F00000 54

UNIVERSITE DE NANCY I

UER-PCB

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
Centre National de Recherches Forestières
(DAKAR-SENEGAL)

OFFICE DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Laboratoire de Biologie des sols

(DAKAR-SENEGAL)

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE NANCY I

pour obtenir

le grade de DOCTEUR-INGENIEUR en BIOLOGIE VEGETALE

par

Alphonse KABRE

MYCORHIZATION DE PINUS CARIBAEA (MORELET) VAR. HONDURENSIS DANS DIFFERENTS SOLS DU SENEGAL

Soutenue publiquement le 15 DECEMBRE 1982

devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

MM. F.MANGENOT — Président
Y. DOMMERGUES
L. LANIER — Examinateurs
F. LE TACON

Remerciements

Il m'est agréable d'exprimer ici, ma sincère reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Ma reconnaissance va tout d'abord, à :

Monsieur le Professeur F. MANGENOT, de l'Université de Nancy I, pour avoir accepté de présider ce jury et pour l'attention bienveillante qu'il a porté à la réalisation de cette thèse.

Monsieur Y. DOMMERGUES, Directeur de Recherches au CNRS, qui m'a accepté dans son laboratoire, à l' ORSTOM de Dakar, et dont le sens critique, les conseils et les encouragements m'ont été précieux pour la réalisation de ce mémoire.

Monsieur le Professeur J. DEXHEIMER, de l'Université de Nancy I et Monsieur L. LANIER, Professeur à l'ENGREF de Nancy, qui m'ont fait l'extrême obligeance de participer à ce jury.

Monsieur F. LE TACON, Maître de Recherches à l'INRA-CNRF de Nancy, qui m'a prodigué des conseils, de précieux encouragements et qui a souvent accepté de consacrer une partie de son temps à rechercher des solutions aux problèmes qui se sont posés à moi tout au long de la préparation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur H.G. DIEM, Maître de Recherches au CNRS (ORSTOM-Dakar) qui a suivi ce travail pas à pas et qui m'a beaucoup aidé par ses connaissances scientifiques, l'intérêt qu'il a bien voulu porter à mes résultats et les interprétations qu'il en a faites.

Je voudrais aussi remercier vivement Monsieur O. HAMEL, Directeur du CNRF/ISRA de Dakar qui a largement participé à la réussite de ce travail ; Monsieur M. BOUREAU, qui m'a fourni une aide efficace et désintéressée en ce qui concerne les documents photographiques et certaines techniques de laboratoire ; Monsieur F. CORNET qui, amicalement, a facilité mon séjour au Sénégal.

Je ne saurais oublier de remercier toute l'équipe du laboratoire de Biologie des Sols de l'ORSTOM ainsi que l'équipe du CNRF/ISRA de Dakar, pour leur amicale collaboration. Je tiens à remercier au même titre, Monsieur I. DIOP, pour la dactylographie et la présentation de ce mémoire.

Enfin, je remercie la Fondation Internationale pour la Science (STOCKHOLM, Suède) pour sa contribution financière à cette étude.

SOMMAIRE

Pages

INTRODUCTION 1

ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR LA SYMBIOSE MYCDRHIZIENNE ËN MILIEU TROPICAL

1 - INVENTAIRE DES ASSOCIATIONS ECTCJMYCORHIENNES NATURELLES 4

2 - ROLES DES ECTOMYCORHIZES DANS LES PLANTATIONS FORESTIERES TROPICALES 5

MATERIEL ET METHODES

1 - MATERIEL 7

il - Les sols 7

12 - Le matériel végétal : *Pinus caribaea* (Morelet) var. *hondurensis* 8

121 - Rappels généraux sur *Pinus caribaea* [pin des Caraïbes3 8

122 - Origine et provenance des graines 8

13 - Le matériel fongique : *Pisolithus tinctorius* (Pers) COKER & COUCH 9

14 - Les bactéries solubilisant les phosphates naturels : Thiobacilles 9

15 - Les éléments fertilisants 9

151 - Les éléments fertilisants solubles 9

152 - Les éléments fertilisants insolubles 10

2 - METHODES ET TECHNIQUES EMPLOYEES

21 - Désinfection des sols 10

211 - Autoclavage 10

212 - Fumigation au bromure de méthyle 10

22 - Germination des graines et conditions de culture du pin des Caraïbes 11

23 - Cultures de *Pisolithus tinctorius* 11

231 - Milieux de culture i l

232 - Conditîons de culture 13

24 - Méthode d'inoculation dans le sol - Conduite des expériences 13

25 - Paramètres retenus pour l'appréciation des effets des traitements étudiés 13

251 - Croissance en hauteur et production végétale 13

252 - Pourcentage d'infection 14

253 - Analyses chimiques des parties aériennes des plantes 15

- *Dosage de l'azote* 15

- *Dosage du phosphore* 17

- *Dosage des autres éléments* 18

RESULTATS

Chapitre I : OPTIMISATION DE LA CULTURE DE *PINUS CARIBAEA*

1 - INTRODUCTION 19

2 - MATERIEL ET METHODES POUR L'OBTENTION DE PLANTULES STERILES 19

3 - RESULTATS 21

4 - DISCUSSION 24

Chapitre II : 1 - ENTRETIEN ET MULTIPLICATION DE LA SOUCHE DE *PISOLITHUS TINCTORIUS*

1 - CULTURE DE *PISOLITHUS TINCTORIUS* EN FIOLES 26

11 - Objectifs de l'étude 26

12 - Etude de la croissance de *Pisolithus tinctorius* sur des milieux nutritifs gélosés ou non 26

121 - Matériel et méthodes 26

122 - Résultats 28

123 - Discussion 31

13 - Etude des effets de l'adjonction, ou non, de gélose dans le milieu de culture sur la production de boulettes mycéliennes de *Pisolithus tinctorius* 31

