

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 136 (1985)

Heft: 6

Artikel: Sélection d'ectomycorrhizes spécifiques pour le reboisement des sols toxiques ou dégradés

Autor: Froidevaux, Lucien

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764482>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Sélection d'ectomycorrhizes spécifiques pour le reboisement des sols toxiques ou dégradés

Par Lucien Froidevaux, Butare, Rwanda
(Intercoopération)

Oxf.: 233.181.351:114.67

1. Introduction

Les dernières connaissances en matière de dépérissement des forêts suggèrent que les dommages observés seraient dus principalement à l'abaissement du pH du sol sous l'effet des pluies acides. Dans ces conditions, le taux de lessivage et les quantités de métal dans le sol augmenteraient, entravant l'absorption des éléments nutritifs par les mycorrhizes (Steinbeck, 1984).

En admettant que les mesures de contrôle du taux de pollution deviennent un jour efficaces, les parties aériennes des arbres pourront être épargnées de l'action directe des pluies acides. Par contre, certains sols risquent de rester encore longtemps sous l'influence des polluants et d'être toxiques aux semis d'essences forestières sensibles.

La quasi totalité des semis mis à demeure en Suisse est constituée d'essences qui possèdent des ectomycorrhizes. Or, il existe des ectomycorrhizes qui sont particulièrement tolérantes à l'acidité et à la toxicité du sol et permettent une bonne croissance des plants dans des conditions extrêmes. Lorsque des semis sont inoculés en pépinière avec des champignons ectomycorrhiziques spécialement sélectionnés pour des sols dégradés, leur survie et leur croissance sont supérieures à celles des semis colonisés par les champignons contenus dans le sol des pépinières (Marx, 1979).

Aux Etats-Unis, la sélection des ectomycorrhizes tolérantes aux sols toxiques a été entreprise par l'Institut des Mycorrhizes d'Athènes en Géorgie. Les ectomycorrhizes qui permettent la croissance des semis sur les anciennes mines à ciel ouvert, sur les déchets d'anthracite ou de kaolin et sur d'autres sites biologiquement hostiles ont fait l'objet de recherches depuis le début des années 70. Les sites mentionnés sont caractérisés par un ou plusieurs facteurs limitant la croissance des végétaux (température élevée du sol, acidité extrême, haute teneur en Al, Mn, S, Fe ainsi qu'une mauvaise fertilité du sol).

Les ectomycorrhizes qui supportent le mieux ces conditions sont celles formées par *Pisolithus tinctorius* (Pt) (figure 1), Gastéromycète à énorme production

de spores dont le cercle d'hôtes comprend 75 espèces forestières. On le trouve dans 33 pays et 38 états des USA. En Suisse, un exemplaire a été trouvé au début du siècle au Tessin (A. Riva, communication personnelle).

Les reboisements effectués par l'Institut des Mycorrhizes américain sur des sols toxiques à l'aide de semis inoculés avec Pt ont donné des résultats spectaculaires (Marx, 1979). En 1977, les laboratoires Abbott près de Chicago commercialisaient un inoculum à partir de cultures de mycélium de Pt (Marx *et al.*, 1982 et 1984). Leur production vient d'être interrompue, mais la firme «International Forest Seed Company» (IFSC) a mis récemment sur le marché des spores de Pt récoltées dans des pinèdes de l'Alabama.

En Europe, les terrils charbonniers colonisés par la végétation ligneuse offrent également la possibilité de trouver des ectomycorrhizes résistantes aux sols acides. En 1980, une équipe formée par l'auteur, constituée de spécialistes français et belges (G. Chevalier, INRA, Clermont-Ferrand; Prof. P. Heinemann et W. Gaie, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux) entreprit une étude des terrils charbonniers du nord de la France et de Belgique. Ces terrils sont normalement interdits d'accès pour des raisons de sécurité. Le plus important, le terril de Fleurus en Belgique, présente tous les stades de colonisation par la forêt. Dans les zones occupées par la végétation ligneuse pionnière, notre attention a surtout été retenue par les carpophores des Gastéromycètes ectomycorrhiziens *Scleroderma citrinum* et *Pisolithus tinctorius* (Pt). Leur abondance et leur énorme production de spores permet d'envisager des récoltes massives.

Une grande quantité de spores de Pt fut récoltée et servit à inoculer des semis de plusieurs espèces de bouleaux à Gembloux et de pin sylvestre à Birmensdorf (Institut Fédéral de Recherches Forestières, IFRF). Les résultats furent positifs avec toutes les espèces de bouleaux, mais négatifs avec le pin sylvestre. En 1981, les mêmes essais furent répétés à l'Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda où la raison de cet échec put être expliquée. A partir de ces nouvelles connaissances, de nouveaux essais pourront être entrepris en Suisse.

2. Matériel et méthodes

2.1 Le site

Le Rwanda jouit d'un climat équatorial montagnard avec des précipitations modérées bien réparties au cours de l'année avec un déficit de saturation ne dépassant pas 3 mois. Les sols ne présentent que peu de variations: les kaolisols dominant sur plus de 80 % du territoire. Les sols des plateaux orientaux et centraux et des collines centrales sont constitués d'argiles latéritiques formés à partir de schistes. Sur les sites à reboiser, la couche humifère fait défaut (Combe, 1982). La zone des essais est située dans les environs de Butare, dans le sud du

