'inventaire de la microflore fongique ectomycorhizienne naturelle, son évolution lors des phases de déboisement, puis lors de l'introduction des résineux dans différentes conditions, nous paraissent indispensables à la compréhension des problèmes qui se posent au moment de la plantation et ensuite pendant les premières phases de la vie des peuplements résineux (Bonneau, 1972).

Les complexes mycorhiziens des peuplements artificiels ont trois origines :

- mycélium ou spores ou autres formes de résistance (cordons rhizomorphes, sclérotés), préexistants dans le sol ;
- spores apportées par le vent et provenant de peuplements plus ou moins éloignés ;
- inoculum apporté sous forme de mycorhizes et provenant de la pépinière d'origine.

Nous allons analyser la provenance des différentes sources d'inoculum suivant les quatre principales situations de reboisement dans le Limousin :

- plantation après la coupe d'un peuplement résineux artificiel ;
- plantation après la coupe d'un peuplement feuillu naturel ;
- plantation en lande à fougère, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ;
- plantation en lande à Callune, *Calluna vulgaris* (L.) Hull.

Auparavant, nous avons jugé nécessaire d'analyser l'évolution normale de la microflore symbiotique des résineux en fonction du temps.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pendant trois ans, d'août à octobre (1981, 1982, 1983), nous avons fait l'inventaire des champignons ectomycorhiziens formant des carpophores dans les situations écologiques suivantes :

- Grand Grammont, commune de Peyrat-le-Château (Haute-Vienne). Sommet situé à 700 m d'altitude. Sol brun acide humifère sur granulite, occupé avant plantation essentiellement par une lande à fougère. Plantation d'*Epicéa* effectuée en 1964. Les relevés ont été effectués dans un plateau témoin et dans un plateau ayant reçu une fertilisation complète NPKCa (Bonneau, 1983).
- Barbaroux, hameau de la commune de Saint-Julien-le-Petit (Haute-Vienne). Altitude : 450 m. Sol brun acide sur gneiss pauvre en phosphore, occupé avant plantation pour partie par une lande à fougère et pour partie par une lande à Callune. Plantation de Douglas en 1965. Les relevés ont été effectués dans un plateau témoin et dans un plateau ayant reçu une fertilisation complète, et à la fois dans la partie étant initialement une lande à fougère et dans celle étant initialement une lande à Callune (Bonneau, 1973).
- Lande de Chammet, du lac de barrage du même nom, commune de Peyrelevade (Corrèze). Altitude : 750 m. Sol brun acide humifère sur granulite. Lande à Callune plantée en *Epicéa*, Douglas et Pin sylvestre en 1968. Les relevés mycologiques ont été effectués sous les trois essences.
- Bois de Tarnac, commune de Tarnac (Corrèze). Altitude : 700 m. Sol brun acide humifère à moder sur granulite. Hêtraie-chênaie naturelle. Trois relevés effectués en trois endroits différents.
- Mont-Roc, commune de Peyrelevade (Corrèze). Altitude : 848 m. Sol brun acide humifère à moder sur granulite. Hêtraie-chênaie naturelle. Relevés en un seul endroit.

Un capteur de spores « BURKARD » a été installé dans la lande à fougère du Grand-Grammont, du 8 septembre au 10 octobre 1980. Un aspirateur à air permettait de piéger les spores sur un



Plantation d'Épicéa âgée de 15 ans en lande à Callune. On remarquera la croissance normale des semis de Pin sylvestre qui se sont installés naturellement après la plantation.

Photo ADRIAN.

ruban adhésif monté sur un tambour tournant. Par 24 heures, le volume d'air aspiré était de 14,4 m³. Le piégeage, l'observation et le comptage des spores ont été effectués selon Hirst (1952).

Des observations de mycorhizes ont été effectuées dans ces différentes situations ainsi qu'à la pépinière du Fonds forestier national de Peyrat-le-Château.

ÉVOLUTION DE LA MICROFLORE ECTOMYCORHIZIENNE DES RÉSINEUX EN FONCTION DU TEMPS

En pépinière, le complexe mycorhizien est en général constitué par un nombre limité d'espèces. En plantation, le nombre d'espèces fongiques associées à une essence augmente progressivement en fonction du temps. Des relevés mycologiques effectués sur 1 000 à 2 000 m² dans les Vosges, sous divers peuplements naturels ou artificiels d'Épicéa ont montré que le nombre d'espèces mycorhiziennes y variait entre 5 et 25 (Thoen, 1980). Ces relevés ont été effectués sur une courte période et ne prennent pas en compte les champignons souterrains ou qui ne fructifient pas. Or ces champignons souterrains sont souvent en nombre très important (Froidevaux et Schwarzel, 1977).

Il est vraisemblable que sur un hectare, l'Épicéa est associé avec au moins une cinquantaine d'espèces ectomycorhiziennes. Cette diversification s'effectue progressivement dans le temps. Sous Bouleau, Last et al. (1983), en Grande-Bretagne, ont identifié des successions de champignons mycorhiziens en fonction de l'âge de l'arbre, et ont introduit la notion de « symbiote de stade juvénile et de symbiote de stade adulte ».

Pour l'Épicéa, le Douglas et le Pin sylvestre qui forment également des ectomycorhizes, nous avons tenté d'établir à partir de nos propres observations dans diverses pépinières et plantations du Limousin, des séquences d'apparition de carpophores (tableau I). Ces séquences doivent être considérées comme des approximations susceptibles d'être ultérieurement modifiées.