131 - Matériel et méthodes 31

132 - Résultats -- Discussion 33

2 - CULTURE DE *PISOLITHUS TINCTORIUS* EN FERMENTEUR : INFLUENCE DE L'AERATION SUR LA PRODUCTION DE BOULETTES MYCELIENNES DU CHAMPIGNON 33

21 - But de l'étude 33

22 - Matériel et méthodes 33
221 - Description sommaire du fermenteur 33
222 - Méthode de multiplication de *Pisolithus tinctorius* en fermenteur 34
23 - Résultats - Dîscusslon 37

II - COMPARAISON DE DIFFERENTES FORMES D'INOCULUM DE *PISOLITHUS TINCTORIUS*

1 - OBJET DE L'ETUDE 38
2 - MATERIEL ET METHODES 38
21 - Sol utilisé 38
22 - Matériel végétal 38
23 - Traitements étudiés 38
24 - Préparation des inoculums 39
241 - Inoculum produit selon la méthode de MARX et ZAK (1965) 39
242 - Inoculums sous forme de boulettes mycéliennes 39
25 - Inoculation et repiquage des plantes 40
3 - RESULTATS 40
4 - DISCUSSION 40

Chapitre III : ETUDE DU COMPORTEMENT DE *PINUS CARIBAEA* EN RELATION AVEC LA MYCORHIZATION ET LE TYPE DE SOL

1 - INTRODUCTION 44
2 - EXPERIENCE 1 : ETUDE DE L'EFFET DE LA TENEUR DU SOL EN P ASSIMILABLE 44
21 - But de l'expérience 44
22 - Matériel et méthodes 44
23 - Résultats 46
24 - Discussion 49
3 - EXPERIENCE 2 : COMPARAISON DE DIX SOLS DE' CASAMANCE 51
31 - Objet de l'expérience 51.
32 - Matériel et méthodes 53
33 - Résultats 53
34 - Discussion 61

Chapitre IV : INFLUENCE DE TROIS FACTEURS CHIMIQUES SUR L'ETABLISSEMENT DE LA SYMBIOSE ECTOMYCORHIZIENNE AVEC *PISOLITHUS TINCTORIUS*

INTRODUCTION 65

1 - INFLUENCE DU pH DU SOL SUR LE COMPORTEMENT DE JEUNES PLANTS DE *PINUS CARIBAEA* EN PRESENCE DE *PISOLITHUS TINCTORIUS* 65

11 - Objectif de l'étude 65

12 - Matériel et méthodes 66

13 - Résultats 67

131 - Sol de Dek 67

132 - Sol de Tendouk 67

14 - Discussion 70

2 - INFLUENCE DE LA FERTILISATION NPK 71

21 - Introduction et but de l'expérience 71

22 - Matériel et méthodes 72

23 - Résultats 73

231 - Effets sur la croissance en hauteur 73

232 - Effets sur le poids des plants 75

233 - Effets sur le développement des mycorhizes 75

234 - Effets sur la nutrition en N et P 78

24 - Discussion 70

3 - INFLUENCE DE DIFFERENTES FORMES ET DOSES DE PHOSPHATE 79

31 - Expérience 1 : Etude du comportement de *Pinus caribaea* mycorhizé, ou non, en présence de différentes formes et doses de phosphate 79

311 - But de l'expérience 79

312 - Matériel et méthodes 80

313 - Résultats 81

314 - Discussion 91

32 - Expérience 2 : Effets de l'inoculation de *Pinus caribaea* avec *Pisolithus tinctotius* et des Thiobacilles sur un sol amendé en phosphate naturel de Taïba 92

321 - Objet de l'étude 92

322 - Matériel et méthodes 92

323 - Résultats 93

324 - Discussion 101

Chapitre V : INHIBITION DE LA MYCORHIZATION ET DE LA CROISSANCE DE *PINUS CARIBAEA* PAR UNE MICROFLORE ANTAGONISTE

1 - INTRODUCTION - BUT DE L'EXPERIENCE 102

2 - TRAITEMENTS ETUDIES ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL 103

3 - RESULTATS 104

31 - Effets sur la croissance en hauteur 104

32 - Effets sur le poids total des plants 105

33 - Effets sur la mycorhization 105

34 - Effets sur la nutrition en N et P des plants 107

4 - DISCUSSION 110

CONCLUSIONS GENERALES 112

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

INTRODUCTION

En zone de savane ouest-africaine (1), le maintien du potentiel forestier et des équilibres naturels, la satisfaction des besoins toujours croissants en produits forestiers (bois d'oeuvre et d'industriel nécessitent, non seulement une orientation des recherches vers la sylviculture des principales espèces indigènes, mais, aussi, une étude des possibilités d'introduction, dans ces régions, de certaines espèces exotiques à croissance rapide. Parmi ces dernieres, on peut citer, entre autres, certaines espèces de *Pinus* comme P. *caribaea, P. oocarpa, P. merkusii* susceptibles de croître en milieu tropical. Cependant, comme toutes les espèces de la famille des Pinacées, ces arbres ne peuvent croître normalement que si leurs racines sont infectees par des champignons mycorhiziens te 1 s que *Pisolithus tinctorius* .
L'association résultant de cette infection engendre la formation de complexes appelés ectomycorhizes qui se caractérisent, principalement, par la présence, autour des apex racinaires, d'un manchon fongique dont la partie interne s'insinue entre les cellules de l'exocortex pour donner naissance à un réseau mycélien intercellulaire ou réseau de HARTIG (voir photos 1 et 2).

Avec *Pinus caribaea*, des essais d'introduction en savane ouest-africaine ont été réalisés avec: succès au Nigéria (cf. rapport FAO 1976 ; MOMOH et GBADEGESIN. 1980); en Côte d'Ivoire (FABRE, 19681 et au Ghana (OFOSU-ASIEDU, 1972, 19801.

111 D'après ONOCHIE (1976), cette zone concerne la Mauritanie, le Sénégal et la Gambie à l'ouest ; le Mali, certaines parties du Nord de la Guinée, de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Bénin ; de la Haute-Volta, du Niger jusqu'aux quatre cinquièmes du Nigéria septentrional, du Tchad et du Nord Carneroun.