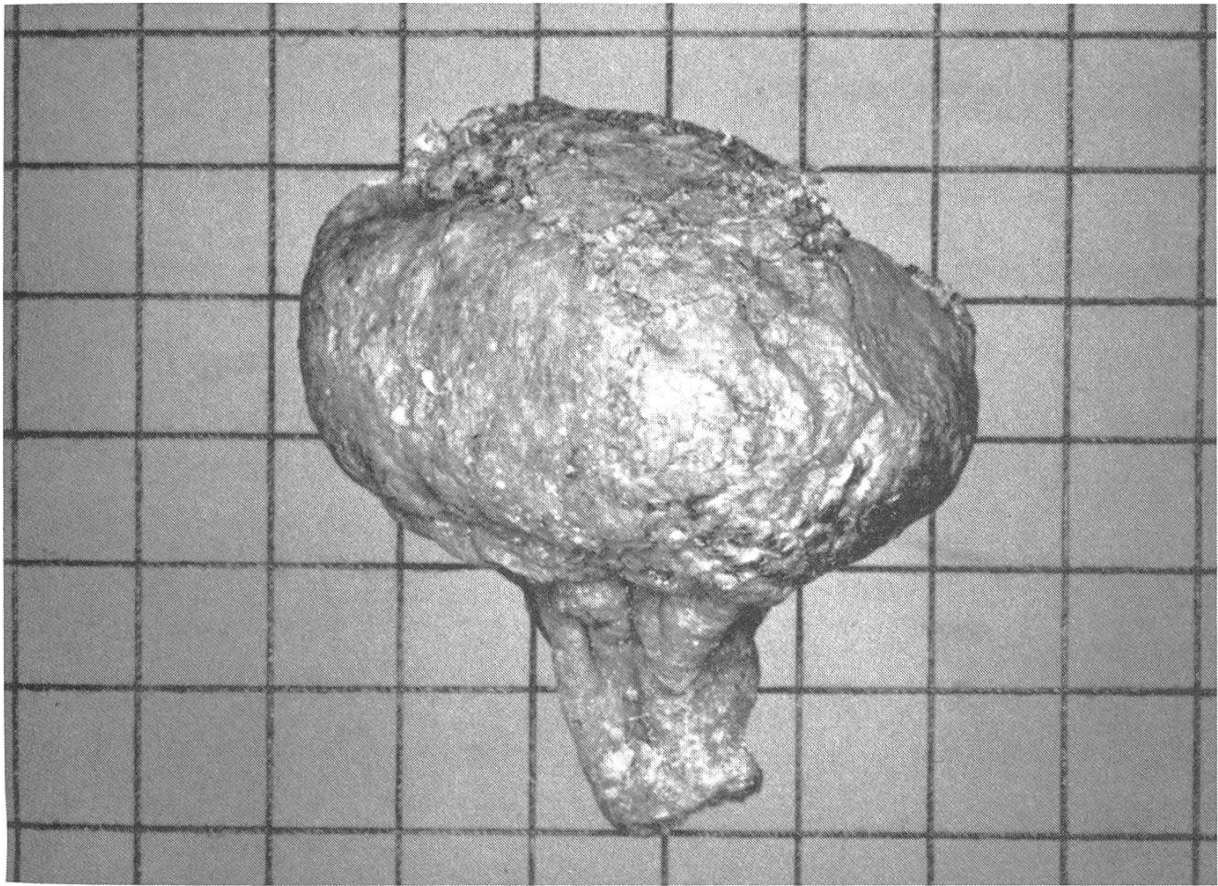


Figure 1. Carpophore de *Pisolithus tinctorius* (Pt) récolté par A. Riva à Candusso, Sardaigne. (Photo I. Kälin, IFRF)

pays où l'altitude varie entre 1700 et 2000 m. Le pH du sol peut descendre en-dessous de 4 et la teneur en Al y est élevée. La température moyenne de l'air est inférieure à 20 °C.

2.2 Les mycorrhizes des arbres forestiers au Rwanda

La flore ligneuse autochtone est composée d'essences endomycorrhiziques. Ces endomycorrhizes doivent jouer un rôle particulièrement important dans la forêt naturelle de montagne. Ainsi, les quelques essences étudiées dans l'arbo-retum de Butare forment de grosses racelles dépourvues de poils absorbants. Elles sont par conséquent très dépendantes des champignons endomycorrhiziques pour l'absorption des éléments nutritifs. La *figure 2b* montre des racines de *Podocarpus usambarensis*, une Gymnosperme de la forêt naturelle de montagne de Nyungwe (*figure 2a*) où les radicelles latérales mycorrhizées sont transformées en nodosités. Cette morphologie rappelle celle du pin où les radicelles latérales sont transformées en ectomycorrhizes.

Plusieurs essences introduites possèdent des ectomycorrhizes dont les plus importantes sont les eucalyptus et les pins. Les champignons ectomycorhi-



Figure 2a. Podocarpus usambarensis et Figure 2b. ses endomycorrhizes (x 5) dans l'arboretum de Butare. (a. Photo Père R. Vandekerkhove, b. Photo I. Kälin, IFRF)

ziques ont été introduits au Rwanda par de la terre importée. Pour les pins, la terre provenait au début de pinèdes ougandaises (A. Speich, communication personnelle). En Ouganda, les plantations de pins échouèrent jusqu'en 1946 lorsqu'on y introduisit de la terre provenant de pinèdes kenyanes. Au Kenya, on avait fait venir de la terre de pinèdes sud-africaines en 1910 (Chaudhry, 1980). Actuellement, il est encore souvent nécessaire de mélanger en pépinière du sol récolté dans les pinèdes pour que les semis continuent leur croissance (Combe, 1976).