L'Épicéa et le Douglas semblent avoir un cortège mycorhizien très semblable, encore que les Cortinaires caractérisent mieux l'Épicéa, et les Inocybes le Douglas. Dès le stade de la pépinière, le Pin sylvestre présente un certain nombre d'espèces communes avec les deux essences précé-

Tableau I Succession, en pépinière puis en plantation, de carpophores associés à *Picea abies* (L.) Karst., à *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco et à *Pinus sylvestris* (L.)

Temps écoulé depuis le semis en années ou en mois	Première approximation		
	Épicéa et Douglas	Pin sylvestre	
2 à 6 mois	<i>Thelephora terrestris</i> Ehrenb. ex Fr.	<i>Thelephora terrestris</i> Ehrenb. ex Fr.	Pépinière
6 mois à 4 ans	<i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Br. <i>Hebeloma</i> sp. <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.	<i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Br. <i>Hebeloma</i> sp. <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr. <i>Suillus luteus</i> (L. ex Fr.) Gray	
4 à 8 ans	<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) Orton <i>Cortinarius</i> sp. <i>Inocybe</i> sp.	<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) Orton <i>Suillus granulatus</i> (L. ex Fr.) <i>Suillus bovinus</i> (L. ex Fr.) o. Kuntze	
8 à 15 ans	<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat <i>Amanita</i> sp. <i>Lactaria</i> sp. <i>Russula</i> sp. <i>Gomphidius glutinosus</i> (Schff.) Fr.	<i>Amanita</i> sp. <i>Lactarius</i> sp. <i>Russula</i> sp. <i>Gomphidius glutinosus</i> (Schff.) Fr.	Plantation
+ de 15 ans	<i>Boletus edulis</i> (Bull. ex Fr.) <i>Laccaria amethystina</i> (Bolt. ex Hooker)	<i>Tricholoma</i> sp.	

— espèces associées à l'Épicéa et au Douglas et non associées au Pin sylvestre.

---- espèces associées au Pin sylvestre et non associées à l'Épicéa et au Douglas.

Non souligné : espèces communes aux trois essences.

dentes, mais s'en différencie par son association avec *Suillus luteus* et *Suillus bovinus*. Inversement, un certain nombre d'espèces fongiques ne s'associant pas avec le Pin sylvestre apparaissent entre 4 et 8 ans sous l'Épicéa (Cortinaires) et sous le Douglas (Inocybes).

Un peu plus tard, au-delà de 8 ans, *Chalciporus piperatus* apparaît uniquement sous Douglas et Épicéa, ainsi que diverses autres espèces fongiques communes aux trois essences (Amanites, Lactaires, Russules, Gomphides).

Au-delà de 15 ans, *Boletus edulis* et *Laccaria amethystina* apparaissent sous Épicéa et Douglas, alors que les Tricholomes apparaissent sous Pin sylvestre.

Ces différences que nous observons dans le Limousin entre Épicéa et Douglas d'une part, et Pin sylvestre d'autre part, ne semblent pas généralisables.

En effet, si nous nous référons aux listes établies par Trappe (1962), les différences entre essences semblent moins nettes. Il faut cependant remarquer que ces listes ont été établies avec des données provenant de très nombreuses publications et recouvrant des conditions écologiques très diverses.

Nous allons maintenant examiner d'un point de vue mycologique les quatre principales situations de reboisement dans le Limousin.

PLANTATION APRÈS EXPLOITATION D'UN PEUPEMENT PRÉ-EXISTANT D'ÉPICÉA OU DE DOUGLAS

Cette situation est encore rare dans le Limousin puisque peu de reboisements artificiels d'Épicéa et de Douglas arrivent actuellement à maturité. Dans les prochaines années, cette situation deviendra de plus en plus fréquente. Dans ces conditions de plantation, l'installation d'un nouveau peuplement ne pose aucune difficulté sous l'angle de la symbiose mycorhizienne. Après coupe à blanc, les symbiotes survivent dans le sol suffisamment longtemps pour assurer la colonisation du système racinaire des jeunes plants. Après exploitation d'un peuplement de Pin sylvestre, une plantation d'Épicéa ou de Douglas ne devrait pas rencontrer de problèmes, en raison du nombre important d'espèces mycorhiziennes communes.

PLANTATION APRÈS EXPLOITATION D'UN PEUPEMENT FEUILLU NATUREL

La forêt naturelle du Limousin est une forêt feuillue. Il s'agit d'une hêtraie-chênaie acidiphile avec en mélange, du Bouleau verruqueux, *Betulus verrucosa* Ehrh. Le Chêne est essentiellement du Chêne pédonculé, *Quercus robur* L. Nous avons effectué des relevés mycologiques dans quatre massifs feuillus près de Tarnac entre 600 et 850 m d'altitude. Dans le tableau II, nous présentons un regroupement de ces quatre relevés en essayant de distinguer les espèces fongiques suivant leur spécificité vis-à-vis d'un hôte ou de plusieurs hôtes. Ce tableau a été construit d'après nos propres observations, la synthèse de Trappe (1962) et celle de Meyer (1973).