En Basse Casamance, région sud du Sénégal et la plus favorable, du point de vue climatique (voir carte en annexe, figure 1), à la production de bois d'oeuvre et d'industrie, les tentatives d'introduction de *Pinus caribaea* ont débuté en 1966.

OELWAULLE Il9781 note que les résultats de ces essais n'ont pas été satisfaisants et pourraient être liés, entre autres hypothèses d'explication, à des problèmes de mycorhization. Il apparaissait donc intéressant de vérifier expérimentalement cette hypothèse. C'est ce que nous avons tenté d'effectuer ici.

Dans ce travail, nous nous sommes appliqués :

- à sélectionner, parmi les sols prélevés dans différentes stations du Sénégal, ceux pour lesquels la réponse à la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius* est la plus marquée ;

- à étudier, sur certains de ces sols, les facteurs régissant l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne et l'effet de celle-ci sur le comportement de *Pinus caribaea* ;

- à rechercher une technique de production massive et rapide d'inoculum de *Pisolithus tinctorius*.

Apres avoir rappelé brièvement les études antérieures sur les associations ectomycorhiziennes en milieu tropical, nous présentons, dans ce mémoire, les méthodes et techniques que nous avons employées et nous exposons ensuite les résultats que nous avons obtenus.

Les connaissances sur la symbiose ectomycorhizienne en milieu tropical ont été revues récemment par plusieurs auteurs parmi lesquels on peut citer REDHEAD (1979, 1980, 1982) ; MIKOLA (1980 a et b) ; BOWEN (1980) ; IVORY (1980). Aussi, nous insisterons, plus particulièrement dans ces rappels, sur les travaux concernant la zone de savane ouest-africaine, ainsi qu'elle a été définie dans l'introduction.

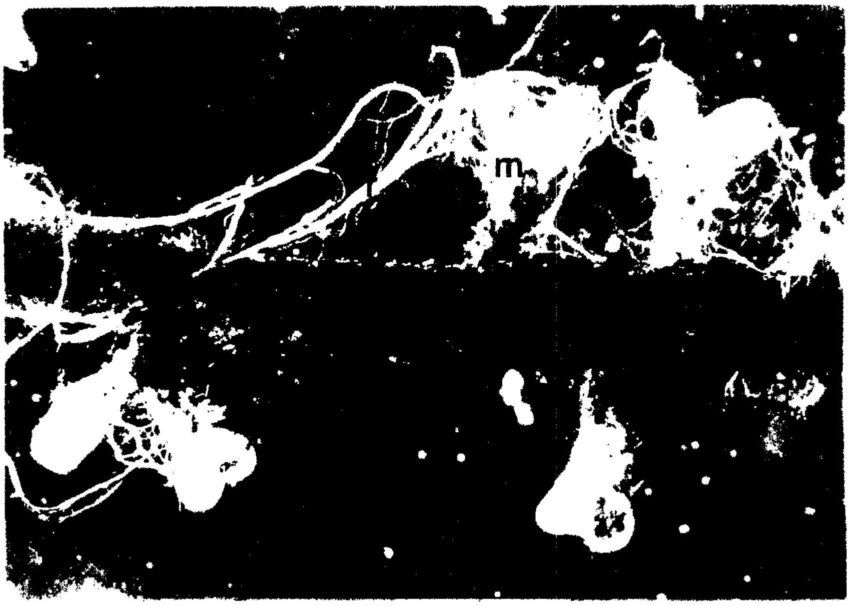
1 - INVENTAIRE DES ASSOCIATIONS ECTOMYCORHIZIENNES NATURELLES

Selon MEYER (1973), dans les pays tempérés, la majeure partie des espèces à vocation forestière sont ectomycorhizées. En revanche, dans les pays tropicaux, la proportion actuellement connue des espèces ligneuses ectomycorhizées est faible. En effet, REDHEAD (1980 a), au Nigéria, a observé que, sur 51 espèces végétales indigènes, 5 seulement sont ectomycorhizées. Sur 15 espèces exotiques examinées également par le même auteur, toutes se révèlent être endomycorhizées.

En Côte d'Ivoire, RAMBELLI a noté, en 1971, que très peu d'espèces forestières sont mycorhizées ; plus récemment, RIESS et RAMBELLI (1980) ont remarqué que les associations ectomycorhiziennes sont presque dix fois moins fréquentes que celles à endomycorhizes.

Ces observations sont en accord avec des résultats d'inventaires effectués dans d'autres régions tropicales et repris dans les travaux de REDHEAD (1979, 1980) et IVORY (1980).

Il se dégage, de toutes ces études, que les associations ectomycorhiziennes concernent, parmi les essences forestières tropicales, quelques espèces appartenant, notamment, à la famille des



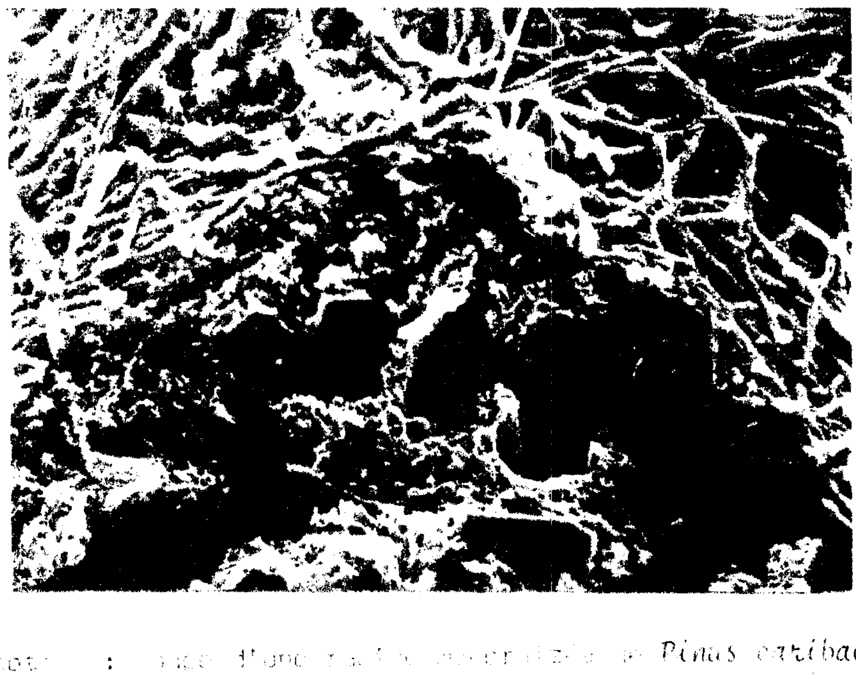


Photo : ... *Pinus caribaea* ... x 5000 ...