Dans les peuplements de pin, on trouve surtout le champignon ectomycorhizique *Suillus granulatus* et plus rarement des sclérodermes alors que *Thelephora terrestris* peut être abondant en pépinière. Marx (1980) a montré que *T. terrestris* stimule peu la croissance des pins sur les sols dégradés. Dans les peuplements d'eucalyptus, *Pisolithus tinctorius* (Pt) est particulièrement fréquent sur les sols érodés. L'étude microscopique des ectomycorrhizes de plusieurs espèces d'eucalyptus dans l'arboretum de Butare a permis d'y identifier Pt. Par contre, les carpophores de Pt n'ont jamais été trouvés dans des pinèdes.

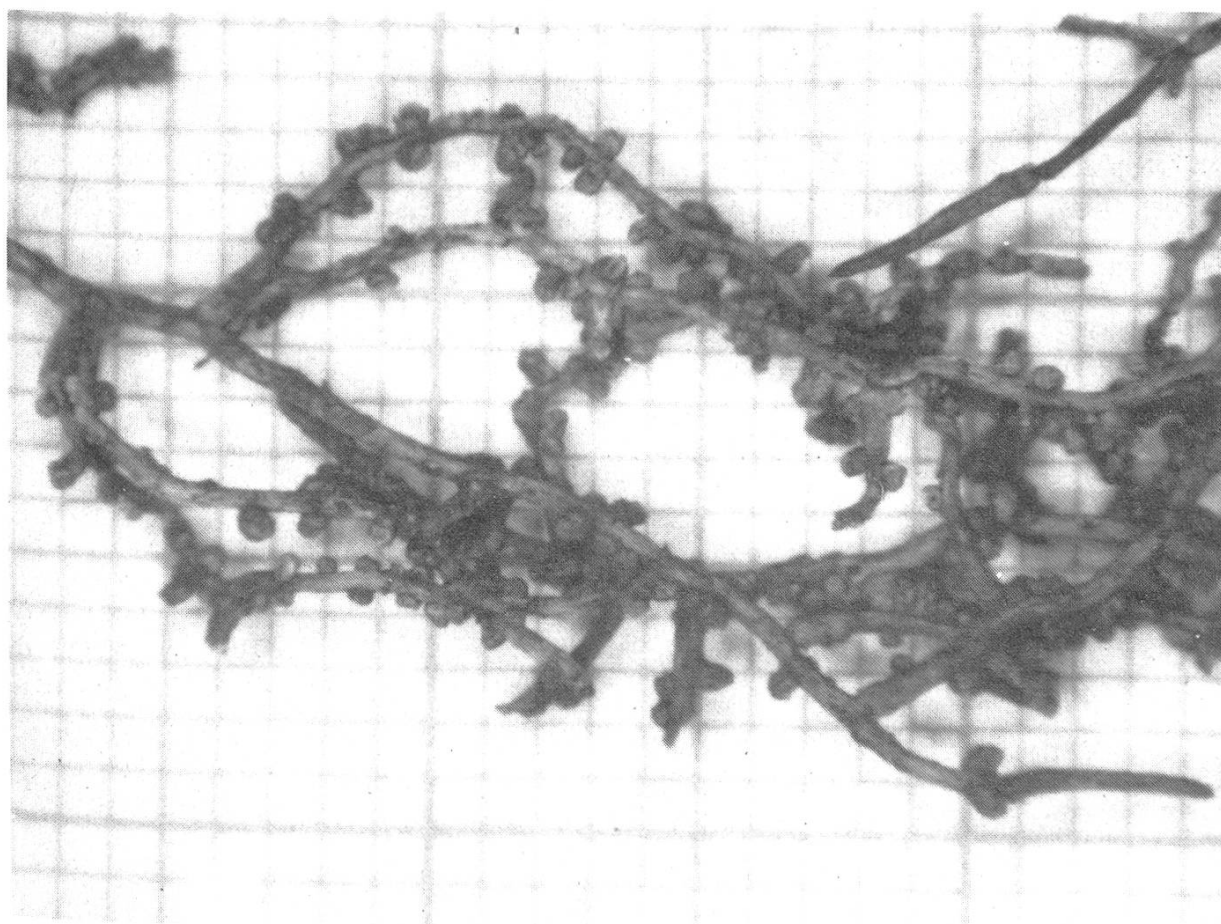


Figure 2b.

2.3 Etude des spores de *Pt* de diverses provenances

Les diverses provenances suivantes de spores ont été examinées au microscope électronique à balayage (I. Kälin, IFRF):

1. Belgique: terril de Fleurus, sous *Betula pubescens*.
2. USA: moitié nord de l'Alabama, sous *Pinus* spp.
3. USA: Siskiyou Mountains, nord de la Californie (Isabel Alvarez), sous *Abies concolor*, *A. magnifica*, *Pseudotsuga menziesii* et *Pinus ponderosa*.
4. Costa Rica (Ben Chang, C.A.T.I.E.), sous *Pinus* spp.
5. Rwanda, sous *Eucalyptus* spp.

2.4 Essais d'inoculation

Les deux premières provenances ont été testées sur des centaines de milliers de semis de pins dans les grandes pépinières du pays. Des semis de *Pinus patula*, *P. oocarpa*, *P. keyisia* et *P. radiata* ont été inoculés après le repiquage dans les sachets, soit par arrosage au moyen d'une suspension de spores selon la méthode d'Alvarez et Trappe (1983) (15 g de spores ont été dissoutes dans de l'eau à l'aide d'une goutte de mouillant Tween 80 pour arroser mille semis), soit par saupoudrage des spores à la base des semis. L'effet du superphosphate, du fumier et du fongicide benomyl sur la croissance et la mycorrhization a été testé dans quelques pépinières.