Tableau II **Associés fongiques de la forêt naturelle du Limousin**
(Hêtraie-chênaie à Bouleau) - liste non limitative

<p>GROUPE 1 Espèces associées uniquement à <i>Quercus robur</i></p>	<p><i>Lactarius vellereus</i> Fr. <i>Lactarius chrysorrheus</i> Fr. <i>Lactarius camphoratus</i> Bull. ex Fr. <i>Lactarius quietus</i> Fr. <i>Cortinarius bolaris</i> (Pers. ex Fr.) Fr. <i>Cortinarius alboviolaceus</i> (Pers. ex Fr.) Fr. <i>Tricholoma columbetta</i> (Fr.) Kummer</p>
<p>GROUPE 2 Espèces associées uniquement à <i>Fagus silvatica</i></p>	<p><i>Lactarius blennius</i> Fr. <i>Lactarius subdulcis</i> Bull. ex Fr. <i>Amanita umbrino-lutea</i> Secr. <i>Russula fellea</i> Fr. <i>Russula mairei</i> var. <i>fagiticola</i> (Melz.) Kühn et Romagn. <i>Tricholoma ustaloïdes</i> Romagn. <i>Boletus calopus</i> Fr.</p>
<p>GROUPE 3 Espèces associées uniquement à <i>Betula verrucosa</i></p>	<p><i>Lactarius theiogalus</i> (Bull.) Fr. <i>Lactarius necator</i> (Pers. ex Fr.) Karst. <i>Cortinarius pholideus</i> Fr. <i>Cortinarius violaceus</i> (L. ex Fr.) Fr. <i>Cortinarius armillatus</i> (Fr.) Fr. <i>Cortinarius paleaceus</i> Fr. <i>Russula aeruginea</i> Lindbl. <i>Leotia lubrica</i> Pers.</p>
<p>GROUPE 4 Espèces associées à <i>Quercus robur</i> et à <i>Fagus silvatica</i></p>	<p><i>Cortinarius anomalus</i> (Fr. ex Fr.) Fr. <i>Cortinarius claricolor</i> Fr. <i>Russula cyanoxantha</i> Schff. ex. Fr. <i>Russula fellea</i> Fr. <i>Russula laurocerasi</i> Melzer <i>Xerocomus chrysenteron</i> (Bull. ex. Saint Amans) Quéf.</p>

Tableau II (suite)

Associés fongiques de la forêt naturelle du Limousin

(Hêtre-chênaie à Bouleau) - liste non limitative

<p>GROUPE 5 Espèces associées à <i>Quercus robur</i> et à <i>Fagus sylvatica</i>, pouvant s'associer à <i>Picea abies</i> et <i>Pseudotsuga menziesii</i></p>	<p><i>Russula nigricans</i> (Bull.) Fr. <i>Laccaria amethystina</i> (Bolt.) Muss. <i>Hydnum repandum</i> L. ex Fr.</p>
<p>GROUPE 6 Espèces associées à <i>Quercus robur</i> et <i>Fagus sylvatica</i> et pouvant s'associer à <i>Picea abies</i>, <i>Pseudotsuga menziesii</i>, <i>Pinus silvestris</i></p>	<p><i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Bk. et Br. <i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr. <i>Paxillus involutus</i> (Batsch.) Fr. <i>Russula ochroleuca</i> (Pers.) Fr. <i>Russula mairei</i> Sing. <i>Russula emetica</i> Fr. <i>Russula fragilis</i> (Pers. ex Fr.) Fr. <i>Dermocybe cinnamomeus</i> (L. ex Fr.) Wünsche <i>Cortinarius orellanus</i> (Fr.) Fr. <i>Cantharellus tubaeformis</i> Bull. ex Fr. <i>Cantharellus cibarius</i> Fr. <i>Amanita gemmata</i> (Fr.) Gill. <i>Xerocomus badius</i> (Fr.) Kühn. ex Gibb. <i>Xerocomus subtomentosus</i> (L. ex Fr.) Quéél.</p>
<p>GROUPE 7 Espèce associée à <i>Quercus robur</i> et <i>Fagus sylvatica</i> et pouvant s'associer à <i>Pinus silvestris</i></p>	<p><i>Tricholoma virgatum</i> (Fr. ex Fr.) Kummer</p>
<p>GROUPE 8 Espèce associée à <i>Betula verrucosa</i> et pouvant s'associer à <i>Picea abies</i>, <i>Pseudotsuga menziesii</i>, <i>Pinus silvestris</i></p>	<p><i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker</p>
<p>GROUPE 9 Espèces associées à <i>Betula</i> <i>verrucosa</i> et pouvant s'associer à <i>Pinus silvestris</i></p>	<p><i>Suillus variegatus</i> (Swartz ex Fr.) O. Kuntze <i>Tricholoma flavobrunneum</i> (Fr.) Kummer</p>

Il est possible de distinguer neuf groupes de symbiotes ectomycorhiziens en forêt feuillue naturelle. Les symbiotes des trois premiers groupes sont spécifiques. Ils forment des associations, soit uniquement avec le Chêne, soit uniquement avec le Hêtre, soit uniquement avec le Bouleau. Ceux du quatrième groupe sont moins spécifiques puisqu'ils s'associent à la fois au Chêne et au Hêtre. Ceux du cinquième groupe sont capables de s'associer non seulement au Hêtre et au Chêne, mais également à l'Épicéa et au Douglas. Ceux du sixième groupe perdent encore un peu de leur spécificité puisqu'ils peuvent s'associer au Pin sylvestre en plus des quatre essences précédentes. Les espèces fongiques des groupes 5 et 6 sont particulièrement intéressantes puisqu'elles sont susceptibles de former une association avec les principaux résineux utilisés en reboisement dans le Limousin.

Enfin, les symbiotes des groupes 8 et 9 peuvent s'associer au Bouleau et aux résineux introduits artificiellement. Dans le groupe 8, se trouve *Amanita muscaria* que l'on rencontre toujours en abondance dans les peuplements résineux du Limousin. *Amanita muscaria* est une espèce acidiphile caractérisée.

Une plantation d'Épicéa ou de Douglas qui sera installée après exploitation d'un peuplement naturel feuillu ne rencontrera donc aucun problème pour contracter des associations mycorhiziennes. Même si l'inoculum en provenance de la pépinière est insuffisant, l'inoculum présent dans le sol de reboisement sera toujours suffisamment abondant et diversifié.

