UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Contribution à l'étude de l'influence de la mycorrhization sur le comportement deb plantules de pinus patula.

Barampanze, Venant

1978-11
UB, FABI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/846

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA MYCORRHIZATION SUR LE COMPORTEMENT DES PLANTULES DE PINUS PATULA.

PAR

BARAMPANZE Venant

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE D'INGENIEUR AGRONOME.

NOVEMBRE 1978

A V A N T - P R O P O S

Au seuil de ce travail, nous tenons à remercier tous les professeurs de la Faculté des Sciences Agronomiques pour la formation solide dont ils nous ont doté.

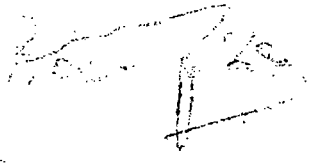
Nous adressons nos remerciements les plus sincères en particulier au Professeur Jacques Wouters qui a bien voulu diriger ce travail et guider ainsi nos premiers pas de chercheur. C'est grâce à ses sages conseils, ses nombreuses suggestions que nous sommes parvenu à l'achèvement du présent mémoire.

Nos remerciements vont également à Monsieur Victor Caethoven, Chef du Groupe Forestier ISABU-KISOZI, qui a déployé tous ses efforts et qui ne s'est jamais ménagé pour que ce travail soit ce qu'il est.

Nous songeons aussi au Professeur Albert Delvaux de la Faculté des Sciences qui nous a aidé dans la prise des photos et au Directeur du Laboratoire de la Géologie et Mines qui nous a permis l'accès au laboratoire et facilité par là l'analyse chimique des échantillons.

Que toutes les personnes, amis et amies qui nous ont soutenu matériellement et moralement tout au long de nos études trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

BARAMPANZE Venant.



INTRODUCTION.

1. Les problèmes forestiers au Burundi.

1.1. L'érosion (4).

L'érosion des collines constitue un problème très épineux au Burundi. En effet chaque année, durant la saison des pluies, des masses de terre coulent dans les bas-fonds. Si cette évolution se poursuit pendant quelques dizaines d'années, la superficie arable et productive sera réduite à l'étendue de quelques grandes vallées.

Au début de la désertification des collines, l'érosion s'accomplissait à une vitesse réduite et la situation était facilement contrôlable. En ce moment, des milliers d'hectares en pente sont à la merci des pluies battantes durant la saison des pluies : aucun obstacle n'atténue ou ne freine la coulée d'eau après les averses torrentielles. Durant la saison sèche, ces mêmes terres sont oxydées et compactées par un soleil brûlant. La structure du sol se dégrade et la porosité devient faible. L'eau pénètre plus difficilement dans le sol, glisse plutôt entre les touffes d'Eragrostis. La situation saute aux yeux : en certains lieux, le sommet et le versant de la colline sont déjà érodés irréversiblement pour les trois quarts de la superficie : c'est la partie où "les pierres poussent" (4). Il y a là un semi-désert où toute agriculture est exclue et où une sylviculture devient de plus en plus difficile. Dans ces lieux, la situation évolue directement vers une intensification ou une extension des conditions d'aridité. Le dernier quart du versant, vers le bas de la colline porte les champs et les habitations. C'est dans cette partie que l'érosion est la plus spectaculaire. Après chaque averse des tonnes de boue coulent dans la vallée et la lisière entre le terrain "où les pierres poussent" et les terres arables se déplacent chaque année en faveur de la culture de pierres.

---

(4) Pour le paysan murundi, l'érosion qui laisse les roches à nu n'emporte pas la terre mais ce sont plutôt les pierres qui poussent.

Un couvert d'arbres peut changer complètement cette situation. La forêt exerce en même temps une action régulatrice sur le climat et une action protectrice et améliorante sur les sols. Elle emmagasine le surplus eaux durant les averses pour les libérer petit à petit en période de sécheresse. Elle alimente régulièrement les nappes phréatiques et approvisionne par conséquent les sources d'eau. Elle améliore la structure du sol et sa valeur par l'apport de matière organique.

Le Burundi doit donc résoudre ce problème d'érosion par l'installation rapide d'une sylviculture de protection des sols.

1.2. Les forêts naturelles.

Celles-ci ont une faible étendue au Burundi. Seule la forêt de Kibira, forêt située sur la crête Zaïre-Nil et s'étendant d'une manière discontinue de la frontière du Rwanda jusqu'à Bururi a une quelconque importance (soit plus de 30.000 ha). Cette forêt n'est plus qu'un vestige du manteau couvrant autrefois le pays suite au déboisement important qui s'est accompli depuis l'occupation du pays par le peuple MURUNDI.

Des forêts d'un autre aspect physionomique se rencontrent au Nord-Est et Sud du pays ; ce sont les forêts tropophiles à Brachystegia. Des formations forestières liées aux sols hydromorphes sont également présentes ainsi que des savanes boisées (10).

1.2.1. La forêt ombrophile.

Elle est représentée essentiellement par la forêt de Kibira et se situe à une altitude de plus de 2000 m ; les précipitations y sont en moyenne de 1400 mm/an. Cette forêt est du type primaire mais secondarisé.

Dans cette forêt, on trouve de nombreuses espèces appartenant à la forêt mésophile imbriquées dans la forêt ombrophile : Entandophragma excelsum, Carapa grandiflora, Albizia gummifera, Millettia dura, Newtonia buchananii, Celtis spp, Parinari holstii, Pygeum africanum, Symphonia globulifera, Strombosia scheffleri... soit une grande diversité botanique.

Dans les parties les moins dégradées, on trouve des espèces de remplacement à caractère héliophile et à croissance rapide : Polyscias fulva, Bersama ugandensis, Myrianthus holstii, Macaranga neomilbraediana, Neobouto-nia macrocalyx, Bridelia bridelliifolia, Hagenia abyissinica, Harungana madagascariensis... avec un moins net mélange d'espèces mais plutôt des plages où certaines de ces espèces colonisatrices dominent nettement.

1.2.2. La forêt purement secondaire à Chlorophora excelsa.

Elle est située à Kigwena au bord du lac Tanganyika à l'altitude de 1000 à 1500 m.

1.2.3. La forêt tropophile à Brachystegia spp.

C'est une forêt à caractère zambésien bien représentée au Mosso.

1.2.4. La forêt liée aux sols hydromorphes.

Celle-ci se localise le long des grandes vallées de la Malagarazi occupées par des galeries forestières à Alchornea cordifolia et Syzigium cordatum.

Selon C. Pouilloux (16), dans un pays où la densité de population dépasse souvent 150 hab/km^2 (300 dans certaines régions), la forêt naturelle n'occupe plus que des superficies très réduites: de 6000 à 10.000 ha suivant les estimations.

En tout état de cause, cette superficie s'amenuise chaque jour. C'est le cas par exemple à l'heure actuelle entre Rwegura et Ndora, où existe un véritable front pionnier. On peut chiffrer ce recul avec une assez bonne précision - l'ordonnance de la tutelle fixant les limites de la forêt de TEZA, en 1933, a été suivie de la délimitation de cette forêt par un cordon de Cupressus et d'Eucalyptus. On retrouve ce cordon dans le paysage, à plu-sieurs kilomètres parfois de la lisière actuelle.

- les témoignages recueillis auprès des notables ou des religieux des missions concordent également : la forêt arrivait il y a 15 ans à REMERA, il y a 40 ans à KAYANZA ou KATARA... Elle se trouve maintenant étroitement cantonnée à la crête, et continue d'être attaquée.

Le recul est illustré également par les restes de végétation forestières que l'on retrouve dans certains ravins. Fougères arborescentes (Alsophila sp.), Zingiberaceae diverses (Aframomum, Costus, Rencalmia), bananiers sauvages (Ensete ventricosa), rejets de souches d'espèces particulièrement vivaces (Albizia) sont en maint endroit la marque d'une disparition récente (moins d'un siècle en tout cas) de la forêt.

1.3. Les boisements.

Le taux de boisement est actuellement de 3 % (6,5 % y compris les savanes boisées). Les reboisements appartiennent principalement à l'Etat et aux communes. Dès 1931-1948, les collectivités locales devaient procéder annuellement à leur profit exclusif, à l'établissement de boisements communaux à raison d'un hectare par 300 contribuables. A partir de 1948, moment de la création du service forestier, le personnel de ce service participait à la réalisation des boisements communaux, les travaux se faisaient encore sous forme d'imposition, mais plus équitablement répartis à la cadence de 1000 ha/an jusqu'en 1960.

Les reboisements de l'Etat (boisements économiques) ont été commencés depuis 1948 près des principaux centres administratifs, afin de ne pas dépouiller les boisements communaux pour les besoins publics et industriels (production de bois d'oeuvre).

Les reboisements communaux avaient donc surtout pour but de produire rapidement le bois indispensable aux besoins journaliers de la population (bois de chauffage et des petits bois pour les constructions rurales) tout en permettant également la constitution d'une réserve de bois d'oeuvre.

Les programmes de reboisements prévoyaient une superficie de 107.000 ha qui correspondraient à 2,8 % de la superficie du territoire (10).

L'essence principale employée était l'Eucalyptus et accessoirement le cyprès. A remarquer que depuis 1959 les superficiés annuelles reboisées en Eucalyptus ont été réduites.

1.4. Nécessité de plantation d'essences à croissance rapide.

Aujourd'hui, rares sont les pays en voie de développement qui n'entreprennent ou n'envisagent pas un programme de plantation d'essences à croissance rapide.

D'après les renseignements dont on dispose, à la fin de 1964 la superficie des plantations d'essences à croissance rapide créées dans les pays en voie de développement atteignait en chiffres ronds environ 4,5 millions d'ha (24).

Le quart à peu près de ces plantations (environ 900.000 ha) est composée de résineux, les trois quarts (environ 3.500.000 ha) de feuillus. Les principaux résineux sont les suivants, par ordre d'importance :

- Pinus radiata : 300.000 ha
- Pinus patula : 200.000 ha
- Pinus merkusii : 100.000 ha
- Araucaria angustifolia : 100.000 ha
- Cupressus spp. : 40.000 ha

D'autres résineux font l'objet de plantations assez importantes et un grand nombre de ces essences sont à l'essai dans presque toutes les régions.

Les principaux feuillus sont les suivants, par ordre d'importance :

- Eucalyptus spp. : 1.300.000 ha
- Teck : 1.000.000 ha
- Peupliers et Saules : 150.000 ha
- Acacias : 150.000 ha

Comme pour les résineux, beaucoup d'autres essences de feuillus ont été plantées en petites quantités et beaucoup font l'objet d'essais (24).

Les essences à croissance rapide présentent des avantages importants pour l'approvisionnement en bois ronds industriels.
Par un choix judicieux des essences, on peut obtenir une récolte de bois convenant mieux pour les utilisations désirées. Le peuplement homogène s'oppose au caractère hétérogène de la forêt tropicale de la zone humide qui est toujours une cause des difficultés lors de l'exploitation et de dépenses supplémentaires (24).

Le caractère homogène de la récolte et le taux élevé d'accroissement que permettent d'obtenir les essences à croissance rapide en plantation font que le rendement à l'ha en bois récoltable est extrêmement élevé. D'après les observations réalisées en station ISABU de KISOZI, on peut prévoir que l'accroissement de Pinus patula (le meilleur pin de ladite station) sera de 15 à 20 m^3 par an et par ha sur des sols de qualité moyenne (4).