... manchon ...

ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR LA SYMBIOSE ECTOMYCORHIZIENNE EN MILIEU TROPICAL

Césalpinacées, des Diptérocarpacées et des Myrtacées, et que ce type d'association a une faible fréquence en milieu tropical. Sur ce dernier point, nos connaissances sont encore limitées et, pour expliquer cette observation, le facteur évoqué parmi d'autres est souvent la température du milieu ambiant. A ce sujet, DOMMERGUES et MANGENOT (1970) font remarquer qu'il y a une diminution de la mycorhization dans le cas où il y a élevation marquée de la température du sol résultant des actions comme, par exemple, les feux de brousse ou l'exposition des humus à une insolation directe et intense.

Par ailleurs, on connait peu de choses sur l'identité des champignons indigènes associés aux espèces ligneuses précitées, en raison du fait que ces champignons n'ont pas pu être isolés jusqu'à présent.

2 - RÔLES DES ECTOMYCORHIZES DANS LES PLANTATIONS FORESTIERES TROPICALES

Dans ce domaine, bien que plusieurs auteurs icf. MIKOLA, 1980 a) aient très tôt remarqué l'importance des champignons ectomycorhiziens dans l'introduction de nouvel les espèces forestières en zone tropicale, nos connaissances, ainsi que l'ont souligné MIKOLA (1980 b) ; IVORY (1980) ; BOWEN (1980) ; TRAPPE (1981) et d'autres, sont actuel lement limitées , Néanmoins, nous pouvons retenir que des expérimentations en pépinière ou sur le terrain avec *Pinus caribaea*, conduites au Nigéria (EKWEBELAM, 1973, 1980 ; ODEYINDE et EKWEBELAM, 1974 ; MOMOH et GBADEGESIN, 1980), au Ghana (OFOSU ASIEDU, 13801, en Ouganda (CHAUDRY, 1980) montrent que les mycorhizes stimulent la croissance et améliorent la nutrition minérale de ces arbres. Des résultats analogues ont été enregistrés dans des études consacrées à diverses espèces de pins tropicaux et menées dans d'autres régions.

Il n'y a presque pas d'études consacrées à la mise en évidence des effets (autres que ceux précédemment développés) des ectomycarhizes en zone tropicale. Cependant, on peut espérer que, dans les années à venir, on pourra approfondir les connaissances actuelles. En effet, depuis quelques années, sous l'impulsion des nombreux travaux de MARX et de ses collaborateurs, on s'applique, dans certaines régions tropicales où l'on envisage l'implantation des pins, à sélectionner le champignon mycorhlzien efficace et aaapté aux conditions Locales, ce qui n'était pas le cas auparavant. Ces afforts devraient permettre d'expliquer certains points actuellement peu ou pas connus.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL ET METHODES

i - MATERIEL

11 - LES SOLS

Nous avons utilisé, dans nos expériences, des sols qui, pour la plupart, ont été prélevés en Casamance et à Bambey, c'est-à-dire clans des régions respectivement situées au sud et au centre-ouest du Sénégal (voir annexe, figure 2). Les prélèvements ont été effectués entre 5 et 15 cm de profondeur. Les analyses physico-chimiques correspondantes ont été effectuées par le laboratoire d'analyses de l'ORSTOM de Dakar.

Les sols de Casamance que nous avons utilisés sont classés comme suit, selon MAIGNIEN (1965) :

. Diemberring, Kabrousse : sols peu évolués d'apports peu hydromorphes sur levées sableuses. Ces cols sont généralement assez humifères en surface sur 10 à 20 cm ;

. Diakène : sol hydromorphe moyennement organique, sol humique à gley de surface sur vase marine ;

. Santiaba-Manjak, Bignona, Tobor, Tendouk, Diégoune, Bayottes, Djibélor : sols faiblement ferralitiques modaux sur grès sablo-argileux. Ce sont des sols assez sableux, fragiles, à texture argileuse vers 50 - 70 cm de profondeur.

Dans le cas des sols provenant de Bambey, le sol Dior est classé dans le groupe des sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable, tandis que celui de Dek est défini commé étant un sol à hydromorphie temporaire de surface sur sable et marne calcaires.

Les sols utilisés dans notre étude sant passés dans un tamis de 2 mm et autoclavés à 120°C pendant 1 heure ou fumigués au bromure de méthyle (BM) à 98 % et chloropicrine 3 %.

12 - LE MATERIEL VEGETAL : PINUS CARIBAEA (MORELET) VAR. HONDURENSIS

Nos travaux ont porté sur *Pinus caribaea* (Morelet) var. *hondurensis*, une des rares espèces de pins dont l'adaptation, aux régions de basse altitude et de climats chauds, a été démontrée dans diverses études (LAMB, 1957 ; LAMB 1973, cité par YELLMAN et HUDSON, 1982 ; KEMP, 1970).

121 - RAPPELS GENERAUX SUR *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS* (PIN DES CARAIBES)

Ce pin est originaire du Honduras Britannique, du Nicaragua et du Guatémala . Dans ces régions, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 26°C, les températures minima les et maximales enregistrées sont respectivement de 5°C et; de 35°C.