PLANTATION EN LANDE À « Fougère Aigle » (*PTERIDIUM AQUILINUM*)

Dans ces conditions de plantation, l'inoculum pré-existant dans le sol est très faible, voir nul. Après disparition de l'hôte, le mycelium des champignons ectomycorhiziens n'a qu'une très faible capacité de vie saprophytique et ne peut survivre que quelques mois. Dans quelques cas exceptionnels, la survie peut être assurée pendant plusieurs années dans les souches ou les racines en décomposition (Dimbleby, 1953). Certaines spores pourraient aussi survivre dans le sol.

Mais, surtout, tous les ans, des spores transportées par voie aérienne arrivent au sol, pendant la période de fructification, en provenance de peuplements pouvant être situés à des distances plus ou moins importantes.

Nous avons installé des capteurs de spores dans une lande à fougère au Grand-Grammont à 720 m d'altitude, et avons collecté des spores du 8 septembre au 10 octobre 1980. Moins de 4 % (3,7 %) des spores récoltées appartenaient à des champignons ectomycorhiziens. Malgré cette faible proportion, nous en avons dénombré en moyenne par 24 heures un peu moins de 16 000, dans 14,4 m³ d'air, soit à peu près une spore par litre d'air.

Ces spores appartenaient aux ordres, familles, genres ou espèces consignés dans le tableau III.

Tableau III Capture de spores de champignons ectomycorhiziens dans la lande à fougère du Grand-Grammont (septembre-octobre 1980)

	Pourcentage de spores par rapport au nombre total de spores (16 000 par 24 h)
Boletales	22 %
Lactaires et Russules	21,1 %
<i>Thelephora terrestris</i>	18,4 %
<i>Cortinarius sp.</i>	16,1 %
<i>Laccaria sp.</i>	11 %
<i>Inocybes goniosporés</i>	3,5 %
<i>Amanita sp.</i>	1,6 %
<i>Hebeloma sp.</i>	1,3 %
Divers	4,4 %

Dans cette lande du Limousin, il arrive donc à l'automne par voie aérienne des quantités importantes et très diversifiées de spores de champignons ectomycorhiziens. Il y a nettement dominance des Bolets, des Lactaires et Russules, des Cortinaires et surtout de *Thelephora terrestris*. Sauf pour cette dernière espèce, il en va sans doute de même ailleurs qu'à Grand-Grammont.

Même si l'inoculum provenant de la pépinière est insuffisant, les jeunes plants résineux introduits vont donc pouvoir progressivement s'associer à des symbiotes issus de ces spores apportées par le vent.

Le développement d'un système racinaire mycorrhizé par des symbiotes diversifiés ne se fera cependant pas aussi rapidement que dans le cas où l'inoculum est déjà présent sous forme mycélienne au moment de la plantation.

La crise de transplantation durera par conséquent un peu plus longtemps, deux à quatre ans, dans le cas de reboisement en lande à fougère que dans le cas d'un reboisement après exploitation d'un peuplement préexistant (un à deux ans).

Tableau IV Relevé des champignons ectomycorhiziens effectué en 1981, 1982 et 1983 sous le peuplement d'Épicéa du Grand-Grammont (plantation en 1966)
Etat initial : lande à fougère (sol brun humifère sur granulite) ; altitude 700 m

Témoïn	NPKCa
81-59 * <i>Cortinarius (Telamonia)</i> sp. <i>Cortinarius (Telamonia)</i> sp. <i>Cortinarius limonius</i> (Fr. ex Fr.) Fr. <i>Cortinarius anomalus</i> <i>Cortinarius duracinus</i> Fr. <i>Cortinarius saturatus</i> Lge.	81-85 * <i>Cortinarius (telamonia)</i> sp. 81-81 <i>Cortinarius limonius</i> (Fr. ex Fr.) Fr.
81-64 * <i>Cortinarius (Telamonia)</i> sp. <i>Cortinarius citrinofulvescens</i> Moser	
81-71 * <i>Cortinarius (Telamonia)</i> sp. 221 226	81-89 <i>Cortinarius (telamonia)</i> sp. 81-95 81-102 81-116
<i>Laccaria amethystina</i> <i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Bk. et Br. <i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr. <i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat <i>Amanita verna</i> (Bull. ex Fr.) Pers. ex Vitt. <i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker <i>Amanita rubescens</i> (Pers. ex Fr.) Gray <i>Thelephora terrestris</i> Ehrh. ex Fr.	<i>Laccaria amethystina</i> (Bolt. ex Hook.) Murr <i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat <i>Hebeloma crustuliniforme</i> (Bull. ex Fr.) Quél. <i>Cortinarius (phlegmacium) caesiogriseum</i> Moser <i>Cortinarius biformis</i> Fr. <i>Lactarius rufus</i> Fr. <i>Lactarius deterrimus</i> Gröger

* Regroupé sous *Cortinarius* sp. ss g. *Telamonia* pas encore déterminés.

Tableau V Relevé de champignons ectomycorhiziens effectué en 1981, 1982 et 1983 sous le peuplement de Douglas de Saint-Julien-le-Petit (plantation 1967)
Etat initial : lande à fougère (sol brun acide sur granulite) ; altitude 400 m

Témoïn	NPKCa
<i>Inocybe mixtilis</i> Britz <i>Inocybe calamistrata</i> (Fr./Gill) <i>Inocybe praetervisa</i> Quél. <i>Inocybe fastigiata</i> (Schff. ex Fr.) Quél. <i>Inocybe lacera</i> (Fr.) Kummer <i>Inocybe cookei</i> Bres. <i>Laccaria laccata</i> <i>Scleroderma</i> sp. <i>Russula</i> sp.	<i>Inocybe subbrunna</i> Kühner <i>Inocybe praetervisa</i> <i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Bk. et Br. <i>Scleroderma</i> sp.