Enfin, les plantations d'essences à croissance rapide peuvent constituer des entreprises financières rémunératrices. En se basant sur les résultats obtenus à la Station ISABU de KISOZI, l'estimation de la rentabilité d'une plantation de Pinus patula basée sur un accroissement volumétrique moyen de 15 m^3 par ha et par an et sur une durée de révolution de 20 ans se présente comme suit :

- Dépenses

  - frais de plantation P = 18.337 FBU/ha
  - frais de première éclaircie E_1 = 900 FBU/ha
  - frais de deuxième éclaircie E_2 = 1.200 FBU/ha
  - frais de troisième éclaircie E_3 = 600 FBU/ha
  - frais d'exploitation E_x = 2.400 FBU/ha

- Recettes

- première éclaircie : 7 stères x 200 = E'_1 = 1.400 FBU/ha
- deuxième éclaircie :20 stères x 200 = E'_2 = 4.000 FBU/ha
- troisième éclaircie :15 stères x 200 = E'_3 = 3.000 FBU/ha
- recettes d'exploitation : 150 m^3 de sciage x 5.000 x ½ =
  E_x = 375.000 FBU/ha

Cette somme de 375.000 FBU est le résultat d'un accroissement total de 300 m^3 sur une révolution de 20 ans en tenant compte du fait que 50 % du bois se perd sous forme de déchets lors du sciage et en supposant que 50 % de la somme est payée sous forme de frais pour le débitage des fûts.

Les 19 premières années sont des années d'investissement, les bénéfices des éclaircies ne compensent pas les dépenses des opérations sylvicoles. Pourtant dès la vingtième année, le capital forestier est constitué et chaque année, il y aura un bénéfice net de 359.963 FBU. Ce bénéfice peut être perpétué à l'infini à condition que chaque année la parcelle coupée (1 ha dans ce cas) soit replantée en saison des pluies de la même année, et à condition que les interventions forestières soient exécutées soigneusement et régulièrement (4).

En résumé, les problèmes forestiers au BURUNDI consistent :

1) d'abord de protéger la forêt existante, principalement la forêt de montagne en empêchant son exploitation pour le bois et la culture.

2) à l'enrichir éventuellement ou la convertir en une forêt rentable.

3) à reconstituer un manteau important (obtenir un taux de boisement de 25 à 30 %), à l'aide d'essences bien adaptées et donnant rapidement un excellent bois d'oeuvre. Une partie de ces reboisements pourait être intégrée dans la forêt de protection. La reconstitution de la couverture forestière permettrait de lutter efficacement contre l'érosion des régions montagneuses et d'améliorer les sols peu fertiles.

Il ressort de ceci que le reboisement reste une tâche très importante à réaliser dans les prochaines années et qui sera très profitable pour l'avenir du pays.

2. Le Pinus patula Schl. et Cham.

2.1. Origine et description botanique.

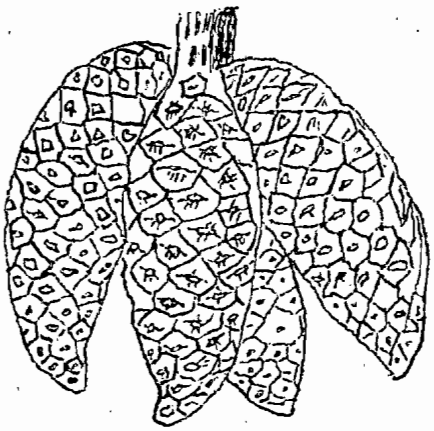
Le Pinus patula est un résineux de la famille des Pinaceae originaire des latitudes tempérées chaudes du centre et de l'Est du Mexique dans les latitutdes 18 ° - 22° Nord. C'est en 1925 que l'Afrique du Sud commença à importer de grandes quantités de graines venant du Mexique et que des plantations de cette essence y devinrent possibles ainsi que dans les Territoires voisins. Il pousse mieux dans des régions pluvieuses avec des pluies excédant 1000 mm par an et des brumes fréquentes. Il atteint son optimum dans les ravins et les terrasses avec des sols profonds, humides, bien drainés et souvent sablo-argileux. La régénération du Pinus patula est naturelle ; en ce qui concerne la protection et l'amélioration du sol, il donne une abondante litière d'aiguilles qui se décompose lentement mais dont la décomposition est meilleure que celle des autres pinus et notamment que celle du Pinus kesiya (4).

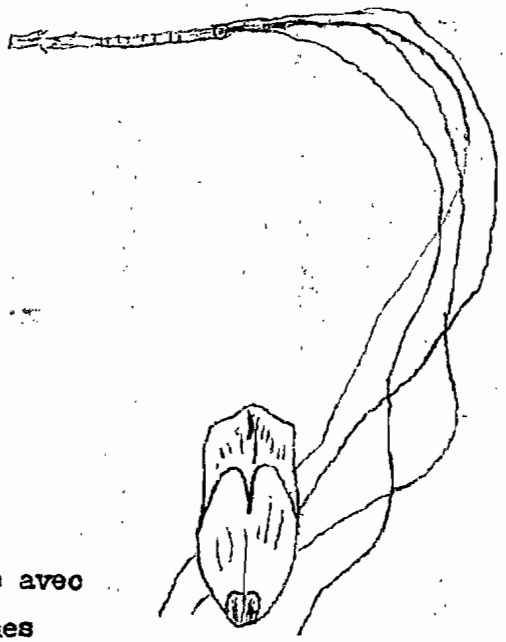
Dans des conditions convenables, l'accroissement annuel reste élevé. La première croissance est rapide et peut atteindre en moyenne 4 m à 5 ans. Elle devient très rapide de 5 à 20 ans (23 m à 15 ans) (6). Les limites altitudinales s'élèvent de 1500 à 3000 m.

Le Pinus patula est un arbre élégant atteignant 25 m de haut, à rhytidome d'abord écailleux rougeâtre puis crevassé grisâtre. Les branches sont élancées mais deviennent très vigoureuses dans des emplacements ouverts. Les aiguilles sont fasciculées par 3, fines, longues de 15 - 25 cm, pendantes, d'un vert clair. Le bourgeon est cylindrique, allongé à écailles libres, non résineux. Les cônes sont subsessiles ou pédonculés, ovoïdes, coniques, droits ou courbés, souvent agglomérés en groupes. La fructification du Pinus patula est abondante en Septembre, Octobre et en Novembre, le nombre de graines au kg pouvant atteindre 132.000 (pour la description botanique voir schéma P.patula 86).

feuille 1 cm

cônes 1 cm

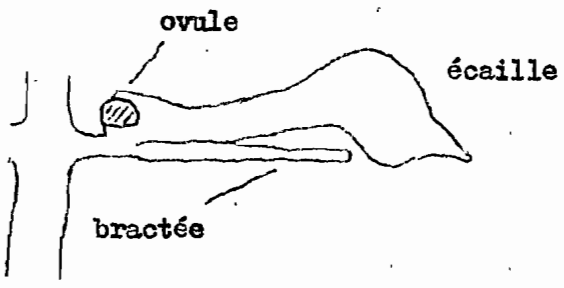




écaille avec
2 graines

1 cm

PINUS PATULA 86



écaille ovulifère de pin

Source: MEMENTO DU FORESTIER, 1978

Le système racinaire de Pinus patula est un système en même temps profond et superficiel. En effet sur le pivot qui va en profondeur et qui sert à soutenir l'arbre, vient se greffer tout un chevelu de racines secondaires qui portent à leur tour des radicelles.

2.2. Conditions pédoclimatiques de haute altitude à KISOZI.

D'après la classification adoptée par Sys (1955), la physionomie pédologique des régions aux altitudes élevées au BURUNDI présente un complexe de ferralsols et ferrisols humifères occupant toute la partie occidentale du pays. Ce complexe relève du sous-ordre des hygrokaolisols ou des hygroxérokaolisols.

On note par endroit la présence d'un horizon sombre de profondeur, ailleurs des cuirasses latéritiques ; ces dernières sont occupées par la savane. Les horizons superficiels sont quasi totalement désaturés de sorte que la fertilité de l'ensemble est variable, plutôt moyenne et diminue quand on passe des ferrisols aux ferralsols.

La zone d'altitude élevée c'est-à-dire s'élevant de 1900 à 2000 m et plus est définie par le climat CW_4 de la classification de Köppen et comprend les plus hauts plateaux centraux et de la crête Zaïre-Nil. Elle connaît une pluviosité très abondante de l'ordre de 1500 mm par an. La température moyenne annuelle est de 17°C. Toutefois en saison sèche (juillet) il est féquent d'enregistrer des températures proches de 0°C (cfr Tag et Ta page 10). Le climat y est rude avec des nuits parfois très froides.

Les précipitations (en mm) à KISOZI

1970	1513,7
1971	1596,4
1972	1711,0
1973	1368,8
1974	1191,9
1975	1164,3
1976	1194,3
1977	1585,7

$\bar{X} = 1491,6$

Evaporation (Piche sous abri) cm^3.

1970	1149,8
1971	1133,0
1972	1004,8
1973	1178,9
1974	1124,5
1975	1080,0
1976	1171,7

Déficit de saturation (De) à 15 h.

1970	4,8
1971	5,0
1972	4,5
1973	-
1974	4,6
1975	4,5
1976	4,8

Température

	$\bar{T}mg$	Tag	$\bar{T}M$	$\bar{T}m$	T_A	Ta
1970	8,0	2,4	21,7	10,1	26,5	4,6
1971	7,3	1,2	21,2	9,8	25,2	4,6
1972	8,1	1,5	21,5	10,3	25,9	5,0
1973	7,9	0,4	21,9	10,4	25,6	3,8
1974	7,8	3,4	21,2	10,1	25,2	5,6
1975	7,9	2,2	21,3	10,4	24,6	5,4
1976	8,3	2,2	21,6	10,8	25,1	5,5
1977	8,6	2,8	21,7	11,2	25,5	5,9

$\bar{T}mg$: température minimum moyenne gazon

Tag : température absolue minimum gazon

T_A : température absolue maximum annuelle

$\bar{T}M$: température maximum moyenne annuelle

$\bar{T}m$: température minimum moyenne annuelle

Ta : température absolue minimum annuelle

(Source : ISABU-KISOZI. Groupe climatologie).

lère partie : Généralités sur la mycorrhization.

Chapitre 1 : Historique et importance sylvicole.

1.1. Découverte de la mycorrhization.

En se promenant dans une pinède ou dans d'autres boisements et en écartant du pied la couche d'aiguilles ou de feuilles mortes qui jonchent le sol, on remarque qu'un dense feutrage mycélien s'insinue souvent entre les débris pourrissants. En déplaçant cette litière à proximité d'un jeune plant, on constate que le lâche voile fongique du sol distant s'organise au niveau des fines radicelles qui cheminent près de la surface du sol. Les plus courtes d'entre elles disparaissent alors sous un manchon mycélien pratiquement continu. Organes mixtes, résultant de la juxtaposition d'hyphes fongiques et de racines, ces complexes ont reçu de Frank, vers les années 1885, le nom de "MYCORRHIZES" (2).

FRANK (8) avait réservé le nom de mycorrhizes à l'ensemble des organes de Cupuliferae possédant l'association de champignons et de racines. Mais en même temps, des organes semblables furent vite décrits chez les angiospermes arborescents et les mycorrhizes du même type furent trouvées dans beaucoup de conifères (spécialement les Pinaceae) et aussi dans quelques angiospermes herbacés. FRANK (8) montra que ces organes étaient toujours présents sur le système racinaire des plants pendant que ceux-ci poussaient dans les boisements naturels. C'est alors qu'il tira la conclusion que peu de racines de plantes étaient exemptes de cette association. Plus tard, en collaboration avec d'autres, il montra que les systèmes racinaires de beaucoup d'autres plantes que l'on croyait auparavant indemnes de l'infection des champignons étaient également colonisées par des hyphes. Mais dans ce cas, il n'y avait aucune manifestation extérieure de la colonisation des racines par les champignons ; le mycélium pénétrait la coiffe de la racine, entrait dans les cellules et était relié au sol simplement par quelques brins d'hyphes.