Après plantation, on a comparé la croissance des plants inoculés soit au moyen de spores soit avec de la terre de pinèdes. Sinclair et Marx (1982) indiquent que le paramètre dimensionnel le plus en corrélation avec le poids des parties aériennes est un indice de volume: (diamètre de la tige au sol)² X longueur de la tige. La valeur d'influence des mycorrhizes (VIM) s'exprime par rapport aux témoins (= 100).

3. Résultats

3.1 Morphologie des spores de *Pt* de diverses provenances

La sporée jaunâtre des carpophores de *Pt* récoltés dans les eucalyptaies rwandaises se distingue nettement de celle des autres provenances de couleur brunâtre. L'examen des micrographies prises au microscope électronique à balayage (figure 3) permet de distinguer 4 types de spores:

- a. *Eucalyptus* (Rwanda et Australie) (figure 3a)
- b. *Pinus* (Costa Rica et Alabama, USA) (figure 3b)
- c. Divers conifères (Californie, USA) (figure 3c)
- d. Bouleaux (Belgique) (figure 3d)

Figure 3. Micrographie au microscope électronique à balayage des spores de diverses provenances de Pt (x 8000):

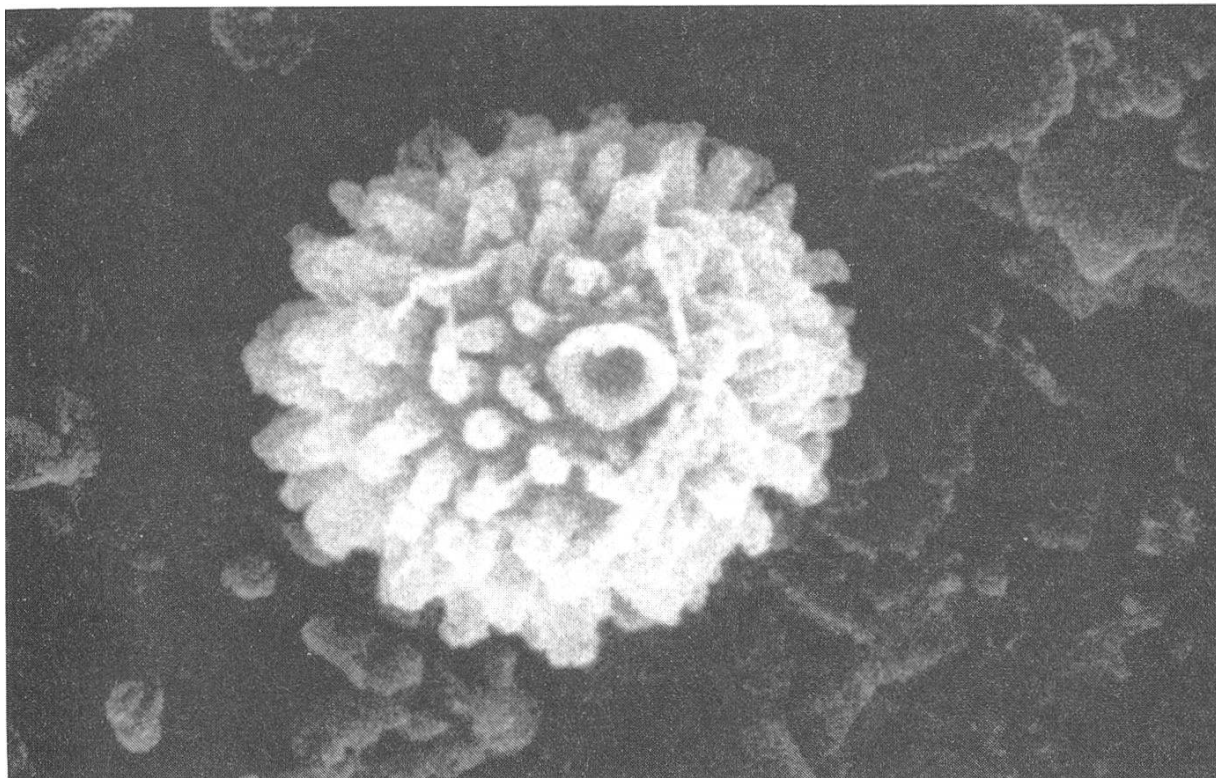


Figure 3a. *Eucalyptus* sp., Rwanda.