Nous avons relevé en 1981, 1982 et 1983, les carpophores de champignons ectomycorhiziens d'une plantation d'Épicéa effectuée en 1966 sur une lande à fougère, au Grand-Grammont, sans fertilisation, ou avec une fertilisation complète (tableau IV), et celle d'une plantation de Douglas effectuée à Barbaroux (Saint-Julien-le-Petit) en 1967 dans les mêmes conditions (tableau V).

Au Grand-Grammont, en 1974, soit onze ans après la plantation, la fertilisation complète avait assuré un gain de croissance en hauteur de 27 % par rapport au témoin (Bonneau, 1983). A Barbaroux, l'effet de la fertilisation sur le Douglas en lande à fougère était du même ordre de grandeur.

Quinze ans après la plantation, le cortège ectomycorhizien de l'Épicéa est riche avec au moins 20 espèces associées dont beaucoup de Cortinaires. Dans les faibles limites de nos investigations, l'origine de ces Cortinaires ne nous est pas connue. En effet, à part *Cortinarius anomalus*, ces Cortinaires ne semblent pas exister en forêt feuillue naturelle. Nous pouvons supposer que ces Cortinaires spécifiques ont pour origine des spores provenant directement, ou de proche en proche, des peuplements naturels ou artificiels plus lointains. Nous pouvons aussi nous poser la question de l'origine de *Chalciporus piperatus*, que nous n'avons pas rencontré en forêt feuillue naturelle, bien qu'il puisse être associé au Bouleau. Cette espèce pourrait être associée aussi au Pin sylvestre, bien que nous ne l'ayons pas rencontrée dans ces conditions dans le Limousin, et pourrait donc provenir des peuplements naturels de Pin sylvestre d'Auvergne.

Il semble que la fertilisation modifie assez nettement le cortège fongique comme cela a pu être démontré dans d'autres situations (Menge et Grand, 1978 ; Garbaye et al., 1979 ; Garbaye, Le Tacon, 1982). Le cortège des Cortinaires régresse nettement, alors qu'apparaissent des espèces nouvelles plus neutrophiles comme *Hebeloma crustuliniforme*.

Sous Douglas, quinze ans après la plantation, le cortège de champignons mycorrhiziens est moins riche que celui rencontré sous Épicéa. Ce cortège se caractérise par l'abondance des Inocybes. La plupart de ces Inocybes peuvent se rencontrer sous les saules. Nous avons rencontré ces divers Inocybes hygrophiles dans un vallon situé en contre-bas de la plantation de Douglas. Certains sont également associés au Hêtre (*I. praetervisa*), ou au Chêne (*I. fastigiata*). On peut remarquer l'absence de Cortinaires dans ce relevé. Comme dans le cas de Grand-Grammont, la fertilisation entraîne une diminution du nombre d'espèces symbiotiques.

PLANTATION EN LANDE À CALLUNE

Tous les forestiers connaissent les difficultés de reboisement des landes à Callune. L'Épicéa et le Douglas y ont une croissance faible, voire nulle pendant plusieurs années ou même dizaines d'années. Leurs aiguilles sont chétives et chlorotiques, et présentent des déficiences minérales généralisées, et plus particulièrement en phosphore (Bonneau, 1972).

Il est possible de remédier à ces graves difficultés de croissance par fertilisation. Bonneau a montré que dans ces landes à Callune, l'Épicéa comme le Douglas répondait de façon spectaculaire à un apport de phosphore. Un apport initial de 80 g de superphosphate triple par plant permet d'obtenir une croissance normale, alors que le plus souvent, la teneur du sol en phosphore assimilable n'est pas particulièrement basse.

Nous avons effectué des relevés mycologiques dans la partie de l'essai de fertilisation de Saint-Julien-le-Petit installé sur une ancienne lande à Callune. Alors que la réponse à la fertilisation est relativement faible dans la partie de l'essai installée en lande à Callune, la réponse à la fertilisation phosphatée est considérable. En 1969, la fertilisation complète assurait sur la croissance en hauteur de l'année un gain de croissance de 320 % par rapport au témoin (Bonneau, 1973).

Tableau VI Relevé de champignons ectomycorhiziens effectué en 1981, 1982 et 1983 sous le peuplement de Douglas de Barbaroux (Saint-Julien-le-Petit) (plantation 1967)
Etat initial : lande à Callune (sol brun acide sur gneiss) ; altitude 420 m

Témoïn	NPKCa
	<p><i>Amanita gemmata</i> (Fr./Gill.) <i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker <i>Dermocybe semisanguinea</i> (Fr.) Moser <i>Cortinarius</i> sp. (ss g. <i>Telamonia</i>) <i>Boletus edulis</i> Fr. <i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat. <i>Inocybe</i> sp. <i>Inocybe mixtilis</i> Britz. <i>Hebeloma longicaudum</i> Fr. ss Lge. <i>Lactarius rufus</i> (Scop.) Fr. <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr. <i>Laccaria bicolor</i> (Maire) Orton <i>Laccaria amethystina</i> <i>Scleroderma</i> sp.</p>

Après quinze ans, les Douglas témoins ont à peine, en moyenne 150 cm de hauteur, alors que les Douglas ayant reçu une fertilisation phosphatée ou complète, ont une hauteur moyenne de 8 m.