Dans son aire d'origine, *Pinus caribaea* bénéficie d'une pluviométrie comprise entre 1200 et 1800 mm et la durée de la saison sèche est estimée à 4 - 5 mois. Il est considéré comme essence de pleine lumière et se rencontre à des altitude:; de 0 à 900 m. Le Pin des Caraïbes est également considéré comme une espèce rustique, calcifuge, capable de coloniser des sols relativement pauvres. En sol argileux, on pense qu'il peut s'adapter à condition que la structure du sol ne

152 - LES ELEMENTS FERTILISANTS INSOLUBLES

Ce sont :

- le phosphate naturel de Taïba (Sénégal). le phosphate naturel D'après TRUONG BINH et *al.* (1978) , c'est un phosphate tricalcique contenant 16 % de P. Il est constitué essentiellement d'apatites contenant, elles-mêmes, du calcium, du phosphate et un troisième

13 - LE MATERIEL FONGIQUE : *PISOLITHUS TINCTORIUS* (PERS.) COKER & COUCH

~Nous avons disposé de trois souches de collection qui nous sont été aimablement fournies par Mr. LE TACON du CNRF de Nancy (France). Ces souches ont été isolées, soit à partir de racines mycorhizées de *Pinus taeda* ou de *Quercus sp.*, soit à partir d'un carpophore du champignon ILE TACON, communication personnelle]. De ces différents isolats, notre choix a porté sur celui obtenu à partir du carpophore , à cause de sa croissance plus rapide sur les différents milieux de culture classiques.

14 - LES BACTERIES SOLUBILISANT LES PHOSPHATES NATURELS : THIOBACILLES

Nous avons employé Une culture enrichie en thiobacilles. Cette culture nous a été fournie par Mr. OLLIVIER (ORSTOM, Dakar). L'enrichissement, d'après OLLIVIER (1981), a été réalise par percolation d'un sol provenant de la Station INRA ce Guadeloupe, avec le milieu de culture défini par ALLEN 11953) et composé comme suit : soufre : 10 g ; NH_4Cl : 0, 1 g ; $NaHCO_3$: 1 g ; $Na_2HPO_4.2H_2O$: 0,2 g ; $MgCl_2\ 6H_2O$: 0 , 1 g ; eau distillée : 1000 ml. Le sol enrichi en thiobacilles a, ensuite, été mélangé à de la vermiculite stérile dans les proportions 1/5 (v/v) pour l'inoculation des plantes.

15 - LES ELEMENTS FERTILISANTS

Les éléments fertilisants, que nous avons utilisés au cours de notre travail, peuvent être classés en deux types : les formes solubles et les formes insolubles .

151 - LES ELEMENTS FERTILISANTS SOLURLES

Il s'agit, principalement :

- pour l'azote, du sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$;
- pour le phosphore, du supertriple à 45 % de P_2O_5 ;
- pour le potassium, du chlorure de potassium KCl.

152 - LES ELEMENTS FERTILISANTS INSOLUBLES

Ce **sont :**

- le phosphate naturel de Taïba (Sénégal). le phosphate naturel D'après TRUONG BINH et *al.* 1'13781, c'est un nhosphate tricalcique contenant 16 % de P. Il est constitué essentiellement d'apatites contenant, elles-mêmes, du calcium, ou phosphate et un troisième élément qui peut être un groupement hydroxyle (OH), le fluor (F) ou le chlore (Cl) ; ou le chlore
- le phytate de calcium ($C_6H_{18}P_6O_{24}$, Sigma n° P 5253), phosphate organique, est un sel de calcium de l'acide phytique. Il contient 28,1 % de P.

Ces différents éléments solubles ou insolubles ont été mélangés au sol avant le remplissage dans les gaines de plastique.

2 - METHODES ET TECHNIQUES EMPLOYEES

21 - DESINFECTION DES SOLS

211 - AUTOCLAVAGE

Les sols sont introduits dans des sacs en toile de jute ou dans des pots en terre cuite (contenance 1 litre) et autoclavés à 120°C pendant une heure.

24 - FUMIGATION AU BROMURE DE METHYLE

Pour la fumigation au bromure de méthyle (BM), les sols, humidifiés à la capacité au champ, sont mis dans des bacs plastique (dimensions 87,5 cm x 54,5 cm x 22,5 cm) remplis à moitié ou en tas sur une bâche plastique (cas des grandes quantités) que l'on recouvre d'une autre bâche. Les bords de la bâche de couverture sont enfouis

dans le sol (préalablement humidifié) de façon à assurer l'étanchéité. On injecte le BM au travers de la bâche, à raison de 75 g/m2 (soit 375 mg/kg de sol) et on obstrue l'orifice à l'aide d'un ruban adhésif. Deux jours après le traitement, on défait la bâche supérieure et le sol est laissé trois semaines environ à l'air avant d'être mis dans des gaines de plastique (dimensions à plat : 12 cm x 25 cm ou 30 cm x 12 cm).

22 - GERMINATION DES GRAINES ET CONDITIONS DE CULTURE DU PIN DES CARAIBES

Les graines de pin sont désinfectées en surface (voir chapitre I) et disposées ensuite, snit dans des boîtes de Pétri contenant de l'eau gélosée à 0,9%, soit dans des bacs remplis de sable préalablement stérilisé à l'autoclave à 120°C pendant une heure. Les graines sont, ensuite, mises à germer à l'obscurité. Cès que la plupart d'entre elles a germé, le matériel est transféré en serre et arrosé quotidiennement à l'eau de robinet. Le repiquage desplantules n'est effectué que 4 à 5 semaines après le début de la germination.

23 - CULTURE DE *PISOLITHUS TINCTORIUS*

231 - MILIEUX DE CULTURE

Nous avons couramment utilisé les milieux de culture de MELIN NORKKRANS, modifié par MARX (1969), de PACHELEWSKI (1974), de MODESS, modifié par ZAK et RRYAN 119631 et, occasionnellement, les milieux de DDDOUX (1957), de malt à 1,5 % utilisé par KIFFER (1974). La composition de ces milieux est regroupée au tableau 1.