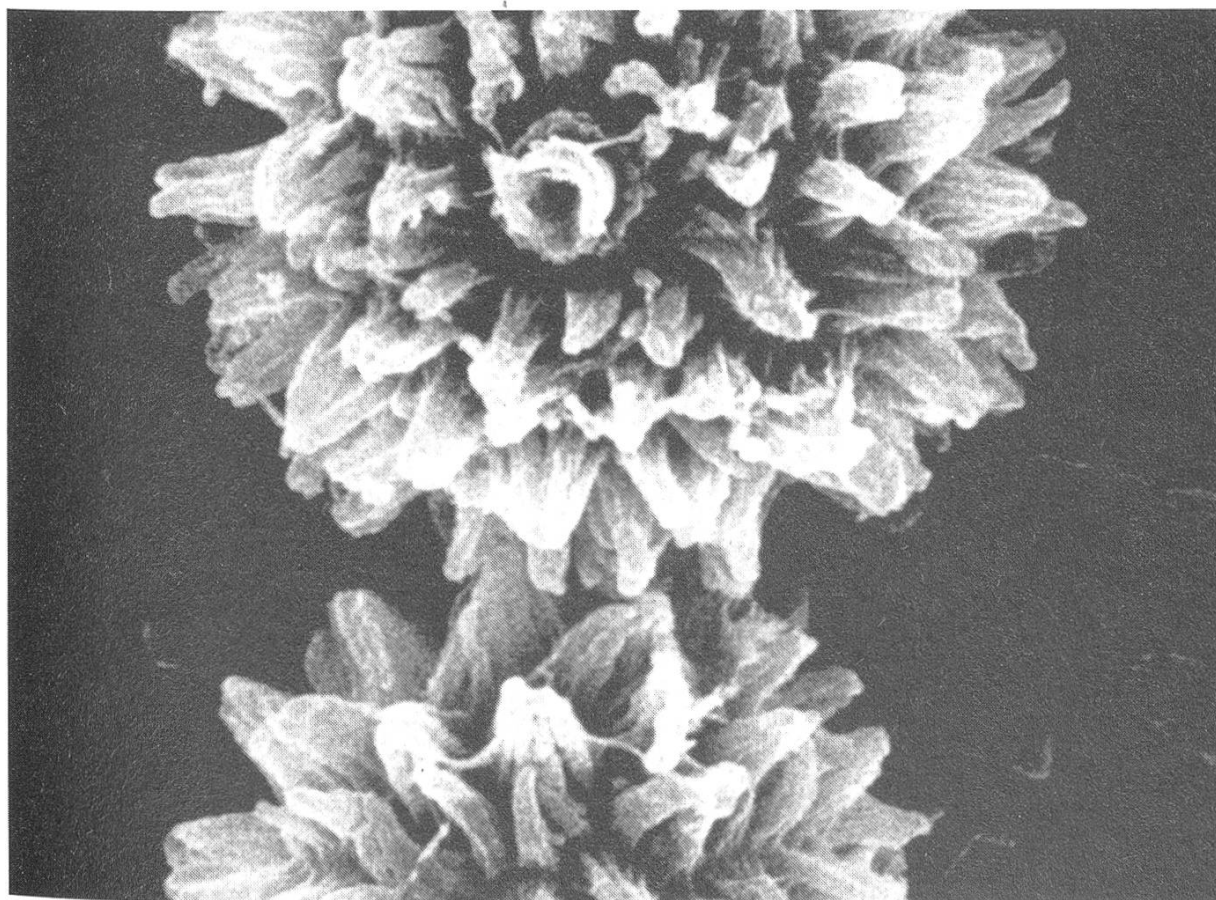


Figure 3b. *Pinus* sp., Costa Rica.

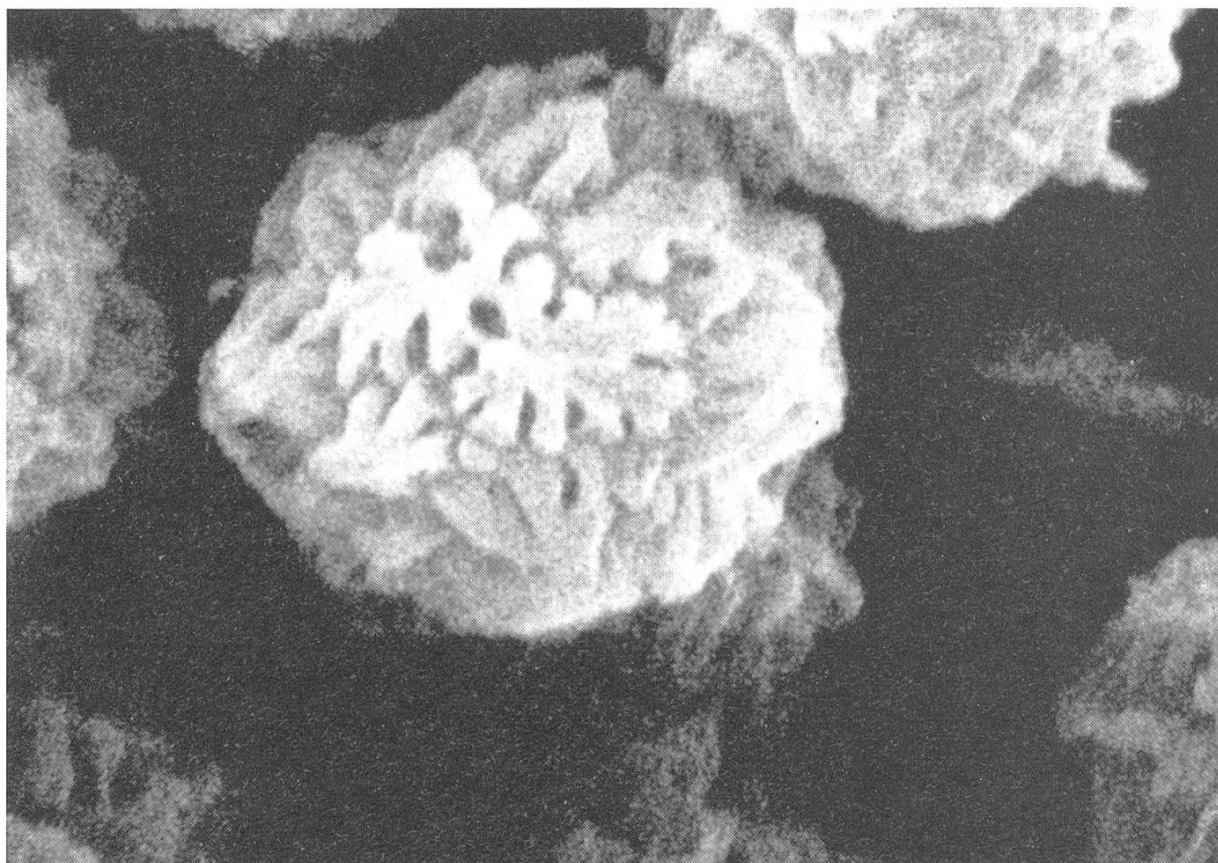


Figure 3c. Divers conifères, Californie.