Aucun carpophore de symbiote mycorhizien n'a été récolté dans le peuplement témoin. L'étude du système racinaire confirme ces observations. Les mycorhizes sont quasiment absentes malgré l'âge de la plantation. Il semble par conséquent, que l'on puisse attribuer les difficultés de nutrition minérale et de croissance du Douglas en lande à Callune, à l'absence de symbiotes ectomycorhiziens. Une fertilisation phosphatée permet de compenser en grande partie l'absence de symbiotes, qui, nous le savons, jouent un rôle particulièrement important dans la nutrition en phosphore. Il est remarquable de constater que la fertilisation a entraîné ultérieurement le développement des mycorhizes, puis des carpophores. La fertilisation permet une alimentation normale de l'arbre en phosphore et, par conséquent, une activité photosynthétique et un développement normaux. Il existe alors une disponibilité suffisante en sucres solubles dans les racines pour que les champignons symbiotiques puissent se développer et former des mycorhizes. Progressivement, il y a installation d'un complexe mycorhizien efficace qui va prendre en charge l'alimentation minérale de l'arbre. L'installation des mycorhizes est en outre facilitée par la disparition de la Callune en raison de la concurrence des arbres pour la lumière.

La présence de la Callune est en effet un facteur déterminant dans le non-établissement de la symbiose (Handley, 1963 ; Robinson, 1972).

Un peuplement de Douglas ou d'Épicéa installé en lande à Callune peut se rétablir de lui-même, au bout d'un certain nombre d'années. Nous avons suivi pendant plusieurs années, un peuplement mixte d'Épicéa, de Douglas et de Pin sylvestre installé dans une lande à Callune bien typique (lande de Chammet, tableau VII).

Le Pin sylvestre dans les landes à callune n'a jamais de problèmes de croissance. Dès son installation il a une croissance normale, ses aiguilles sont parfaitement vertes et présentent un niveau satisfaisant en phosphore. La croissance initiale normale du Pin sylvestre en lande à Callune est due à une installation rapide des mycorhizes grâce à deux boléales, *Suillus luteus* et *Suillus*

Tableau VII

Relevé de champignons ectomycorhiziens effectué en 1981, 1982 et 1983 sous un peuplement mélangé de Pin sylvestre, Épicéa et Douglas, installé dans une lande à Callune (Lande de Chammet)

Âge : 16 ans, sol brun acide sur granulite ; altitude 750 m

Délai d'apparition	Pin sylvestre	Douglas	Épicéa
0 à 4 ans	<i>Suillus luteus</i> (L. ex Fr.) Gray		
4 à 8 ans	<i>Suillus bovinus</i> (L. ex Fr.) O. Kuntze <i>Laccaria bicolor</i> (Maire) Orton	<i>Laccaria bicolor</i> <i>Cortinarius anomalus</i> Fr. <i>Cortinarius glandicolor</i> Fr. <i>Cortinarius</i> sp. ss. g. <i>Telamonia</i> <i>Cortinarius erythrinus</i> (Fr.) Fr. <i>Cortinarius</i> cf. <i>allutus</i> (Secr.) Fr.	<i>Laccaria bicolor</i> <i>Cortinarius anomalus</i> <i>Cortinarius glandicolor</i> <i>Cortinarius</i> sp.
8 à 15 ans	<i>Russula</i> cf. <i>emetica</i> Fr. <i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker	<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat. <i>Gomphidius glutinosus</i> <i>Amanita muscaria</i> <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.	<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull. ex Fr.) Bat. id. (Schff.) Fr. <i>Amanita muscaria</i> <i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.
Au-delà de 15 ans	<i>Tricholoma umbrosum</i> (Fr. ex Fr.) Kummer	<i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr.	<i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr.

bovinus, qui sont spécifiques des pins à 2 aiguilles et ne sont jamais associés à l'Épicéa et au Douglas. Le complexe mycorhizien se diversifie ensuite avec l'apparition de *Laccaria bicolor*, puis plus tard de Russules et d'*Amanita muscaria*, puis au-delà de quinze ans, des Tricholomes.

Le cas de l'Épicéa et du Douglas est tout à fait différent. Pendant, cinq, dix, quinze ans ou plus, ces deux espèces sont dépourvues de symbiotes ce qui a pour conséquence une croissance très faible avec un aspect chlorotique.

La mortalité est aussi extrêmement importante. Dans la lande de Chammet, nous avons constaté que des plants entièrement chlorotiques eux aussi verdissaient brutalement l'année suivante et acquéraient alors une croissance normale. Progressivement, en quelques années, l'ensemble des Épicéas et des Douglas qui n'étaient pas morts ont acquis une croissance normale, voire très vigoureuse.

Nous avons pu constater que le reverdissement et la croissance normale s'accompagnaient toujours de l'apparition de *Laccaria bicolor*, puis d'un cortège de Cortinaires, suivis de *Chalciporus piperatus* et *Amanita muscaria* et, enfin de *Boletus edulis*.

Il est clair que ce rétablissement est lié au développement du système symbiotique, en particulier, à l'installation de *Laccaria bicolor*.

Un problème est posé maintenant par la différence de comportement entre le Pin sylvestre d'une part, l'Épicéa et le Douglas d'autre part. Depuis les travaux de Handley (1963) et de

Robinson (1972), nous savons que les racines de Callune, ainsi que l'ascomycète qui forme des mycorhizes à peloton avec ses racines, exsudent des substances toxiques pour beaucoup de champignons ectomycorhiziens. Cependant, un certain nombre de symbiotes sont résistants à ces substances toxiques. Il s'agit par exemple de *Leccinum scabrum* associé au Bouleau, ou de *Suillus luteus* et de *Suillus bovinus* associés au Pin. La raison pour laquelle le Bouleau et le Pin sylvestre ont une croissance initiale rapide après plantation ou installation naturelle dans une lande à Callune apparaît alors clairement : dans ces conditions ils peuvent immédiatement s'associer à des symbiotes résistants à la Callune.