Le pH des milieux est ajusté à 5,4 - 5,5, à l'aide de solutions de HC1 N/10 ou de KOH N/10 avant la stérilisation à l'autoclave (120°C, 20 minutes).

Tableau 1 : Composition des milieux nutritifs pour champignons, pour un litre d'eau distillée

Produits utilisés	Milieux nutritifs DUDOUX (1957)	PACHLEWSKI (1974)	MODESS, modifié par ZAK et BRYAN (1963)	MEUU-NORKRANS, modifié par MARX (1969)
Substrats azotés — Asparagine	0,50 g			
Substrats azotés — Hydrolisat de caséine	1,0 g			
Substrats azotés — Tartrate de NH_4		0,50 g		
Substrats azotés — NH_4Cl			0,50 g	
Substrats azotés — $(NH_4)_2HPO_4$				0,25 g
Substrats carbonés — Extrait de malt	8,0 g	5,0 g	5,0 g	3,0 g
Substrats carbonés — Glucose	7,0 g	20,0 g	5,0 g	10,0 g
Substances minérales — $MgSO_4\ 7H_2O$	0,50 g	0,50 g	0.50 g	0,15 g
Substances minérales — KH_2PO_4	0,50 g	1,0 g	0,50 g	0,50 g
Substances minérales — NaCl				0,025g
Substances minérales — $CaCl_2$				0,05 g
Vitamines — Bécozyme Roche (*)	ml			
Vitamines — Thiamine HCl		50 mg		100 mg
Oligo-éléments — Citrate ferrique à 1 %		0,5 ml	5 gouttes	1,2 ml
Oligo-éléments — Zn $SO_4\ 7H_2O$ au 1/500		0,5 ml		
Autres substrats — Gélose	15,0 g	15,0 g	15,0 g	15,0 g

(*) Bécozyme Roche : une ampoule de 2ml contient :

- Riboflavine (phosphate) 4mg — Pyridoxine 6 mg — Nicotinamide 40 mg
- Pantothénnl 6 mg — Thiamine 10 mg — Phénol 10 mg

232 - CONDITIONS DE CULTURE

Pour multiplier les souches de collection de *P. tinctorius*, nous avons déposé, dans chaque fiole (cas des cultures sur milieux nutritifs non gélosés) et dans chaque boîte de Pétri (cas des cultures sur milieux nutritifs gélosésl, respectivement 1 et 3 fragments de 4 mm environ de côté, d'une culture mycélienne pure. Les cultures sont ensuite placées dans une étuve réglée à 30°C.

24 - METHODE D'INOCULATION DANS LE SOL - CONDUITE DES E!XPERIENCES

Au moment du repiquage des plantules de pin dans les gaines de plastique, les inoculums (cultures pures mycéliennes, ou inoculum de sol mycorhizienl sont introduits dans un trou de profondeur 10 cm environ. Apres insertion des racines des plantules dans le trou, pendant les trois premiers jours, on arrose abondamment (deux fois 50 ml environ d'eau de robinet par plant! pour tasser le sol.

Les pins ainsi traites sont placés en serre ou en pépinière. En serre, ils sont arrosés quotidiennement (25 à 30 ml d'eau de robinet apportés en une seule fois). En pépinière, les pins sont arrosés deux fois par jour à l'aide d'un arrosoir ou d'un pulvérisateur et, au début de leur séjour, protégés contre l'ensoleillement par des ombrières. Celles-ci sont enlevées dès que la reprise des pins est jugée satisfaisante.

25 - PARAMÈTRES RETENUS FOUR L'APPRÉCIATION DES EFFETS DES TRAITEMENTS ETUDIÉS

251 - CROISSANCE EN HAUTEUR ET PRODUCTION VEGETALE

En fin d'expérience, on a relevé, dans chaque traitement, les paramètres suivants :

. la hauteur des plantes,

. le poids de matière sèche des parties aériennes et des racines (après séchage jusqu'au poids constant : 72 heures à 60°C).

252 - POURCENTAGE O'INFECTION

Pour quantifier l'infection mycorhizienne, nous avons déterminé, dans la plupart des essais. le pourcentage de mycorhization et, dans des cas particuliers, nous avons évalué le pourcentage de longueur racinaire infectée. Ces paramètres ont été déterminés sur un échantillonnage limité : 10 racines latérales par plant (ou répétition]. Compte tenu du nombre de répétitions (5 à 6 suivant les cas), nous avons observe 50 racines latérales au minimum pour chaque traitement.

Le pourcentage de mycorhization a été détermine comme suit : les racines latérales sont. prélevées au hasard sur le système racinaire de chaque plant et observées à la loupe binoculaire (Gr x 12), en comptant le nombre de racines courtes mycorhizées et celui des racines non mycorhizées. Pour les racines courtes mycorhizées, nous n'avons pris en compte que celles qui sont entourées d'un manchon mycélien visible, comme l'ont fait, entre autres, HARLEY et WAID (cites par GAY, 1978), MARX et BRYAN (1971). D'autre part, il est bien connu que, chez les pins, certaines mycorhizes se ramifient dichotomiquement plusieurs fois pour donner naissance à des mycorhizes dites coralloïdes . Aussi, afin de faciliter le comptage des racines mycorhizées, nous nous sommes référés aux travaux de HATCH (1937), en comptant pour 1 toute racine courte mycorhizée, sans tenir compte de leur éventuelle ramification. Les valeurs, ainsi obtenues, sont transformées, si nécessaire, par la fonction $Arc\ sin \sqrt{pourcentage}$ (GOMEZ et GOMEZ, 19761 et soumises au test de DUNCAN (1955).

Le pourcentage de longueur racinaire infectée, ou pourcentage de longueur de racine latérale effectivement colonisée par le champignon, a été relevé pour tenir compte de l'importance des mycorhizes coralloïdes. La procédure de détermination de ce paramètre est semblable à celle employée par MARX et ZAK (1965) pour l'estimation de la longueur de racines courtes mycorhizées.