C'est ainsi que tout un vocabulaire spécialisé concernant les associations mycorrhiziennes, des plus étroites (les endotrophes) aux plus lâches (les ectotrophes) s'est constitué :

- Les mycorrhizes ectotrophes se rencontrent principalement chez les espèces d'arbres appartenant à la famille des Pinaceae parmi les gymnospermes et à la famille des Betulaceae, des Fagaceae et de quelques autres familles d'angiospermes ; elles présentent une structure semblable dans tous les groupes de plantes où on les trouve.

Dans les sols ordinaires, ce sont principalement les racines les plus courtes qui, sous l'infection de champignons, se transforment en organes de mycorrhization. C'est alors que l'entièreté de la radicelle se recouvre d'une couche de champignons. Les courtes racines mycorrhizées développent beaucoup de ramifications dont chacune est limitée dans la croissance en longueur et c'est pourquoi des systèmes latéraux très courts se forment et se couvrent, à leur tour, entièrement de champignons. L'apparence de ces systèmes est très variable.

- Les mycorrhizes endotrophes se rencontrent chez les espèces d'arbres appartenant à la famille des Orchidaceae et des Ericaceae ; elles sont plus largement dispersées dans le règne végétal et sont plus variées dans leur forme et leur structure que les mycorrhizes ectotrophes.

1.2. Développement de la mycorrhization en Afrique.

La nécessité de l'association mycorrhizienne a été remarquée pour la première fois lorsque des plantations expérimentales de pins exotiques dans les différentes parties du monde échouaient considérablement jusqu'à ce que l'on importa des champignons mycorrhizoformateurs convenables.

En Asie, cette question était encore très mal étudiée et jusqu'à ces dernières années, des échecs observés dans des pépinières et plantations sur sols de prairie, étaient attribués à des causes diverses : pauvreté du sol, parasites etc..., alors que, dans la plupart des cas, ils provenaient de l'absence dans le sol de microorganismes spécifiques des arbres plantés. La nécessité des mycorrhizes fut pour la première fois mise en lumière en Asie, voilà une quarantaine d'années, lors des premières plantations de Pinus Merkusii et de Pinus insularis aux Philippines. On a constaté que le semis de ces pins était voué à une mort certaine s'ils étaient mis en pépinière et transplantés sur des sols de prairie où la végétation forestière avait

disparu depuis longtemps. Les symptômes qui permettaient de diagnostiquer le manque de mycorrhizes étaient les suivants : après une germination normale et un bon démarrage des jeunes plantules, elles devenaient progressivement rougeâtres ou jaunâtres à partir du 2ème ou du 3ème mois et leur croissance diminuait considérablement. Après un délai plus ou moins long, elles finissaient par mourir.

C'est ainsi qu'il a fallu qu'un arbre de Noël voyage en pot, avec sa terre d'origine au pied, une terre d'Europe, pour que les semis, jusqu'alors malheureux d'Epicéas en Australie, connaissent une miraculeuse stimulation (1).

Le savant russe Vysotskii en 1902 dit avoir utilisé l'inoculation mycorrhizienne pour le reboisement des prairies.

S'il est possible d'élever des jeunes plants forestiers dépourvus de toute mycorrhize, à la condition toutefois que le sol soit suffisamment riche, il importe de songer aux années futures, années de disette pour un plant non mycorrhizé livré à un sol qui s'appauvrit et qu'il explore bien imparfaitement. Ce sont de telles raisons d'ordre biologique plutôt que des particularités climatiques qui sont la cause de l'existence aux USA de prairies nues dans la région dite de sols intrazonaux. L'importance de l'introduction de champignons fut détectée lorsqu'on commença à reboiser en Amérique des zones dépourvues d'arbres.

L'introduction d'essences exotiques pose le problème de l'ubiquité des germes. Plusieurs échecs ont été enregistrés en Nouvelle-Zélande (Pinus radiata), au Malawi (divers Pinus), en Rhodésie (Pinus canariensis, P. caribaea, P. halepensis et P. palustris), en Afrique du Sud et ailleurs : tant que l'on n'assure pas l'introduction de symbiotes en même temps que celle des graines ou des plants on court à l'échec (21).

Il n'y a pas de données historiques sur l'importation des champignons des mycorrhizes en Afrique du Sud ou en Nouvelle-Zélande qui sont actuellement réputés dans les plantations de pins exotiques. A l'heure actuelle, les plantations sont bien infectées. La technique d'introduction

et de propagation des mycorrhizes spécifiques des pins tropicaux est maintenant bien au point dans tous les pays africains qui introduisent ces essences. Elle est basée sur trois constatations importantes :

1. Les divers pins tropicaux et subtropicaux ne semblent pas avoir une spécificité marquée pour une espèce déterminée de mycorrhizes p.ex. Boletus granulatus et Rhizopogon roseolus qui sont les mycorrhizes locales typiques de Pinus merkusii s'adaptent également fort bien à Pinus caribaea.

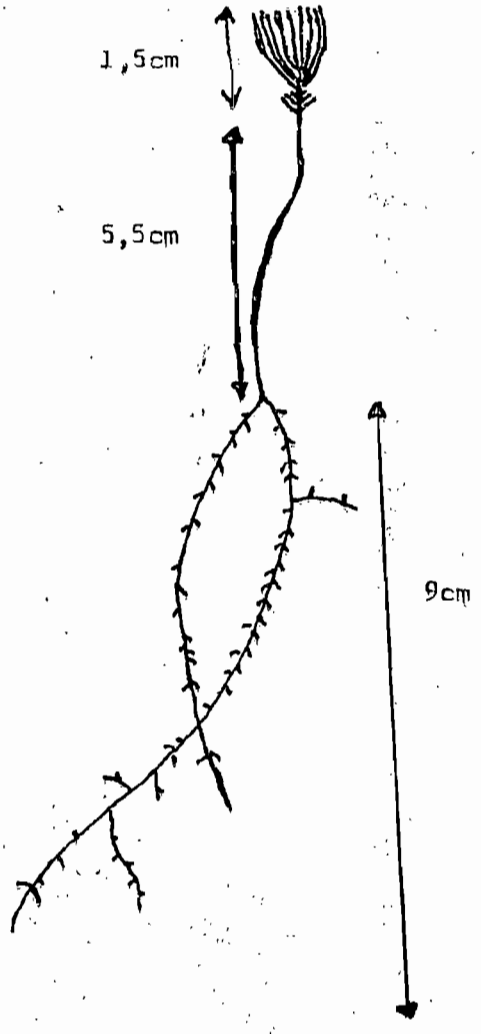
2. Les mycorrhizes meurent vite si elles ne trouvent pas rapidement un support vivant. Leur propagation, par transport de terre ou de débris de racines provenant de peuplements naturels, est donc difficile et se solde neuf fois sur dix par un échec si le transport dure plus de 8 jours.

3. Les mycorrhizes ne sont pas nécessaires au début de la germination mais seulement lorsque les plants ont un ou deux mois (21).

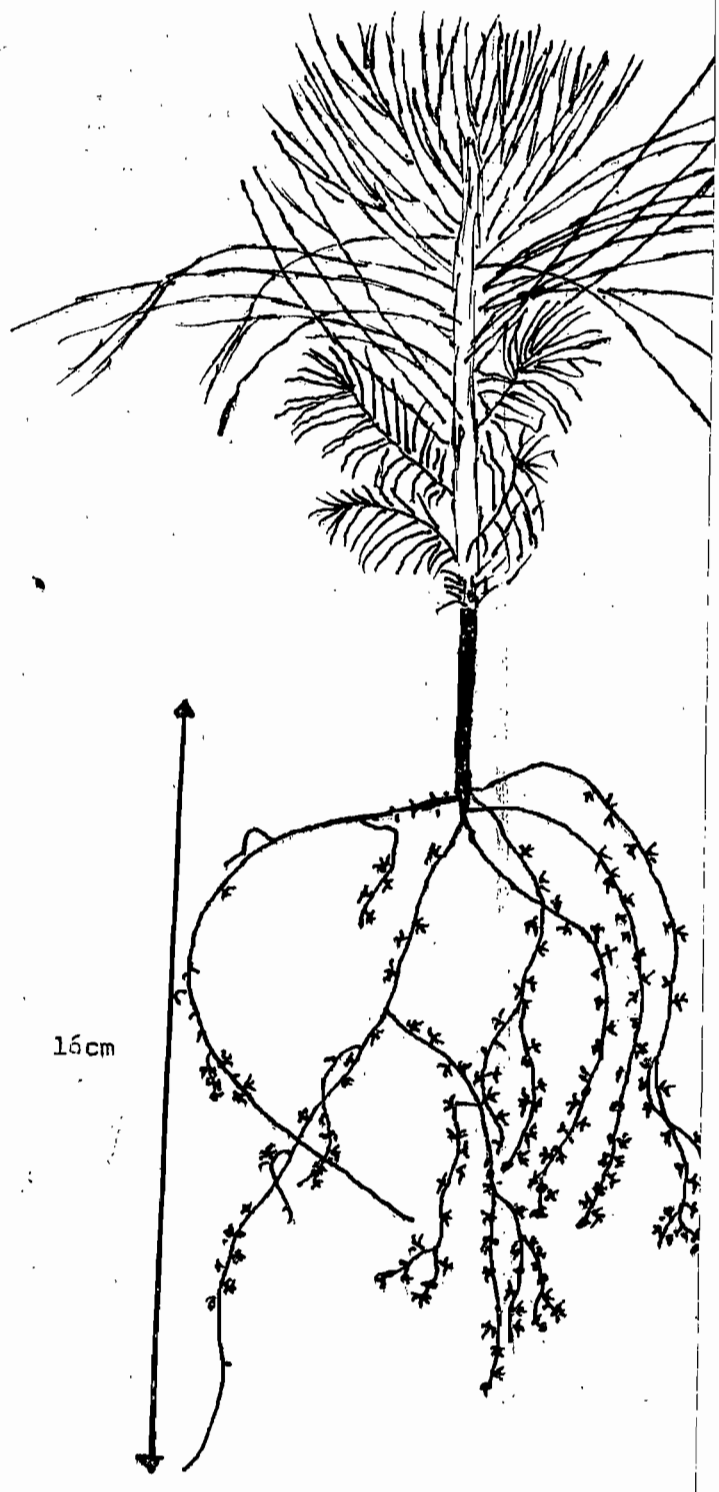
1.3. Utilité de la mycorrhization.

L'importance incontestable de la mycorrhization se manifeste essentiellement dans les sols assez pauvres où le plant mycorrhizé s'avère supérieur au plant non mycorrhizé pour diverses raisons : Sa croissance est stimulée, les méfaits des parasites sont atténués, sa résistance aux facteurs climatiques défavorables est accrue, le sol dans lequel il croît serait, pense-t-on, débarassé des exsudats néfastes qui peuvent s'y accumuler (2).

La stimulation de la croissance des hôtes est une conséquence normale d'une meilleure nutrition. Différentes conséquences de l'infection mycorrhizienne concourent à ce résultat : La surface absorbante du système racinaire et son efficacité sont accrues surtout dans le cas de la formation de mycorrhizes ectotrophes. Simples, fourchues ou plusieurs fois dichotomes, les mycorrhizes représentent un appareil d'absorption beaucoup plus fourni que le système racinaire souvent réduit, des plants autotrophes. On sait que Boletus variegatus secrète une substance qui stimule la ramification des racines de Pinus en culture. Des extraits du champignon ont,



Plantule de Pinus patula sans mycorrhizes âgée de 11 mois et 7 jours.



Plantule de Pinus patula âgée de 7 jours portant des mycorrhizes.

Fig. 3 : plantules de Pinus patula de même âge l'une portant l'autre en étant dépourvue.

sur la ramification des racines, la même influence que les acides β indol acétique ou α naphtyl-acétique, entre autres (2).