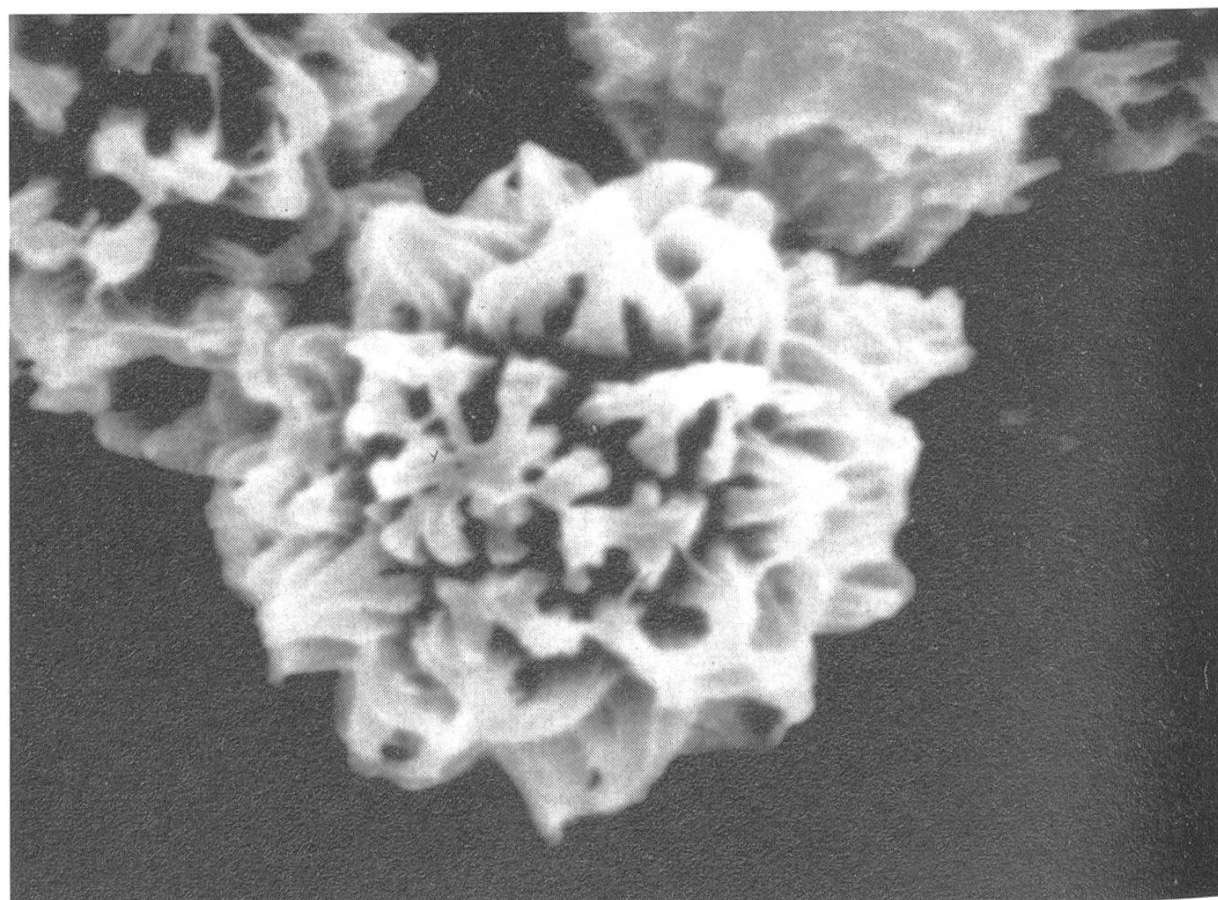


Figure 3d. Betula pubescens, Belgique. (Photos I. Kälin, IFRF)

3.2 Mycorrhization en pépinière

La provenance américaine IFSC peut mycorrhizer les pins contrairement à la provenance belge. La plupart des semis inoculés ont formé des mycorrhizes après 3 mois. Le saupoudrage des spores en surface donne d'aussi bons résultats que l'arrosage d'une suspension de spores. Les spores de *Pt* n'ont un effet stimulant sur la croissance des semis qu'après 5 mois (cf. *tableau 1*). La terre de pinède permet une mycorrhization plus rapide et un effet stimulant correspondant. Dans des pépinières où le sol est particulièrement pauvre, l'inoculation est absolument nécessaire pour que les semis continuent leur développement si aucun engrais n'est utilisé (cf. *tableau 1*). Le benomyl ne favorise apparemment pas la mycorrhization contrairement aux observations de *Pawuk* et *Barnett* (1981), alors que le superphosphate et le fumier la retardent (*Froidevaux*, 1985). Dans les pépinières au sol riche où des apports massifs de terre de pinède ont été effectués, *Pt* n'est pas compétitif et ne forme aucune mycorrhize.

3.3 Comportement des semis après plantation

Les semis de pins inoculés avec *Pt* et munis de ses mycorrhizes typiques jaune-or ont une meilleure croissance sur les sols érodés que ceux qui ont été contaminés par les champignons mycorrhiziques contenus dans la terre de

Tableau 1. Influence de l'inoculation sur la croissance de *Pinus patula* en pépinière de Kigembe (Service des Volontaires Français).