Pour notre part, nous avons préalablement calculé, sur un échantillon de 11 racines prises au hasard, la droite de régression dont l'équation est $y = 11,81\ X + 29,26$ et de coefficient $h = 0,98$. La lettre X désigne le poids moyen [poids de matière sèche en mg) des racines myccfrhizées et la lettre y la longueur moyenne de ces racines (en mm) (voir figure II. A l'aide de cette droite, et connaissant le poids de matière sèche de racines courtes mycorhizées (x) prélevées sur plusieurs racines latérales quelconques de longueur connue (z), il nous est possible de déduire la longueur de racine effectivement colonisée par le champignon (y). Le calcul du rapport $(\frac{y}{z})\ \mathbf{x}\ 100$ nous donne le pourcentage de longueur racinaire infectée.

253 - ANALYSES CHIMIQUES DES PARTTES'AERIENNES DES PLANTES

Nous avons réalisé principalement les dosages de l'azote et du phosphore ; ceux des autres éléments (potassium, calcium, magnésium...) ont été effectués par le laboratoire de Mr. LE TACON, au CNRF de Nancy. De ce fait, nous ne décrirons ici que les méthodes que nous avons effectivement employées :

- Dosage de l'azote

Nous avons dosé cet élément par la méthode de KJELDAHL modifiée par RINAUDO (1970). On apporte, dans un matras, 20 mg de matériel végétal finement broyé et homogénéisé. On verse dans le matras 1 ml de H_2SO_4 pour analyse, puis on le dépose sur une rampe à minéralisation. On chauffe jusqu'à La disparition des fumées blanches, ensuite le matras est retiré

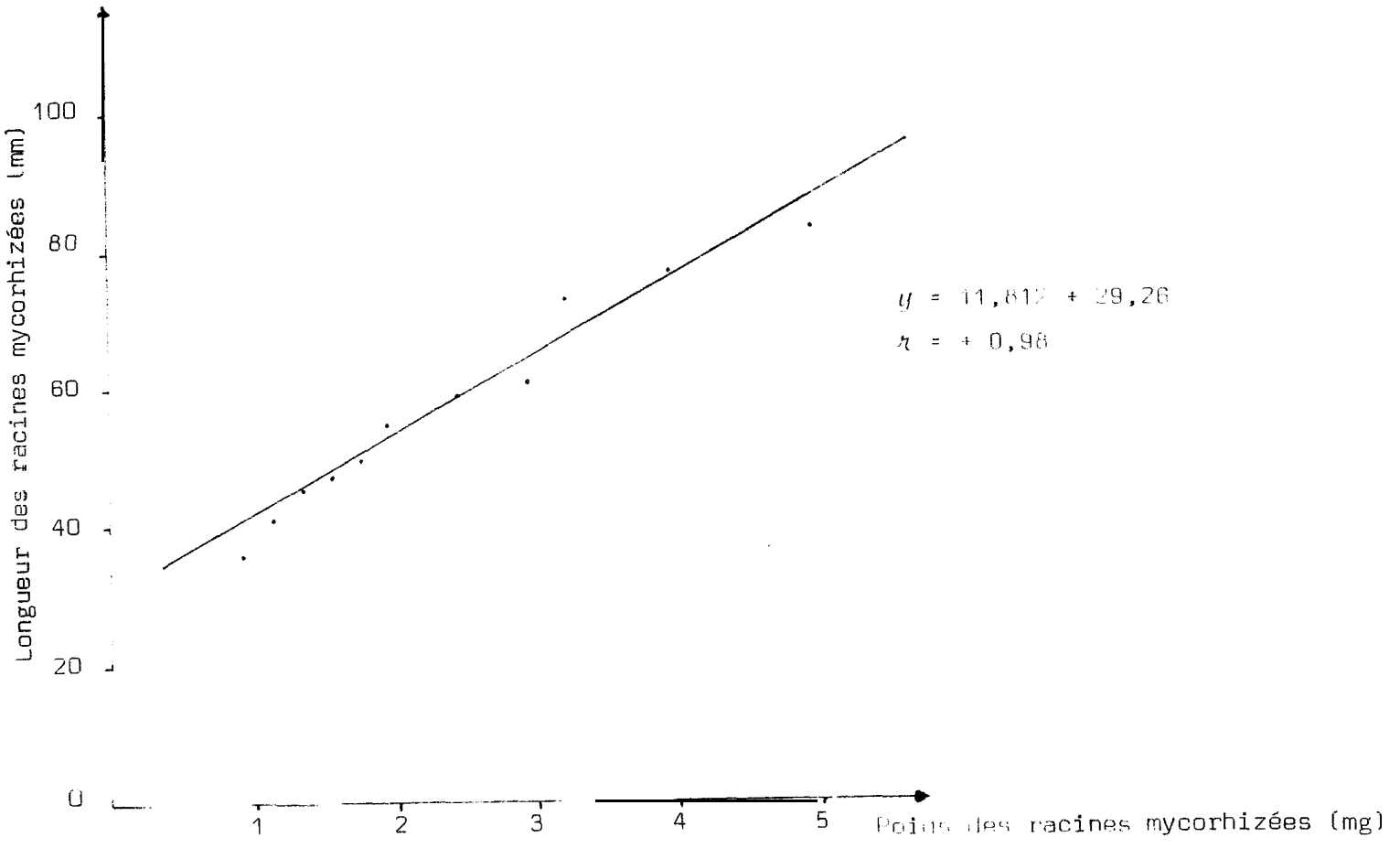


Figure 1 : Droite de régression entre le poids de matière sèche et la longueur des racines mycorhizées

de la rampe à minéralisation et on le laisse refroidir. Après, on y ajoute quelques gouttes (15 à 25 gouttes? de H_2O_2 à 30 % pour analyse et on chauffe à nouveau le matras sur la rampe à minéralisation. On attend 3 à 5 minutes environ et, normalement, la solution se décolore complètement. S'il n'en est pas ainsi, on retire le matras, on le laisse refroidir, on rajoute quelques gouttes de H_2O_2 à 30 % et on reprend le chauffage jusqu'à décoloration complète de la solution de minéralisation.