Aux fines racines courtes normales, on oppose fréquemment les mycorrhizes charnues. Par suite de l'hypertrophie de certaines cellules corticales le calibre des mycorrhizes est nettement supérieur à celui des racines ordinaires. En outre, du manchon fongique, se détachent maints hyphes qui explorent un volume de sol bien supérieur à celui visité par les racines ordinaires.

En sols déficients le développement des mycorrhizes est important. Les associations contribuent là à faciliter l'apport salvateur d'aliments. Dans les sols acides sur lesquels s'accumule une litière abondante, les champignons des mycorrhizes se comportent en auxiliaires précieux par leur aptitude à attaquer des matériaux organiques inutilisables directement par l'hôte.

Dans les sols de prairie l'arrêt de croissance des arbres dépourvus de mycorrhizes peut être attribué à l'inutilisation de matériaux difficilement solubles. Des microorganismes, et les agents mycorrhizogènes en particulier, jouent parfois dans le sol un rôle important en transformant des composés organiques phosphorés ou des phosphates insolubles en phosphates minéraux solubles. Selon B. Boullard (2), l'apatite ou le feldspath orthose pourraient céder sous les attaques des symbiontes fongiques.

Conséquence logique d'une meilleure nutrition, la vigueur des plants mycorrhizés est remarquable. Il est courant de constater que des plants du même âge, les uns étant mycorrhizés, les autres ne l'étant pas, possèdent des appareils aériens qui varient en importance du simple au quintuble.

Sous des climats plus rudes, parallèlement à ce regain de vigueur la mycorrhization des plants forestiers accroît leur résistance aux intempéries et en particulier au froid. Ainsi dans les opérations de boisement en altitude, entreprises dans le dessein de prévenir les avalanches, un tel facteur se révèle important.

Enfin les champignons des mycorrhizes sont capables d'éliminer des substances toxiques excrétées par certaines espèces constituant la couverture végétale et de protéger leurs hôtes contre les agents en provenance du sol. Selon B. Boullard (2), en comparant de jeunes arbres élevés dans des sols différents, les uns pourvus de champignons symbiotiques, les autres en étant dépourvus, on a constaté que les méfaits dûs à la fonte des semis se font exclusivement sentir sur des plantules non mycorrhizées. D'autre part, en pépinières, les méfaits que des Phytium, des Peronospora, des Fusarium, des Phytophthora, peuvent engendrer sont fort minimisés lorsque la constitution de complexes renforce les plantules. Cette résistance à l'attaque des pathogènes est due à trois mécanismes :
En premier lieu on l'attribue à la formation d'une barrière physique. En second lieu, elle est due à la présence de substances antibiotiques produites par le champignon mycorrhizogène et qui inhibent la germination de zoospores à une concentration extrêmement faible. Finalement, le troisième mécanisme qui semble offrir une résistance est la production de composés volatils (l'iso-butanol et l'acide isobutyrique) à une concentration très élevée (12).

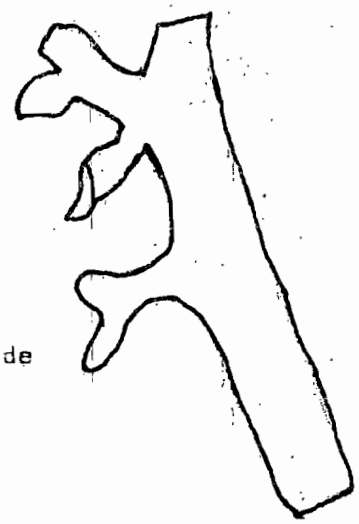
Les associations symbiotiques que constituent les mycorrhizes au terme desquelles le champignon obtient les hydrates de carbone et la plante-hôte les éléments minéraux, l'eau et les facteurs de croissance sont illustrées en examinant la structure des mycorrhizes.

Chapitre 2. Les mycorrhizes ectotrophes.

2.1. Macromorphologie.

En soulevant la litière des feuilles mortes et en délitant les dépôts pourrissants dans une pinède, apparaissent extraordinairement abondants de petits axes charnus, encoconnés dans un feutrage dense de couleur déconcertante parfois (blanc, brun, ocre, rose, cinabre, noir, sinon bleu ciel). La racine courte elle-même a disparu de la vue masquée par le dense feutrage fongique constituant la gaine continue.

G: 12 x

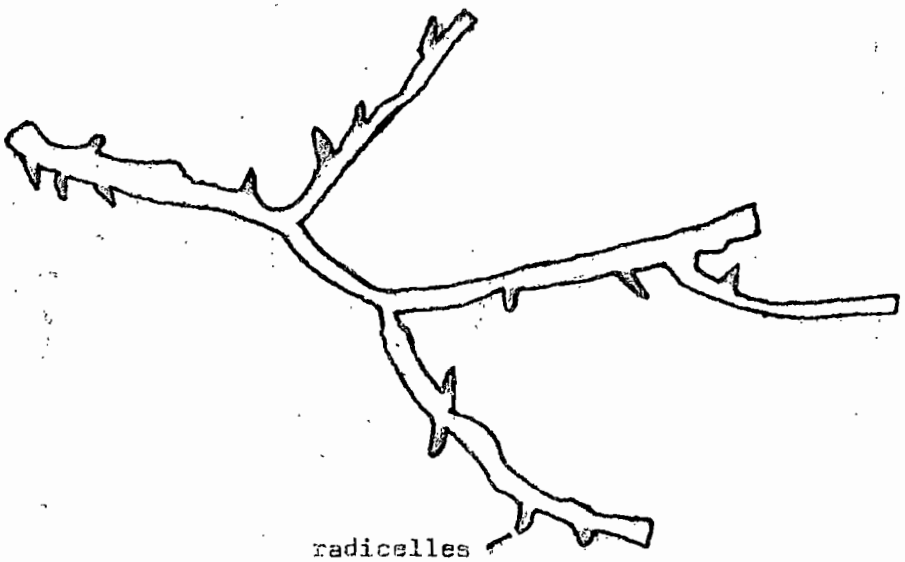


Mycorrhize dichotomique de P. patula.

G: 12 X

Dichoto
poussée.

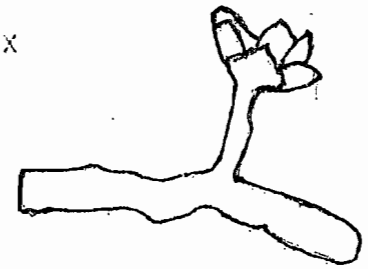
G: 6 X



Racine de
mycorrhiz

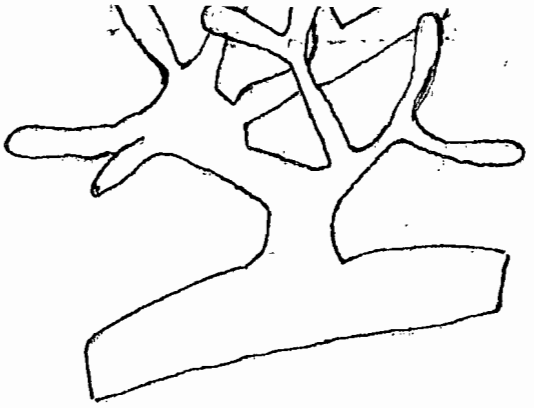
**Fig. 1 : Différentes formes de mycorrhizes de Pinus Patula et ra
patula non infectée.**

G: 12 X



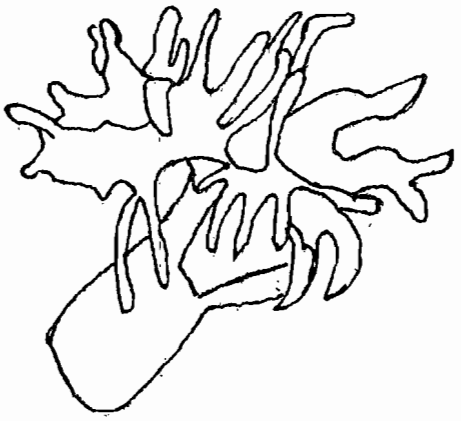
Début de formation
de mycorrhize racémeuse
sur P. patula

G: 12 X



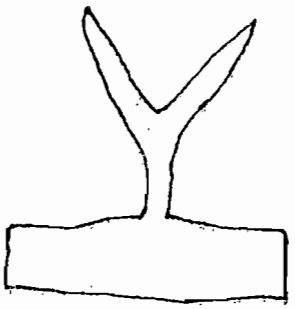
Mycorrhize de P.patula plusieurs fois
dichotomique.

G: 12 X



Mycorrhize coralloïde
sur P.patula

G: 12 X



Mycorrhize bifurquée
sur P. patula.

Fig. 2 : Différentes formes de mycorrhizes de Pinus Patula.

Sur les axes explorateurs, possédant une coiffe, susceptibles d'atteindre de grandes dimensions et de mériter de la sorte leur appellation de racines longues, la disposition des mycorrhizes connaît des variantes. Les mycorrhizes donc, racines courtes modifiées, s'opposent aux racines longues par leur petite taille, leur plus fort calibre, leur fonction absorbante par excellence (1).

On parle de distribution racémeuse des mycorrhizes lorsqu'elles naissent ça et là, échelonnées de part et d'autre le long de la racine longue. C'est bien en effet à une grappe (racemus en latin) qu'il faut comparer leur ensemble. Il arrive parfois que les mycorrhizes soient de plus en plus développées en s'éloignant de l'apex de la racine longue qui la porte. Leurs groupes affectent alors un aspect pyramidal.

Le monde des Résineux, les Pins en particulier, recèle un type spécial de complexes fourchus dont le qualificatif dichotomes rend bien compte. Il arrive encore que l'on rencontre de petits ensembles fort rameux, fruits d'une dichotomie répétée. Ces pseudo-arbrisseaux (l'ensemble n'atteint pas le cm^3) retiennent avec beaucoup de facilité les détritus organiques de l'humus. Il s'agira dans ce cas de mycorrhizes coralloïdes (cfr schémas de la macromorphologie des mycorrhizes de P. patula).

L'enchevêtrement des racines courtes mycorrhizées atteint parfois son maximum de complexité lorsque, englobant 20, ou 30, sinon davantage de mycorrhizes élémentaires, souvent coralloïdes déjà, un voile fongique commun confère à l'ensemble la silhouette d'un nodule. Les mycorrhizes sont alors dites noduleuses.

2.2. Phanérogames formant les mycorrhizes ectotrophes.

Les mycorrhizes sont largement distribuées parmi les phanérogames mais beaucoup de ces mycorrhizes appartiennent au type endomycorrhizien et seulement 3 % des phanérogames sont du type ectomycorrhizien. Quelques genres tels Juniperus, Cupressus, Salix, Malus, Pyrus, Tilia et Eucalyptus montrent l'ecto et l'endomycorrhize. Les ectomycorrhizes sont plus communes dans les familles des Pinaceae, Salicaceae, Betulaceae et Fagaceae. Leur présence

dans des catégories systématiques distinctes pourrait avoir des raisons variées.

- Certains composés chimiques sont inclus dans le mécanisme réglant la formation de mycorrhizes tel l'Orchinol. Ces substances apparemment sont synthétisées dans certains genres et pas dans d'autres.

- Les arbres formant des ectomycorrhizes ne parviennent à grandir que dans des sols où le champignon symbiotique croît.

Ainsi il y a moyen de distinguer entre les espèces d'arbres celles qui forment des ectomycorrhizes dans toutes les conditions de l'environnement et d'autres qui en forment dans certains sites et pas dans d'autres. Les arbres du premier groupe sont des ectomycorrhizes obligatoires. La raison de leur faiblesse en l'absence d'ectomycorrhize réside dans le fait que le véritable champignon agit premièrement comme un parasite et prend avantage sur l'arbre. Lors de l'infection, l'arbre développe des mécanismes de défense. C'est seulement lorsqu'un état d'équilibre a été atteint entre la capacité pathogène du champignon et les mécanismes de défense de l'hôte que les 2 partenaires peuvent vivre symbiotiquement et cela pour une longue période.