Pépinière et traitement	Nombre de semis mesurés	Hauteur et couleur du feuillage	
		après 5 mois	après 7 mois
		cm	
Nyanza Spores <i>Pt</i>	413	7 (vert pâle)	15,2 (vert foncé)
Murama Pas d'inoculation	406	2 (jaunâtre)	2,6 (chlorotique)

Tableau 2. Influence de la source d'inoculum sur la croissance de plants de *Pinus patula* sur une colline érodée à Maraba après 6 mois.

Traitement	Nombre de plants mesurés	Hauteur (H)	Diamètre au collet (Dc)	Indice de volume
		cm	cm	$Dc^2 \times H$
<i>Pt</i>	565	54,5	1,04	58,9
Sol de pinède	565	36,0	0,71	18,1

Remarque: Une pépinière a été inoculée avec *Pt* tandis que l'autre a été laissée aux soins des pépiniéristes de la Commune de Maraba pour le traitement habituel à l'aide de sol de pinède. Les différences entre les moyennes des hauteurs et des diamètres sont significatives à un niveau de confiance de 95 %.

pinède (tableau 2). Dans l'exemple choisi, la valeur d'influence des mycorrhizes (VIM) de Pt est de 300 % supérieure à la terre de pinède. Sur les sols riches, l'effet stimulant de la terre de pinède peut être supérieur ou égal à Pt (Froidevaux, 1985). L'effet de l'inoculation sur la survie des plants n'a pas été pris en considération en raison d'une bonne reprise générale des plants.

4. Discussion

Pisolithus tinctorius (Pt) possède plusieurs races physiologiques spécifiques. Pour la mycorrhization des pins par Pt au Rwanda, il a fallu introduire une provenance américaine récoltée sous des pins. Ni la race locale de l'eucalyptus, ni celle de Belgique récoltée sous des bouleaux ne peut s'associer aux pins. Pour le pin sylvestre en Suisse, il aurait donc fallu utiliser la provenance américaine. Pourtant, lors d'essais d'inoculation en laboratoire et en serre effectués aux USA (Malajczuk et al. 1982, Rose 1980), des champignons symbiotiques des pins ont pu mycorrhizer des eucalyptus. Par contre, l'inverse ne semble pas être possible. En Australie, N. Malajczuk (communication personnelle) n'a pu observer les fructifications de Pt que dans des eucalyptaies. D.H. Marx (communication personnelle) a constaté que les champignons isolés des mycorrhizes de l'eucalyptus au Brésil, à Hawaï et en Afrique du Sud ne forment pas d'ectomycorrhizes lorsqu'on les inocule à *Pinus taeda*. Par contre, les champignons des pins du sud-est des USA forment d'abondantes mycorrhizes sur divers eucalyptus après inoculation. La souche de Pt que Marx a introduite au Libéria sur *P. caribaea* se trouve actuellement dans des plantations d'eucalyptus à 4 km des parcelles d'essai.

Les pins, le douglas et les chênes doivent avoir une race physiologique de Pt commune. Ainsi Delwaulle et al. (1982) ont inoculé avec succès des semis de *P. caribaea* avec une souche de Pt récoltée sous un chêne en Géorgie, USA. Dans l'Oregon, Marx et al. (1984) ont obtenu un taux élevé de mycorrhizes sur des semis de douglas avec de l'inoculum isolé du pin et commercialisé par les laboratoires Abbott.

Marx (1981) a montré qu'il existe aussi des incompatibilités géographiques: les isolats de Pt issus de *P. elliotii* et de *P. patula* en Australie ne forment pas de mycorrhizes sur *P. taeda* aux USA.

5. Conclusions

Sur les sols dégradés du Rwanda, *Pisolithus tinctorius* (Pt) stimule plus la croissance des semis de pins que *Suillus granulatus* contenu dans la terre de pinède. Sur les sols riches, il se passe l'inverse (Froidevaux, 1985). *S. granulatus*

est un champignon répandu en Suisse avec le pin sylvestre et son efficacité a été reconnue aux USA par Marx et Kenney (1982). Si les conditions de sol continuent à se dégrader en Suisse, on aura peut-être intérêt à introduire *Pt. Thelephora terrestris* est un champignon courant en pépinière en Suisse comme aux USA où Marx (1982) a montré que sur les sols toxiques il ne permet pas une bonne croissance des semis de pins alors que *Pt* la stimule fortement. Anderson et al. (1983) ont fait les mêmes observations avec des semis de chênes (*Quercus palustris* et *Q. acutissima*) sur des talus d'autoroute près d'Atlanta en Géorgie.

Si le mode d'inoculation par spores a été retenu, c'est qu'il ne nécessite pas une stérilisation préalable des sols de pépinières au bromure de méthyle comme c'est le cas pour les cultures de mycélium. La pratique de la fumigation des sols de pépinières n'est en usage ni au Rwanda ni en Suisse. Au Kenya, Ivory et Munga (1983) (avec *Pt*) et en Tanzanie, Maghembe et Redhead (1984) (avec *Scleroderma dictyosporum*) ont obtenu une excellente mycorrhization au moyen de spores. *Pt* peut certainement s'associer aux essences forestières qui souffrent des pluies acides en Suisse, mais il faudra tenir compte de la spécificité des diverses provenances. A Birmensdorf (IFRF), R. Amiet avait réussi à obtenir des ectomycorrhizes de *Pt* sur l'arolle (*Pinus cembra*) en laboratoire avec une provenance géorgienne de *Pt* isolée du pin. La provenance de *Pt* commercialisée par IFSC pourra par exemple être testée sur des semis de pin sylvestre dans le Bois de Finges en Valais dans les zones exposées aux émanations de fluor. Des mycologues valaisans avaient observé que les carpophores des champignons mycorrhiziens de cette pinède étaient momifiés par les polluants. On déterminera ensuite le cercle d'hôtes de la provenance IFSC en commençant par le chêne et le douglas. Si cette provenance est incompatible avec le sapin, par exemple, on pourra faire venir des spores du nord-ouest des USA. Enfin, la provenance belge pourra être testée sur d'autres feuillus que les bouleaux.