L'Épicéa et le Douglas, qui ne peuvent s'associer avec ces bolets restent dépourvus de symbiotes mycorhiziens pendant plusieurs années. Ce n'est que lorsqu'ils arrivent à contracter une association avec des espèces comme *Laccaria bicolor* qu'ils peuvent retrouver une croissance normale. Nous pouvons supposer que *Laccaria bicolor* est peu sensible à la Callune au vu de nos observations de Chammet. Nous savons également d'après les travaux de Handley et Robinson, qu'*Amanita muscaria* est bien résistante à la Callune.

Cette association ne peut cependant s'établir que plusieurs années après la plantation, puisque cette espèce n'appartient pas au groupe des symbiotes pouvant établir précocement des liaisons symbiotiques.

En lande à Callune, le comportement de l'Épicéa et du Douglas d'une part, celui du Pin sylvestre d'autre part s'expliquent parfaitement par la possibilité ou l'impossibilité de contracter précocement des associations mycorhiziennes.

Nous avons pu constater dans une autre région, les Basses Vosges gréseuses, que de telles difficultés de croissance pouvaient apparaître non pas à la plantation, mais dix ans après. L'apparition après dix ans de croissance normale d'un jaunissement des aiguilles et d'un dépérissement par carence en phosphore chez le Douglas a coïncidé avec un envahissement secondaire et tardif du peuplement par la Callune.

Nous pouvons supposer que dans ces conditions, la Callune a détruit la plupart des symbiotes alors en place, entraînant ainsi des difficultés de nutrition en phosphore et donc de croissance.

CONCLUSIONS

Dans le Limousin, le comportement des jeunes plantations d'Épicéa et de Douglas est étroitement lié aux possibilités d'installation d'un complexe mycorhizien.

À la sortie de la pépinière, le cortège mycorhizien est simple, et n'est constitué que de quelques espèces ayant la capacité de former des mycorhizes à un stade juvénile. Les plantations se faisant à racines nues, le complexe mycorhizien provenant de la pépinière est partiellement ou totalement détruit.

Après plantation, une croissance normale ne peut être obtenue que lorsque le système symbiotique est reconstitué. Sa reconstitution dépend de la qualité de l'inoculum présent dans le sol de plantation ou arrivant sous forme de spores transportées par le vent.

Lorsque la plantation est effectuée après exploitation d'un peuplement résineux artificiel pré-existant, l'inoculum présent est largement suffisant pour assurer rapidement l'installation du système symbiotique.

Il en est de même après exploitation d'un peuplement feuillu naturel. En effet, si beaucoup d'espèces mycorhiziennes sont spécifiques du Chêne, ou du Hêtre, ou du Bouleau, un nombre

suffisant de symbiotes peut contracter des associations à la fois avec les feuillus et avec l'Épicéa ou le Douglas.

Dans ces deux conditions de reboisement, la reconstitution du système symbiotique est rapide, et la crise de transplantation ne dure pas plus de un an à deux ans.

En cas de reboisement en lande à fougère ou à Callune, la situation est très différente. Dans les deux cas, la reconstitution du système symbiotique va dépendre essentiellement de l'apport de spores par le vent. Cet apport est important et diversifié pendant la période automnale. Il est constitué à près de 90 % par des Bolétales, des Lactaires, des Russules, des Cortinaires, des Laccaires et par *Thelephora terrestris* qui à lui seul peut représenter 18 % du total des spores de champignons mycorhiziens. Ces spores proviennent de peuplements feuillus naturels ou résineux artificiels de la région, ou pour les spores de cortinaires spécifiques de l'Épicéa de peuplements naturels ou artificiels plus lointains.

Dans le cas de reboisement en lande à fougère, la reconstitution du système symbiotique se fait à partir de ces spores en deux à quatre ans. La crise de transplantation ne dépasse donc pas ce laps de temps. La croissance est ensuite tout à fait normale.

Dans le cas de reboisement en lande à Callune, la reconstitution du système symbiotique de l'Épicéa et du Douglas ne peut se faire qu'après une période variable comprise entre cinq et quinze ans. Ce délai extrêmement long est dû à la sensibilité de beaucoup de symbiotes ectomycorhiziens de stade juvénile aux exsudats produits par les racines de Callune ou par son associé fongique.

Dans ces mêmes landes à Callune, le Pin sylvestre n'a aucune difficulté de nutrition ou de croissance en raison de sa capacité à contracter précocément des associations avec des Bolétales du genre *Suillus*, résistants à la Callune.

D'autre part, l'absence de symbiotes en lande à callune pendant les premiers stades du peuplement explique l'intensité de la réponse de l'Épicéa ou du Douglas à la fertilisation phosphatée. D'une manière générale, on observe une réponse au phosphore dans les jeunes plantations (Bonneau, 1980). Cette réponse peut être mise en parallèle avec l'inexistence ou l'insuffisance du système symbiotique au moment de la plantation et pendant la crise de transplantation. Progressivement, le système symbiotique se reconstitue et se diversifie. L'alimentation en phosphore peut alors se faire normalement par voie symbiotique. C'est pourquoi, en peuplement adulte, on obtient rarement une réponse à la fertilisation phosphatée. Par contre, à ce stade, on observe plus souvent une réponse à la fertilisation azotée, alors qu'au stade juvénile cette réponse est rare ou faible. La disponibilité en azote minéral est généralement faible dans les sols forestiers. Au stade juvénile, les besoins des jeunes plants étant peu importants, la disponibilité en azote est suffisante. L'absorption peut se faire même avec un système symbiotique mal établi, en raison de la mobilité dans les sols de l'azote nitrique ou ammoniacal. Par contre, à maturité, en raison de l'importance de la biomasse produite, la disponibilité en azote des sols n'est plus suffisante pour couvrir les besoins de l'arbre.