En l'absence de véritable champignon mycorrhizateur, d'autres champignons peuvent pénétrer dans la racine. L'arbre répond à cette invasion en formant des composés toxiques tels que les tannins qui rempliront les cellules du cortex de la racine. En plus, les parois du cortex se subérisent et la formation du chevelu radiculaire est inhibée. Dans de telles conditions la fonction normale de la racine comme un organe d'absorption est gênée ou diminue considérablement et suite à cela, les arbres dépérissent.

Les genres typiques d'ectomycorrhizes obligatoires sont par exemple Pinus, Abies, Larix, Picea, Fagus et Quercus. Ceux du type ectomycorrhize facultatif sont du genre Cupressus, Juniperus, Salix, Betula, Pyrus, Acer et Eucalyptus. Ces arbres sont capables de croître en l'absence de champignon mycorrhizateur. Alors que les plantations du genre Pinus ont échoué dans les régions subtropicales en l'absence de champignon mycorrhizateur, celles d'Eucalyptus et de Cupressus ont réussi.

La liste des phanérogrames formant les ectomycorrhizes comprend les familles et les genres suivants (15) :

Gymnospermae
- Pinaceae
  - Abies
  - Cedrus
  - Larix
  - Picea
  - Pinus
  - Pseudolarix
  - Pseudotsuga
  - Tsuga
- Cupressaceae
  - Cupressus
  - Juniperus

Angiospermae
- Juglandales
  - Juglandaceae
    - Juglans
- Salicales
  - Salicaceae
    - Populus
    - Salix
- Fagales
  - Betulaceae
    - Alnus
    - Betula
    - Carpinus
    - Corylus
  - Fagaceae
    - Fagus
    - Castanea
    - Quercus
- Urticales
  - Ulmaceae
    - Ulmus
- Rosales
  - Rosaceae
    - Crataegus
    - Malus
    - Pyrus
    - Sorbus
- Leguminosae
  - Brachystegia
  - Gilbertiodendron
  - Julbernardia
- Sapindales
  - Sapindaceae
  - Aceraceae
    - Acer
- Malvales
  - Tiliaceae
    - Tilia
- Myrtiflorae
  - Myrtaceae
    - Eucalyptus
- Ericales
  - Ericaceae

2.3. Champignons formant des mycorrhizes ectotrophes et ceux associés au P. patula en particulier.

Beaucoup de chercheurs ont utilisé différentes techniques et établi une liste de champignons connus comme pouvant produire des mycorrhizes ectotrophes avec les essences forestières. La majorité de ces champignons appartiennent à la classe des Basidiomycètes plus particulièrement à la famille des Agaricaceae et des Boletaceae. On a montré aussi que quelques gastéromycètes tel que Scleroderma citrinum, Rhizopogon roseolus, Rhizopogon luteolus formaient des mycorrhizes avec les conifères. Quelques Ascomycètes tel que Tuber, Elaphomycès, Gyromitra et le champignon imparfait Cenococcum graniforme occupent une place importante dans les gymnospermes et les angiospermes. Plus de 50 espèces de Basidiomycètes forment des mycorrhizes ectotrophes, elles appartiennent à une douzaine de genres mais 3 genres seulement Amanita, Boletus et Tricholoma englobent la majorité. Il semble très probable que les genres Russula, Lactarius et Cortinarius qui croissent difficilement en culture pourraient comprendre beaucoup plus d'espèces formant des ectomychorrizes que ce qu'on croit jusqu'à présent. Le champignon le moins spécifique s'associant aux essences forestières est Cenococcum graniforme. En effet on le trouve associé aux genres Pinus, Picea, Abies, Pseudotsuga, Tsuga, Larix, Juniperus, Quercus, Fagus, Betula, Corylus, Tilia, Populus, Salix et Alnus. Le plus haut degré de spécificité est donné par Boletus elegans qui s'associe au Larix. Entre ces deux extrêmes, il existe plusieurs espèces de champignons intermédiaires (8).

Les études faites dans la réserve forestière de Belfast durant les mois de Janvier à Avril 1975 sur le P. patula ont révélé l'existence de 4 espèces de champignons différentes associés avec les racines de cette essence. Il s'agit de Boletus edulis, Amanita muscaria, Lycoperdon et Tuber spp. A Kisozi, les deux champignons associés au P. patula sont essentiellement Scleroderma citrinum et Boletus sp.

Planche n° 1

Détail d'une coupe transversale [illegible]

(1) manteau fongique

(2) cellules corticales

(3) réseau de Hartig

Grossissement : 320 X

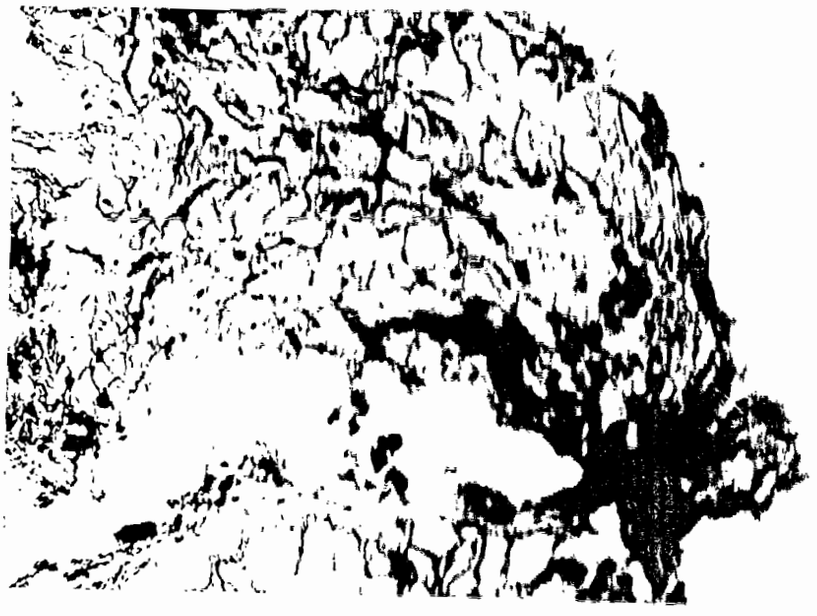


Photo II

Détail d'une coupe transversale de [illegible] montrant [illegible] (4) l'endoderme déchiré [illegible].

G. : 320 X

Coupe transversale d'une racine de Pinus Laricio non infectée

G. : 80 X

Figure n° 4

Coupe transversale d'une racine de Pisum sativum infectée.

On constate que de l'extérieur de la coupe jusqu'au centre les cellules sont toutes identiques.

G. : 80 X

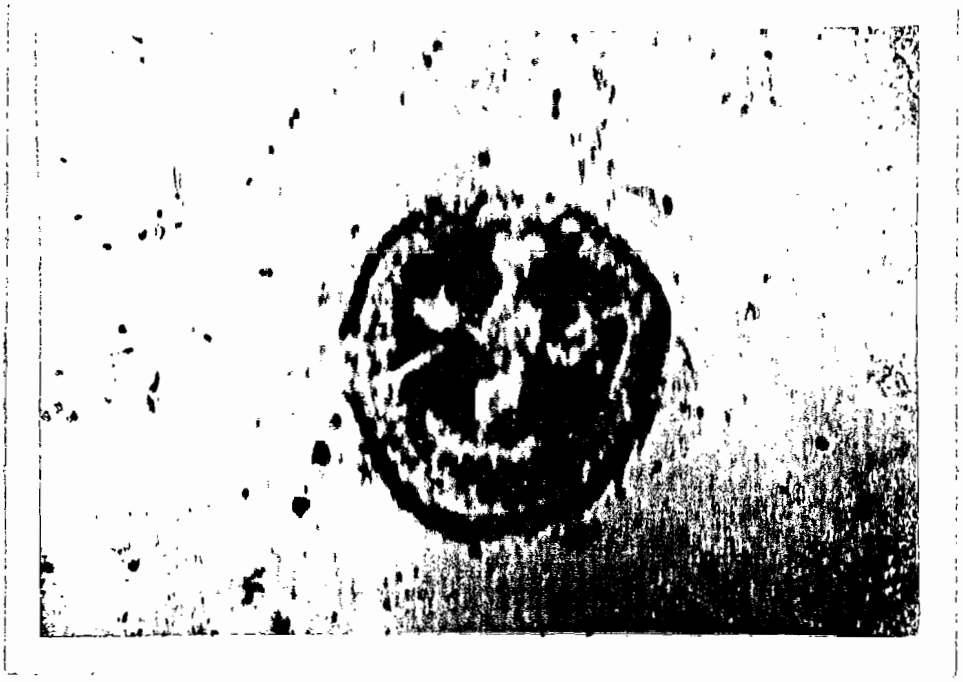


Planche IV 3

Coupe transversale d'une racine de Pinus patula âgée de 7 mois et 2 semaines non infectée. On constate les mêmes cellules ambinatrices que dans le cas de Pinus kesiya.

G. : 25 X

2.4. Structure des ectomycorrhizes.

2.4.1. Techniques de fixation et de coloration.

Les racines de P. patula qui ont été mycorrhizées avec des spores de Scleroderma citrinum ont subi le mode opératoire suivant en vue d'effectuer une coupe transversale permettant d'observer la structure interne de la symbiose racine-champignon.

Fixation	: Picroformol de Bouin
Déshydratation	: Alcool ayant servi 2 fois
	Alcool ayant servi 1 fois
	Alcool neuf
	Alcool neuf
Eclaircissement	: Toluène ayant servi 2 fois
	Toluène ayant servi 1 fois
	Toluène neuf
Pénétration	: Paraffine ayant servi 2 fois
	Paraffine ayant servi 1 fois
	Paraffine neuf
Déparaffinage	: Toluène (2 bains)
	Méthanol (2 bains)
	Eau
	Carbonate de Lithium
Coloration	: Hémalun
	Alcool acide
	Carbonate de Lithium
	Eosine

2.4.2. Coupe transversale de racine de P. patula (cfr photos)

De l'extérieur vers l'intérieur de la coupe on distingue :

a) Un manteau fongique épais de 20 à 40 μ recouvrant un axe de 300 à 500 μ de diamètre. Cette gaine mycélienne représente 20 à 30 % du volume total de la racine et 35 à 40 % de son poids sec. La surface de ce manteau est plus ou moins lisse selon les cas : en général, quelques hyphes s'étirent vers le sol, isolément ou en consituant quelques synnémas.

La partie interne de ce manchon s'insinue entre les cellules de l'exocortex en formant là une sorte de réseau d'hyphes ou Réseau de Hartig (du nom de R. Hartig qui le découvrit sans l'identifier correctement). Ce manteau donc varie par son épaisseur, sa texture et sa couleur. De telles variations se situent sous la dépendance directe de maints facteurs parmi lesquels : la nature de l'essence considérée, la nature du symbionte fongique, l'âge des mycorrhizes, les conditions de milieu (1).

b) La couche de tannin.

La couche superficielle de cellules sous-jacente au manteau est fréquemment imprégnée d'un matériel de couleur brun sombre consistant en tannins. Les hyphes provenant du manteau pénètrent entre les cellules de cette couche et cheminent alors entre les espaces intercellulaires corticales pour s'y assembler fermement et former le réseau de Hartig. La fonction et l'origine de cette couche de tannin a fait l'objet de beaucoup de controverse. Maintes hypothèses ont été émises à ce sujet mais aucune d'entre elles n'a fourni une explication valable (15).

c) Les cellules de l'exocortex qui se trouvent séparées du fait de la progression des hyphes entre elles et ont tendance à se montrer étirées radialement en constituant l'assise palissadique.

d) Le réseau de Hartig.