Zusammenfassung

Selektion von spezifischen Ektomykorrhizen zur Aufforstung von toxischen oder stark erodierten Böden

Von *Pisolithus tinctorius* (*Pt*), einem mykorrhizenbildenden Pilz, wurden verschiedene physiologische Rassen beobachtet. Die auf den verschiedensten Baumarten ausgebildeten Ektomykorrhizen sind gegenüber toxischen und stark erodierten Böden weitgehend unempfindlich. Soll *Pt* in den Baumschulen zur Inokulation der Sämlinge, deren Pflanzen zur Aufforstung von toxischen oder stark erodierten Böden bestimmt sind, verwendet werden, so müsste das Wirtsspektrum jeder eingeführten, physiologischen Rasse untersucht werden.

Zusammenfassung: A. Egli

Bibliographie

- Alvarez, I.F. et Trappe, 1983: Effects of application rate and cold soaking pretreatment of *Pisolithus* spores on effectiveness as nursery inoculum on western conifers. *Canadian journal of Forest Research* 13 (3): 533—537.
- Anderson, L.M., A.L. Clark et D.H. Marx, 1983: Growth of oak seedlings with specific ectomycorrhizae in urban stress environments. *Journal of Arboriculture* 9 (6): 156—159.
- Chaudry, M.A., 1980: Ectomycorrhiza of *Pinus caribaea* in Uganda. In: *Tropical Mycorrhiza Research* (P. Mikola ed.) p. 88-89 Oxford University Press. London 270 p.
- Combe, J., 1976: Mycorrhization de *Pinus* sp en pépinière. Note Technique No 3. Projet Pilote Forestier, Kibuye. Rwanda 20 p.
- Combe, J., 1982: Essai sur la végétation forestière du Rwanda (Afrique). *Journal forestier suisse* 4: 319—332.
- Delwaulle, J.-C., J. Garbaye et G. Okombi, 1982: Stimulation de la croissance initiale de *Pinus caribaea* Morelet dans une plantation du Congo par contrôle de la mycorrhization. *Bois et Forêts des Tropiques*. 196: 25—32.
- Froidevaux, L., 1985: Influence de la source d'inoculum sur la croissance initiale de *Pinus patula* au Rwanda. Note Technique ISAR. A paraître.
- Ivory, M.H. et F.M. Munga, 1983: Growth and survival of container-grown *Pinus caribaea* infected with various ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 71: 339—344.
- Maghembe, J.A. et J.F. Redhead, 1984: Growth and ectomycorrhizal development of *Pinus caribaea* seedlings inoculated with basidiospores of *Scleroderma dictyosporum* in fertilized nursery soil in Tanzania. *Forest Ecology and Management* 8: 221—228.
- Malajczuk, N., R. Molina et J.M. Trappe, 1982: Ectomycorrhiza formation in Eucalyptus. I. pure culture synthesis, host specificity and mycorrhizal compatibility with *Pinus radiata*. *New Phytol.* 91: 467—482.
- Marx, D.H., 1979: *Pinus tinctorius* ectomycorrhizae improve survival and growth of pine seedlings on acid coal spoils in Kentucky and Virginia. *Reclam. Rev.* 2: 23—31.
- Marx, D.H., 1980: Ectomycorrhizal fungus inoculation: a tool for improving forestation practices. In *Tropical Mycorrhiza Research* (P. Mikola ed.) p. 13—71. Oxford University Press, London 270 p.
- Marx, D.H., 1981: Variability in ectomycorrhizal development and growth among isolates of *Pisolithus tinctorius* as affected by source, age and reisolation. *Can. J. For. Res.* 11: 168—174.
- Marx, D.H. et Kenney, D.S., 1982: Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. In *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. p. 131—146. N.C. Schenck, ed. University of Florida 244 p.
- Marx, D.H., J.L. Ruehle, D.S. Kenney, C.E. Cordell, J.W. Riffle, R.J. Molina, W.H. Pawuk, S. Nauratil, R.W. Tinus et O.C. Goodwin, 1982: Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on container-grown tree seedlings. *Forest Sci.* 28 (2): 373—400.
- Marx, D.H., C.E. Cordell, D.S. Kenney, J.G. Mexal, J.D. Artman, J.W. Riffle, et R.J. Molina, 1984: Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on bare-root tree seedlings. *Supplement to Forest Science*. 30 (3): 1—101.
- Pawuk, W.H. et Barnett, 1981: Benomyl stimulates ectomycorrhizal development by *Pisolithus tinctorius* on short leaf pine grown in containers. p. 1—3. Southern Forest Experiment Station, USA, Recherche Note SO—267.
- Rose, R.W., Jr, 1980: Ectomycorrhizae of *Eucalyptus* ssp. grown in the southeastern United States. 108 p. Ph. D. North Carolina State University at Raleigh.
- Sinclair, W.A. et Marx, D.H., 1982: Evaluation of plant response to inoculation p. 165—174. In: *Methods and Principles of Mycorrhizal Research* (N.C. Schenck, ed) University of Florida. 244 p.
- Steinbeck, K., 1984: West Germany's Waldsterben. *Journal of Forestry*. December. p. 719—720.