F. LE TACON
Laboratoire de Microbiologie forestière
CENTRE NATIONAL
DE RECHERCHES FORESTIÈRES
Champenoux 54280 SEICHAMPS

D. LAMOURE, C. FIKET
Laboratoire de Mycologie
UNIVERSITÉ
CLAUDE BERNARD - LYON I
69622 VILLEURBANNE CEDEX

J. GUIMBERTEAU
Station de Recherches
sur les Champignons
INSTITUT NATIONAL
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
33140 PONT-DE-LA-MAYE

BIBLIOGRAPHIE

- BON (M.). — Ecologie des Macromycètes dans le Sud Amiénois. — *Crypogamie, Mycologie*, tome 4, 1983.
- BON (M.), GEHU (J.-M.). — Unités supérieures de végétation et récoltes mycologiques. — *Doc. Myc.*, 6, pp. 1-48, 1973.
- BONNEAU (M.). — Contribution à l'étude de la nutrition et de la fertilisation des plantations d'Epicéa dans le Massif Central. — *Annales des Sciences Forestières*, vol. 29, n° 1, 1972, pp. 3-34.
- BONNEAU (M.). — Quelques résultats d'essai de fertilisation sur Douglas dans l'Ouest du Massif Central. — *Revue forestière française*, vol. XXV, n° 1, 1973, pp. 35-41.
- BONNEAU (M.). — Effet à 12 et 14 ans de la fertilisation sur deux plantations d'Epicéa commun de l'Ouest du Massif Central. — *Revue forestière française*, vol. XXXV, n° 2, 1983, pp. 98-106.
- BONNEAU (M.). — Fertilisation et production forestière en France en 1980. — *Compte rendu à l'Académie d'Agriculture*, Séance du 11 mars 1981, pp. 437-451.
- DIMBLEBY (G.W.). — Natural regeneration of pine and birch on the heather moors of northeast Yorkshire. — *Forestry*, n° 26, 1983, pp. 41-52.
- DOMINIK (T.), BOULLARD (B.). — Les associations mycorhiziennes dans les hêtraies françaises. Recherches préliminaires. — *Inst. Badawczy Lesn. Prace*, n° 207, 1961, pp. 3-30.
- FROIDEVAUX (L.), SCHWÄRZEL (C.). — Aspects qualitatifs et quantitatifs des champignons truffoïdes mycorhiziens en forêt. — *Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen*, vol. 129, n° 10, 1977, pp. 800-813.
- GARBAYE (J.), KABRE (A.), LE TACON (F.), MOUSAIN (D.), PIOUS (D.). — Fertilisation minérale et fructification des champignons supérieurs en hêtraie. — *Annales des Sciences Forestières*, vol. 36, n° 2, 1979, pp. 153-160.
- GARBAYE (J.), LE TACON (F.). — Influence of mineral fertilization and thinning intensity on the fruit body production of epigeous fungi in an artificial spruce stand in North-Eastern France. — *Acta Oecologia - Oecologia Plantarum*, vol. 3 (17), n° 2, 1979, pp. 153-160.
- HANDLEY (W.R.C.). — Mycorrhizal associations and Calluna heathland afforestation. — *Forestry commission. Bulletin 36 Amso London*, 1963.
- HIRST (J.M.). — An automatic volumetric spore trap. — *Ann. appl. Biol.*, n° 39, 1952, pp. 257-265.
- LAST (F.T.), MASON (P.A.), WILSON (J.), DEACON (J.W.). — Fine roots and sheathing mycorrhizas : their formation, function and dynamics. — *Plant and soil*, 71, 1983, pp. 9-21.
- MENGE (J.A.), GRAND (L.F.). — Effect of fertilization on production of epigeous basidiocarps by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. — *Canadian Journal Bot.*, n° 56, 1978, pp. 2357-2362.
- MEYER (F.H.). — Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests. In : Ectomycorrhizae. Their ecology and physiology edited by G.C. Marks and T.T. Kolzowski. New York and London : Academic Press, 1973.
- MORNAND (J.). — Catalogue des espèces de la chênaie-hêtraie. Extrait de « la Mycologie en Anjou » - Champignons supérieurs. — Angers : Centre Départemental de Documentation Pédagogique, Congrès A.P.B.G., 1978.
- MOSER (M.). — Keys to Agarics and Boleti (Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales) translation by Roger Phillips, original edition. Moser M. Basidiomycetes II : Rohrlinge und Blatterpilze (Teil II b 2 der Kleinen Kryptogamenflora). — 1983.
- ROBINSON (R.R.). — The production by roots of *Calluna vulgaris* of a factor inhibitory to growth of some mycorrhizal fungi. — *J. Ecol.*, n° 60, 1972, pp. 219-224.
- THOEN (A.). — Contribution à l'inventaire des mycocénoses des pessières naturelles des Vosges (France). — *Bulletin de la Société Linnéenne de Lyon*, 49^e année, n° 6, juin 1980, pp. 380-389.
- TRAPPE (J.M.). — Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. — *Botanical review*, n° 28, 1962, pp. 538-606.
- ZAK (B.). — Characterization and identification of Douglas Fir mycorrhizae. In : Mycorrhizae. Proceedings of the fifth North American Conference on Mycorrhizae. — E. HacsKaylo editor. Misc. Publication 1189 U.S.D.A. Beltsville, Maryland (U.S.A.), 1971.