La présence d'un réseau de Hartig bien développé est un signe qui montre de véritables mycorrhizes. Les associations dans lesquelles le manteau fongique se forme sans aucune pénétration intercellulaire sont considérées comme asymbiotiques. Les raisons en sont que dans cette région l'hôte et le champignon entrent en contact étroit et l'échange de nourriture a lieu entre les deux partenaires.

Au microscope éléctronique, l'on constate que les hyphes du réseau de Hartig sont remplis de granules de glycogène avec occasionnellement des goutelettes d'huile. Les cellules de l'hôte adjacentes aux hyphes fongiques contiennent de petits grains d'amidon (15).

La pénétration des hyphes fongiques dans le cortex de la racine est encore discutée : certains pensent qu'elle débuterait par une dégradation enzymatique des substances de la lamelle moyenne des parois de l'hôte, d'autres pensent à une pénétration mécanique et d'autres enfin à une pénétration enzymatique et mécanique (15).

e) Le cylindre central enfin, absolument exempt d'infection.

Outre cette structure interne qui vient d'être décrite, il y a lieu de remarquer que les racines mycorrhizées diffèrent morphologiquement des racines normales de même âge. Elles sont plus épaisses, plus fragiles et habituellement colorées différemment. Les radicelles ordinaires quoique courtes sont nettement plus fines que les mycorrhizes. Selon B. Boullard (1), on note à leur niveau des différences d'ordre anatomique touchant le xylème : la racine normale élabore un bois où dominent des vaisseaux annelés, spiralés, scalariformes, cependant que la racine mycorrhizée possède une majorité de vaisseaux ponctués. Ces différences dans le degré de lignification seraient liées à la différence des vitesses de croissance, laquelle est très réduite dans le cas des mycorrhizes.

2ème partie : Techniques de mycorrhization.

Chapitre 1 : Dispositif expérimental.

1.1. Le semis des graines de Pinus patula.

~~Le semis des graines de Pinus patula a eu lieu le 3 novembre 1977. Les toutes premières pousses ont levé 21 jours après. Toutefois la levée n'a été totale qu'après 26 jours.~~

Dès que le semis est effectué, on couvre immédiatement de paille toutes les parcelles afin de permettre un emmagasinement de chaleur qui accélère la levée des plants de Pinus patula. Cette paille est enlevée dès que l'on voit apparaître les premières pousses. On prend soin d'arroser les plantules dès qu'il y a un fléchissement de la pluviosité.

Au début de la levée, la plantule de Pinus patula présente une forme courbée : Une partie de la tige se dresse tandis que l'extrémité de celle-ci ainsi que les aiguilles restent encore encrées dans le sol (cfr schéma 1). Petit à petit les aiguilles émergent du sol (cfr schéma 2) et quand elles sont nettement dégagées, elles restent réunies par une coque qui est de forme ovale (cfr schéma 3). Quelques jours après la chute de la coque, les aiguilles deviennent libres et sont de couleur verte sauf l'extrémité qui est jaune-rouge (cfr schéma 4). La couleur de la tige en allant de haut en bas est respectivement verte, pourpre mauve et rouge. Le nombre d'aiguilles est variable : 4 à 6 ; celles-ci sont dressées en verticille et présentent à leur base un renflement qui correspond à l'extrémité de la tige. La longueur d'une aiguille après 2 jours de levée est de 1,5 cm ; la tige quant à elle atteint une hauteur pareille.

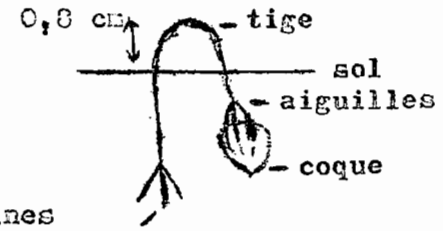


Schéma 1 : plantule de P. patula au moment de la levée.

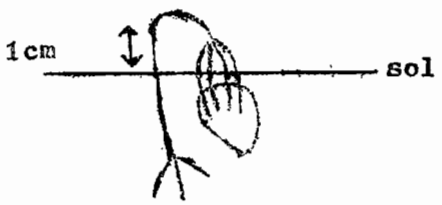


Schéma 2 : plantule de P. patula un jour après la levée. Les aiguilles commencent à émerger du sol.

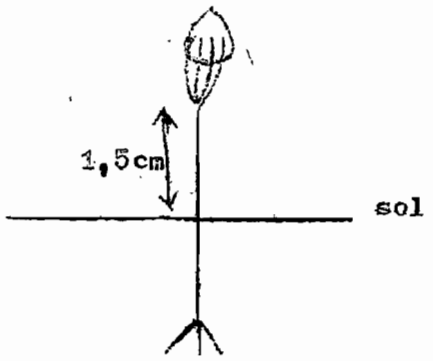


Schéma 3 : plantule P. patula 2 jours après la levée : les aiguilles sont encore réunies par la coque; la tige est dressée.

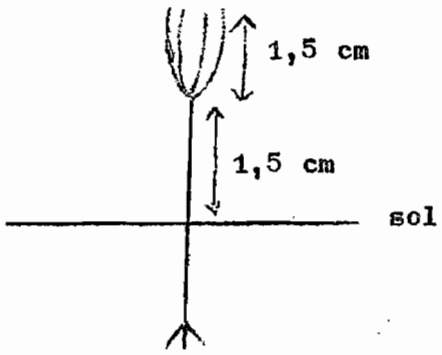


Schéma 4 : plantule de P. patula; aiguilles libres 2 jours après la levée.

1.2. Le dispositif proprement dit.

Le dispositif expérimental, installé en carré latin (cfr tableau n° 1) avait pour but de comparer 4 techniques de mycorrhization à l'aide de spores de Scleroderma citrinum à un témoin et de dégager ainsi la meilleure technique à utiliser en vue du reboisement de la zone des altitudes supérieures du Burundi au moyen de Pinus patula.

Chaque parcelle a une superficie de 1 m^2 (1 m x 1 m) ; l'écartement entre les lignes et entre les colonnes est de 0,5 m ; la dimension du dispositif total en tenant compte de cet écartement est de 45 m^2. Pour chaque parcelle nous avons fait 5 répétitions de sorte que nous avons un total de 25 parcelles.

Parcelle A : Témoin en terre ordinaire où on sème 300 graines à raison de 3 graines par trou.

Parcelle B : 100 sachets remplis de terre ordinaire où on sème 300 graines à raison de 3 graines par sachet, elle sera mycorrhizée.

Parcelle C : terre ordinaire où on sème 300 graines à raison de 3 graines par trou ; elle sera mycorrhizée.

Parcelle D : 100 sachets remplis de terre ordinaire à la partie inférieure du sachet, la partie supérieure étant occupée par une terre de pinède prémycorrhizée, on y sème 300 graines à raison de 3 graines par sachet.

Parcelle E : terre ordinaire à laquelle on ajoute la même terre de pinède prémycorrhizée, on y sème 300 graines à raison de 3 graines par trou.

La quantité totale de graines semées est de 25 x 300 = 7.500 graines

Tableau n° 1 : Tableau du dispositif expérimental.

A_1	B_1	C_1	D_1	E_1
B_2	C_2	D_2	E_2	A_2
C_3	D_3	E_3	A_3	B_3
D_4	E_4	A_4	B_4	C_4
E_5	A_5	B_5	C_5	D_5

Tableau n° 2 : pourcentage de levée après 26 jours (en pourcentage du total de graines semées par parcelle.

	A	B	C	D	E
1	10,33	1	4	39,33	9,67
2	3,67	19,33	4	67	9,67
3	5,33	34,33	5,33	6	11,33
4	1,33	33,33	1	3,67	12
5	6	10,33	2	6,67	17,33
$\bar{X}$	5,33	19,66	3,27	24,53	12

Pour l'ensemble des 25 parcelles nous avons 13 % de plantules qui ont levé et nous remarquons que dans le cas présent la levée de plantules ensachées (parcelles B et D) est supérieure à celle de plantules non ensachées (parcelles A, C et E).

La première mycorrhization a eu lieu 44 jours après le semis ; les plants avaient entre 2,5 et 2,8 cm de hauteur. La deuxième mycorrhization a été réalisée 3 semaines après. Les mycorrhizes commencent à se former sur les courtes racines de Pinus patula 2 à 3 mois après la germination.

1.3. Mensuration en hauteur.

Les mensurations en hauteur ont été faites lorsque les plants avaient 7 mois et 2 semaines. Pour chaque parcelle ayant ou dépassant 10 plants, nous avons mesuré la hauteur de 10 plants pris au hasard, puis calculé la moyenne. Pour les parcelles ne dépassant pas 10 plants, nous avons calculé la moyenne sur les plants qui s'y trouvaient. Les hauteurs moyennes pour les 25 parcelles sont données au tableau n° 3

Tableau n° 3 : Hauteur moyenne des plants de P. patula après 7 mois et 2 semaines exprimée en mm.

	A	B	C	D	E
1	46,5	32,5	50	69	93
2	50	69,4	58	78	90,4
3	54	60	64	68,2	99
4	58	63	32,5	64,1	103,3
5	57,5	60	65	62,8	93,1
somme	266	284,9	269,5	342,1	478,8
$\bar{X}$	53,2	56,9	53,9	68,42	95,76

Le tableau n° 4 donne l'analyse de la variance.

Tableau n° 4 : tableau d'analyse de la variance du carré latin (pour les chiffres cfr tableau n° 1).

						somme
	46,5	32,5	50	69	93	291
	69,4	58	78	90,4	50	345,8
	64	68,2	99	54	60	345,2
	64,1	103,3	58	63	32,5	320,9
	93,1	57,5	60	65	62,5	338,4
somme	337,1	319,5	345	341,4	298,3	somme totale 1641,3

Terme correctif C : $\frac{(1641,3)^2}{25} = 107.754,62$

SCE total : $(46,5)^2 + \ldots + (62,8)^2 - 107.754,62 = 8286,31$

SCE lignes : $\frac{(291)^2 + \ldots + (338,4)^2}{5} - 107.754,62 = 428,01$

SCE colonnes : $\frac{(337,1)^2 + \ldots + (298,3)^2}{5} - 107.754,62 = 301,1$

SCE traitements : $\frac{(266)^2 + \ldots + (478,8)^2}{5} - 107.754,62 = 6412,62$

Erreur résiduelle : 8286,31 - (428,01 + 301,1 + 6412,62) = 1144,58

Tableau n° 5 : Tableau résumant l'analyse de la variance du carré latin.

Sources de variation	d.l	SCE	CM	Fobs	F P=0,05	F 0,01	F 0,001
total	24	8286,31					
lignes	4	428,01	107,0025	1,12	3,26		
colonnes	4	301,1	75,275	0,78	3,26		
traitements	4	6412,62	1603,15	16,808	3,26*	5,41**	9,63***
erreur résiduelle	12	1144,58	95,38				

En conclusion une différence très hautement significative existe entre les traitements car Fobs est supérieur à F théorique au niveau P = 0,001.

Comparaison des 4 moyennes au témoin.

La différence entre la moyenne de l'échantillon témoin et la moyenne de l'un quelconque des échantillons doit être considérée comme significative lorsqu'elle est égale ou dépasse la valeur critique $d_1 - \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{2CMr}{n}}$. Cette valeur vaut dans notre cas $2{,}81\sqrt{\frac{2 \times 95{,}38}{4}} = 19{,}40$

B : 56,9 - 53,2 = 3,7 < 19,40
C : 53,9 - 53,2 = 0,7 < 19,40
D : 6842 - 53,2 = 15,22 < 19,40
E : 95,76- 53,2 = 42,56 > 19,40

Il en résulte que la parcelle E (terre de pinède prémycorrhizée mélangée à la terre ordinaire non en sachets) est significativement différente du témoin.

Comparaison de moyennes 2 à 2.

- Cas des parcelles B et C.

$$t_{obs} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{SCE_1 + SCE_2}{n(n-1)}}} = \frac{56,9 - 53,2}{\sqrt{\frac{1412,328}{20}}} = \frac{3}{8,40} = 0,35$$

La table t de Student donne pour t 0,975 et 8 d.l une valeur de 2,306, ce qui nous amène à conclure que les 2 moyennes ne diffèrent pas significativement au niveau P = 0,05.

- Cas des parcelles D et E.

$$t_{obs} = \frac{95,76 - 68,42}{\sqrt{\frac{93,168}{20}}} = \frac{27,34}{2,11} = 12,95$$

La table t de Student donne pour t 0,975 et 8 d.l une valeur de 2,306, ce qui nous amène à conclure que les 2 moyennes diffèrent significativement au niveau P = 0,05, E étant supérieur à D.

1.4. Mensuration en poids.

Deux plantules par parcelle ont été prélevées et pesées ; le poids moyen d'une plantule après 7 mois et 2 semaines est donné dans le tableau n° 6.

Tableau n° 6 : poids moyen des plantules de P. patula après 7 mois et 2 semaines exprimé en grammes.

	A	B	C	D	E
1	0,17	1,03	0,79	1,52	1,19
2	0,17	1,34	0,91	2,02	2,22
3	0,11	0,73	0,66	1,84	6,53
4	0,18	0,70	1,11	2,38	6,68
5	0,13	0,50	2,08	1,17	2,98
somme	0,76	4,3	5,55	8,93	19,60
$\bar{X}$	0,15	0,86	1,11	1,79	3,92

Le tableau d'analyse de la variance est donné dans le tableau n° 7.

Tableau n° 7 : Tableau d'analyse de la variance du carré latin (pour la disposition des chiffres cfr tableau n° 1).

						somme
	0,17	1,03	0,79	1,52	1,19	4,70
	1,34	0,91	2,02	2,22	0,17	6,66
	0,66	1,84	6,53	0,11	0,73	9,87
	2,38	6,68	0,18	0,70	1,11	11,05
	2,98	0,13	0,50	2,08	1,17	6,86
somme	7,53	10,59	10,02	6,63	4,37	somme totale : 39,14

Terme correctif C : $\frac{(39,14)^2}{25} = \frac{1531,94}{25} = 61,28$

SCE total : 130,99 - 61,28 = 69,71

SCE lignes : $\frac{333,02}{5} - 61,28 = 5,32$

SCE colonnes : $\frac{332,30}{5} - 61,28 = 5,18$

SCE traitements : $\frac{513,77}{5} - 61,28 = 41,48$

erreur résiduelle : 69,71 - (5,32 + 5,18 + 41,48)= 17,73

Tableau n° 8 : Tableau résumant l'analyse de la variance du carré latin.

Sources de variation	d.l	SCE	CM	Fobs	F 0,05	F 0,01
total	24	69,71				
lignes	4	5,32	1,33	0,90	3,26	
colonnes	4	5,18	1,30	0,88	3,26	
traitements	4	41,48	10,37	7,01	3,26 *	5,41 **
erreur résiduelle	12	17,73	1,48			

En conclusion une différence hautement significative existe entre les traitements car Fobs est supérieur à F théorique au niveau P = 0,01

Comparaison des 4 moyennes au témoin.

La valeur critique de ce test est égal à $d_1 - \frac{\alpha}{2}\sqrt{\frac{2\,CMr}{n}}$

Elle vaut dans le cas présent $2,81\sqrt{\frac{2 \times 1,48}{4}} = 2,41$

B : 0,86 - 0,15 = 0,71 $<$ 2,41
C : 1,11 - 0,15 = 0,96 $<$ 2,41
D : 1,79 - 0,15 = 1,64 $<$ 2,41
E : 3,92 - 0,15 = 3,77 $>$ 2,41

Il en résulte que la parcelle E est significativement différente du témoin.

Comparaison de moyennes 2 à 2.

- parcelles B et C

$$t_{obs} = \frac{1,11 - 0,86}{\sqrt{\frac{0,43 + 1,28}{20}}} = \frac{0,25}{0,29} = 0,86$$

La table t de Student donne pour t 0,975 et 8 d.l une valeur de 2,306 d'où il faut accepter l'hypothèse d'égalité des moyennes de B et C car elles ne diffèrent pas significativement au niveau P = 0,05

- parcelles D et E

$$t_{obs} = \frac{3,92 - 1,79}{\sqrt{\frac{0,86 + 25,60}{20}}} = 1,85$$

La table t de Student donne pour t 0,975 et 8 d.l une valeur de 2,306 d'où il faut accepter l'hypothèse d'égalité des moyennes de D et E car elles ne diffèrent pas significativement au niveau P = 0,05.

Il ressort de ceci que les moyennes des parcelles B et C ne diffèrent pas significativement en hauteur et en poids au niveau P = 0,05 ; quant aux moyennes de D et E, E s'est avéré supérieur à D en hauteur. Toutefois selon B. Boullard (1) le semis des graines de Pinus patula en sachets dans les pépinières l'emporte sur le semis en terre ordinaire surtout lors de la transplantation. En effet, toute technique, qu'elle s'appell plantation en mottes ou en sachets, faisant appel à un transport de substrat

autour du système racinaire du plant, doit supplanter la classique expédition à racines nues et ce tout spécialement dans le cas délicat des reboisements d'altitude ou du boisement de sols depuis longtemps dépourvus d'un couvert ligneux. A cela on voit divers avantages :

- les fines radicelles ne sont pas brisées comme c'est le cas pour une partie d'entre elles lors de l'arrachage pur et simple des plants.

- les méfaits de la dessication des racines courtes mycorrhizées ne sont pas à redouter avec les mêmes risques que dans le cas des systèmes racinaires exposés à l'air.

- dans le cas des sachets un bon arrosage des plants lors de leur installation met le reboiseur à l'abri des méfaits de quelques jours de sécheresse si néfaste lorsque l'on installe des sujets à racines nues.

1.5. Champignon efficace dans la mycorrhization.

Deux champignons Scleroderma citrinum et Boletus sp. rencontrés habituellement dans les pinèdes de Kisozi ont été testés dans le but de faire ressortir le meilleur champignon mycorrhizoformateur. Le dispositif expérimental comprenait 45 sachets par parcelle semés en graines de Pinus patula avec 5 répétitions. 5 parcelles ont été mycorrhizées à l'aide de spores de Scleroderma citrinum et 5 autres à l'aide de spores de Boletus sp. Après 4 mois de croissance, les hauteurs sont données dans le tableau n° 9 pour Scleroderma citrinum et dans le tableau n° 10 pour Boletus sp.

Les mensurations ont été faites sur 10 plants pris au hasard par parcelle.

Tableau n° 9 : Hauteur des plants de P. patula mycorrhizés à l'aide de spores de Scleroderma citrinum après 4 mois de croissance exprimée en mm.

N° plant \ Parcelle	A	B	C	D	E
1	40	40	35	30	40
2	50	45	40	50	45
3	35	55	40	35	35
4	40	35	35	45	40
5	40	45	40	35	35
6	40	40	35	35	50
7	40	40	40	40	35
8	35	40	25	40	40
9	40	35	40	45	40
10	35	40	35	40	45
-					
X	39,5	41,5	36,5	39,5	40,5

Moyenne générale : 39,5 mm

Tableau n° 10 : Hauteur des plants de P patula mycorrhizés à l'aide de spores de Boletus sp. après 4 mois de croissance exprimée en mm.

Parcelle / N° plant	A	B	C	D	E
1	55	40	45	55	45
2	50	45	40	50	55
3	40	45	55	55	45
4	35	45	50	50	40
5	40	40	45	45	50
6	50	40	45	50	45
7	45	45	50	45	50
8	30	40	50	45	55
9	40	45	40	40	40
10	35	35	40	50	45
$\bar{X}$	43	42	46	48,5	47

Moyenne générale : 45,3 mm.

Test d'égalité de 2 moyennes.

$$t_{obs} = \frac{45,3 - 39,5}{\sqrt{\frac{2,8 + 5,96}{20}}} = \frac{5,8}{0,66} = 8,78$$

La table t de Student donne pour t 0,975 et 8 d.l une valeur de 2,306, ce qui nous amène à rejetter l'hypothèse d'égalité des 2 moyennes, Boletus sp. étant donc plus efficace que Scleroderma citrinum au point de vue mycorrhization.

Chapitre 2. Analyse chimique de la teneur en éléments.

2.1. Introduction.

4 éléments chimiques : le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium ont été analysés pour vérifier s'il existe une différence entre un plant mycorrhizé et un plant non mycorrhizé quant à la teneur en ces éléments. 2 échantillons par parcelle ont été prélévés au hasard soit pour les 5 répétitions par traitement 10 échantillons. Ces 10 échantillons ont été mélangés, séchés à l'étuve, broyés et tamisés. La préparation d'un échantillon en vue de son analyse chimique s'opère comme suit :

- Peser 0,5 g de l'échantillon et le mettre dans un bécher à teflon.
- Ajouter 5 ml de HNO_3 concentré et chauffer très prudemment à sec.
- Ajouter 1 ml HF
  5 ml HNO_3
  4 ml $HClO_4$
- Chauffer à sec
- Ajouter 10 ml HNO_3 3,5 N et chauffer jusqu'à ce que le résidu soit disso
- Transvaser dans un tube de 20 ml et laver le bécher avec HNO_3 2,5 N jusqu'au volume de 20 ml.

2.2. Analyse du phosphore.

- Prendre 1 ml de l'échantillon nouvellement préparé
  1 ml de HNO_3 4 M
  1 ml d'une solution de vanadate d'ammonium
  1 ml de molybdate d'ammonium
- Jauger jusqu'à 10 ml avec de l'eau déminéralisée
- Attendre 30 minutes et mesurer au colorimètre.

Les résultats des 4 traitements et du témoin sont les suivants :

- parcelle A : 640 ppm.
- parcelle B : 1360 ppm.
- parcelle C : 1600 ppm.
- parcelle D : 4000 ppm.
- parcelle E : 4480 ppm.

2.3. Analyse du potassium.

L'analyse du potassium au spectrophotomètre d'absorption atomique donne les résultats suivants :

- parcelle A : 2400 ppm.
- parcelle B : 3400 ppm.
- parcelle C : 3900 ppm.
- parcelle D : 6400 ppm.
- parcelle E : 7200 ppm.

2.4. Analyse du magnésium.

L'analyse du magnésium au spectrophotomètre d'absorption atomique donne les résultats suivants :

- parcelle A : 284 ppm.
- parcelle B : 392 ppm.
- parcelle C : 360 ppm.
- parcelle D : 664 ppm.
- parcelle E : 608 ppm.

2.5. Analyse du calcium.

Le calcium s'analyse aussi au spectrophotomètre d'absorption atomique. Les résultats sont les suivants :

- parcelle A : 1320 ppm.
- parcelle B : 800 ppm.
- parcelle C : 920 ppm.
- parcelle D : 1680 ppm.
- parcelle E : 1760 ppm.

En conclusion nous constatons que les échantillons prélevés en B et en C sont plus ou moins égaux en ce qui concerne la teneur en P, K, Mg et Ca et que C semble l'emporter légèrement sur B. Il en est de même pour D et E où E l'emporte sur D. Quoiqu'il en soit les parcelles E et A diffèrent beaucoup en ce qui concerne la teneur en les 4 éléments analysés (cfr 2.2 ; 2.3 ; 2.4 ; 2.5.). La différence est plus élevée, par ordre de grandeur décroissant, pour le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium.

Chapitre 3. Analyse des propriétés du sol.

3.1. Introduction.

Le sol sur lequel a été installé le dispositif expérimental (carré latin), sol de prairie d'altitude a été analysé pour voir si les différences observées dans la croissance des plantules de Pinus patula ne seraient pas dues à quelques propriétés du sol tel que le pH, la conductivité le taux de matières organiques, la richesse minérale. Un échantillon de sol par traitement a été prélevé au hasard et analysé trois fois pour les éléments minéraux (P, K, Ca, Mg). Un échantillon nouveau constitué d'un mélange de sols des parcelles D et E a été analysé comme les 5 autres (cet échantillon sera dénommé F dans la suite). Le pH a été déterminé grâce à un pH mètre, la conductivité grâce à un conductimètre, la matière organique grâce à la perte au feu.

3.2. Mesure du pH.

La mesure du pH s'est faite au pH mètre avec une solution de KCl 0,1M qui donne le pHKCl et avec de l'eau distillée qui donne le PHeau. Les résultats sont donnés dans le tableau n° 11.

Tableau n° 11 : Tableau de mesure du pH.

parcelle	pHeau	$pH_{KCl\ 0,1M}$
A	4,3	3,90
B	4,3	4,0
C	4,4	3,95
D	4,3	3,95
E	4,3	4,0
F	4,4	3,8

3.3. Mesure de la conductivité (en micromhos).

La mesure de la conductivité se fait en utilisant un conductimètre, dont l'éléctrode plonge dans un mélange terre + eau déminéralisée. Le rapport sol/eau/est de 1/5 ou 1/10. Les résultats sont donnés dans le tableau n° 12.

Tableau n° 12 : Tableau de mesure de la conductivité du sol en micromhos.

parcelle	Conductivité
A	3,7
B	4,9
C	4,5
D	6,0
E	6,5
F	7,0

3.4. Mesure du taux de matières organiques.

Le dosage des matières organiques s'est effectué par calcination de la terre. La perte au feu représente la combustion des substances carbonées, donc des matières organiques. Le principe consiste à peser 1 g de sol, à le chauffer à 105° C pendant 2 heures pour évaporer toute l'eau contenue dans le sol, puis à le chauffer pendant 4 heures dans un four à 950° C. Les résultas sont donnés dans le tableau n° 13.

Tableau n° 13 : Tableau de mesure du taux de matières organiques exprimé en %.

parcelle	grammes de sol pesés	grammes de matières organiques après séchage à 950° C	% de matières organiques
A	1,0013	0,17960	17,9
B	1,0057	0,15640	15,5
C	0,9920	0,19930	20,0
D	1,0057	0,22750	20,6
E	1,0001	0,22240	22,2
F	0,9932	0,19970	20,1

3.5. Richesse minérale du sol.

Les éléments minéraux qui ont été analysés dans le sol sont les mêmes que ceux qui ont été analysés dans les plantules de Pinus patula. Il s'agit du phosphore, du potassium, du magnésium et du calcium. Chaque élément comme nous l'avions déjà dit dans l'introduction de ce chapitre a été analysé trois fois. Les résultats exprimés en ppm sont donnés dans le tableau n° 14.

Tableau n° 14 : Tableau de mesure des éléments minéraux du sol exprimés en ppm.

	K	Ca	Mg	P
A_1	7080	360	1896	6000
A_2	6520	280	1756	4840
A_3	7360	360	1916	5440
B_1	5160	320	1648	4960
B_2	6080	400	2316	6400
B_3	5080	320	2176	6400
C_1	9040	200	2408	5440
C_2	10.080	200	2224	6880
C_3	9640	400	2088	4960
D_1	3840	480	2052	6880
D_2	4440	400	1840	4080
D_3	4240	480	1724	7920
E_1	4880	880	1800	4960
E_2	7360	880	1800	5440
E_3	5680	840	1764	6000
F_1	6200	720	2028	7440
F_2	4960	560	1928	5440
F_3	7080	720	1888	5440

Conclusion générale.

Nous remarquons au terme de ce travail que des 4 techniques de mycorrhization que nous nous étions proposés la terre de pinède favorise exceptionnellement la croissance des plantules de Pinus patula (cfr tableau n° 3 et n° 6). L'analyse des propriétés du sol (cfr chap. 3) ne montre guère de différences quant à la valeur du pH, de la richesse minérale, mais elle en montre au niveau du taux de matières organiques (22,2 % pour la parcelle E contre 17,9 % pour la parcelle A et 15,5 % pour la parcelle B). La différence observée donc dans la croissance des plantules de Pinus patula pourrait être due à une richesse organique plus élevée que la terre de pinède aurait augmentée en D et en E.

Le manque de résultats significativement différents entre les parcelles B et C d'une part et A d'autre part après 7 mois et 2 semaines de croissance des plantules de Pinus patula pourrait trouver son explication dans les expériences faites en Asie (21) où on conclut : "Il est à signaler que les pins ne sont pas tous également sensibles au manque de mycorrhizes : Pinus khasya, Pinus merkusii et Pinus insularis sont les plus sensibles, Pinus caribaea et Pinus patula résistent beaucoup mieux. Leur croissance se trouve considérablement retardée, mais un assez fort pourcentage arrive à survivre. Les plants non contaminés en pépinière peuvent ainsi attendre sur le terrain la dissémination des spores de mycorrhizes avec le vent".

Quoiqu'il en soit, les résultats obtenus au tableau n° 3 et n° 6 ainsi qu'au chapitre 2 (2.2 ; 2.3 ; 2.4 ; 2.5) montrent que le meilleur emplacement d'une pépinière de Pinus patula est de l'installer au voisinage de peuplements préexistants de résineux. De tels peuplements constituent en effet des réserves de germes au niveau de leur litière. A la faveur de cette proximité on pourra aisément incorporer une partie d'humus du sous-bois au sol de la pépinière en cours d'élaboration et faciliter par là le développement des plantules de Pinus patula. Ca sera un moyen rapide de recoloniser les terres et de lutter efficacement contre l'érosion.

Références bibliographiques.

(1) Boullard Bernard. Les mycorrhizes. Paris, Masson. Collection de Monographie botanique et de biologie végétale 2. 135 p., 1968.

(2) Boullard Bernard et R. Moreau. Sol, microflore et végétation. Equilibres biochimiques et concurrence biologique p. 107-128, 1962.

(3) Bowen, G.D. Mycorrhiza inoculation in forestry practice. Austr. Forestry n° 29 p. 231-237, 1965.

(4) Caethoven V. Projet pilote de reforestation de 2000 ha. ISABU - Groupe forestier, p. 4-5, Février 1978.

(5) Dagnelie Pierre. Théorie et méthodes statistiques. Tome 2, 415 p.,1975.

(6) Debazac E.F., Manuel des conifères, p. 108, 1964.

(7) Donald D.G.M., Mycorrhizal inoculation for Pines. S.A. For Journal n° 92, p. 27-29, 1975.

(8) Harley J.L., The biology of mycorrhiza 1 vol., 233 p., London, 1959.

(9) Hiley W.E.,Conifers : South African Methods of cultivation, p.55-56,1959.

(10) Kafurera J., Introduction des Pins au Burundi. Mémoire de fin d'études, 1969.

(11) Loock E.E.M., The pines of Mexico and British Honduras; p. 228-230, 1947.

(12) Marais L.J. et Kotzé J.M., Ectomycorrhizae of Pinus patula as Biological deterrents to Phytophthora cinnamomi, S.A. For Journal, n° 99, p.35-38, 1976.

(13) Marais L.J. et Kotzé J.M., Notes on ectotrophic mycorrhizae of Pinus patula in South Africa, S.A. For Journal, n° 100, p. 61-71, 1977.

(14) Marais L. J. et Kotzé J.M., Mycorrhizal associates of P.patula in South Africa, S.A. For. Journal n° 92, p. 13-16, 1975.

(15) Marks G.C. and Kozlowski T.T., Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology, 1973.

(16) Pouilloux C., Etude du reboisement de la crête Zaïre-Nil (nov.1971 - juin 1975).

(17) Professor Sir Harry Champion. Exotic forest trees in the british commonwealth, R.J. Streets, M.A. p. 538, 1962.

(18) William B. Critchfield et Elbert L. Little, Jr. Geographic distribution of the Pines of the world, 1971.

(19) Annales de Phytopathologie : Les mycorrhizes endotrophes : état actuel des connaissances et possibilités d'application dans la pratique culturale, vol. 8, n° 3, I.N.R.A., p. 249-255, 1976.

(20) Effect of mycorrhizal fungi on the growth and nutrient status of slash and Radiata pine seedlings, Austr. Forestry, n° 35, p. 23-26, 1971.

(21) Les méthodes de plantations forestières en Asie tropicale, F.A.O., Rome, p. 40-43, 1957.

(22) Mycorrhizal responses of Radiata pine in experiments with different fungi, Austr. Forestry, n° 34, p. 183-190, 1970.

(23) Quelques remarques concernant les recherches sur les mycorrhizes ectotrophes du Pinus sylvestris et sur les champignons de celles-ci, Revue de mycologie, tome 38, Fasc. 1-2, p. 3-9, 1972.

(24) Les essences à croissance rapide à utiliser en plantations industrielles dans les pays en voie de développement. Unasylva, volume 19(4), numéro 79 1965.

TABLE DES MATIERES.

	Pages
Avant-propos	
Introduction	1 à 10
1. Les problèmes forestiers au Burundi	1 à 8
1.1. L'érosion	1
1.2. Les forêts naturelles	2
1.2.1. La forêt ombrophile	2
1.2.2. La forêt purement secondaire à Chlorophora excelsa	3
1.2.3. La forêt tropophile à Brachystegia spp.	3
1.2.4. La forêt liée aux sols hydromorphes	3
1.3. Les boisements	4
1.4. Nécessité de plantation d'essences à croissance rapide	5
2. Le Pinus patula Schl et Cham.	8 à 10
2.1. Origine et description botanique	8
2.2. Conditions pédoclimatiques de haute altitude à Kisozi	9
1ère partie : Généralités sur la mycorrhization	11 à 23
Chapitre 1 : Historique et importance sylvicole	11 à 16
1.1. Découverte de la mycorrhization	11
1.2. Développement de la mycorrhization en Afrique	12
1.3. Utilité de la mycorrhization	14
Chapitre 2 : Les mycorrhizes ectotrophes	16 à 23
2.1. Macromprphologie	16
2.2. Phanérogames formant les mycorrhizes ectotrophes	17
2.3. Champignons formant des mycorrhizes ectotrophes et ceux associés au P. patula en particulier	20
2.4. Structure des ectomycorrhizes	21
2.4.1. Techniques de fixation et de coloration	21
2.4.2. Coupe transversale de racines de P. patula	21
2ème partie : Techniques de mycorrhization	23 à 42
Chapitre 1 : Dispositif expérimental	23 à 37
1.1. Le semis de graines de Pinus patula	23
1.2. Le dispositif proprement dit	25

1.3. Mensuration en hauteur 27
1.4. Mensuration en poids 30
1.5. Champignon efficace dans la mycorrhization 34

Chapitre 2 : Analyse chimique de la teneur en éléments 37 à 39
2.1. Introduction 37
2.2. Analyse du phosphore 38
2.3. Analyse du potassium 38
2.4. Analyse du magnésium 38
2.5. Analyse du calcium 39

Chapitre 3 : Analyse des propriétés du sol 39
3.1. Introduction 39
3.2. Mesure du pH 40
3.3. Mesure de la conductivité 40
3.4. Mesure du taux de matières organiques 41
3.5. Richesseminérale du sol 41

Conclusion générale 43
Références bibliographiques 44 à 45
Table des matières 46 à 47