Une fois ce résultat obtenu et après refroidissement, le contenu du matras est neutralisé par 5 ml de NaOH 10 N. L'extrait est distille dans un appareil de PARNAS WAGNER et, à l'aide du réactif de TASHIRO (Bleu de méthylène à 0,70 % dans l'alcool à 95° : 1 volume ; Rouge de méthyle à 0,15 % dans l'alcool à 95 % : 5 volumes], on dose l'ammoniaque formé par titrimétrie avec HC1 N/70.

. Dosage du phosphore

La minéralisation s'effectue en ajoutant, à 100 mg de poudre de matériel végétal contenue dans un matras, 3 ml de HNO_3RP. A l'aide d'un entonnoir bouché par une bille en verre, on ferme le matras pour éviter l'évaporation de la solution, puis on chauffe modérément sur une rampe à minéralisation pendant 30 minutes. Au bout de ce délai, on porte à ébullition pendant 2 heures et on laisse refroidir. La solution est éclaircie en ajoutant 0,5 ml de $HClO_4$RP. On évapore à sec et on laisse refroidir à nouveau le matras avant de recueillir le résidu dans 3 ml de HNO_3RP. On ajuste le minéralisat à 25 ml avec de l'eau distillée. Le phosphore est dosé par colorimétrie (λ = 470 nm) à l'aide d'un mélange équivolumétrique réalisé seulement au moment de l'emploi et composé de métavanadate d'ammonium à 0,25 % et de molybdate d'ammonium à 5 % (JACKSON, 39641.

. Dosage des autres éléments

Le potassium est dosé par spectométrie d'émission atomique. Le calcium, le magnésium, le manganèse, le fer, le zinc et le cuivre par spectométrie d'absorption atomique. Le détail de ces méthodes a été décrit par CLEMENT(1977).

RESULTATS

CHAPITRE 1

OPTIMISATION DE LA CULTURE DE PINUS CARIBAEA

1 - INTRODUCTION

Il est bien connu que le taux de germination des graines de nombreuses espèces végétales est affecté, entre autres, par le mode et la durée de conservation des graines. Pour *P. caribaea*, les observations effectuées en Guyane Française (POTDEVIN, 1980) indiquent que le taux de germination est de 90 % pour des graines âgées de deux à quatre mois, et de 40 % seulement pour des graines de plus d'un an. Pour ce pin également, DE LA MENSBRUGE (1969) note que la germination des graines est assez étalée et peut se poursuivre jusqu'à la fin du troisième mois après le semis.

Nous avons utilisé, au cours de notre travail, des lots de graines de *P. caribaea* âgées de plus d'un an et dont les pourcentages de germination, déterminés au laboratoire par le Centre Technique Forestier Tropical (France), sont de l'ordre de 40 %. Ces pourcentages ayant été obtenus dans des conditions suboptimales , il est probable, qu'en pépinière nu en serre [conditions semi-naturelles), ils soient plus faibles encore. C'est pourquoi, il nous a paru utile de rechercher une méthode qui permette d'obtenir, en deux ou trois semaines, le maximum de germinations.

2 - MATERIEL ET METHODES POUR L'OBTENTION DE PLANTULES STERILES

L'origine et la provenance des graines utilisées dans cette étude ont été définies dans le paragraphe 11 (voir Matériel et Méthodes).

Quatre agents stérilisants ont été testés. Il s'agit de l'eau oxygénée (H_2O_2) à 30 %, de l'hypochlorite de calcium (CaClO) à 0,7 %, du chlorure mercurique ($HgCl_2$) à 0,1 % et de l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4).

A - H_2O_2 130 %)

Nous avons désinfecte les graines de pin à l'eau oxygénée, en nous référant aux procédures suivies par MEJSTRIK et KRAUSE (1973) et par MARX et BRYAN (1970).

Dans la procédure suivie par MEJSTRIK et KRAUSE(1973), les graines sont desinfectées superficiellement à l'eau oxygénée à 3C % pendant 30 minutes et rincées plusieurs fois à l'eau stérile.

Dans la procédure suivie par MARX et BRYAN (1970), les graines sont trempéss dans l'eau oxygénée à 1 % et conservées pendant cinq jours à 5°C. Ensuite, elles sont désinfectées superficiellement à l'eau oxygénée a 30 % pendant 20 minutes et rincées plusieurs fois à l'eau stérile.

B - CaClO (0,7 %)

Cette procédure a été employée par CHU CHOU (1979) et se 'déroule en deux étapes qui sont :

- 1ère étape : soumettre les graines à un lavage continu à l'eau de robinet pendant deux heures, ensuite les tremper trois secondes dans l'alcool à 95 %, puis 20 minutes dans CaClO CO,7 %). Rincer plusieurs fois et les conserver dans de l'eau stérile à 4 - 5°C pendant 12 heures.
- 2ème étape : tremper les graines deux minutes dans CaClO (0,7 %) ; rincer plusieurs fois à l'eau stérile.

C - $HgCl_2$ (0,1 %)

Nous avons adopté le temps de stérilisation qui a donné les meilleurs résultats dans les travaux de GAY (1978) : trempage des graines 48 heures dans de l'eau distillée à 4°C, puis traitement au $HgCl_2$ 0,1 % pendant trois minutes et rinçages à l'eau stérile.

D - H_2SO_4

Les graines sont trempées deux à trois minutes dans H_2SO_4 concentré et rincées plusieurs fois à l'eau stérile.

Dans chacune de ces diverses modalités, les graines traitées ont été mises à germer dans les conditions exposées au paragraphe 22, page 13 .

3 - RESULTATS

Comme l'indiquent les tableaux 2 et 3, que ce soit sur eau gélosée à 0,9 % ou sur sable stérilisé, l'acide sulfurique et, à un degré moindre, le chlorure mercurique appliqués pendant deux à trois minutes permettent d'obtenir un pourcentage moyen de germination et une désinfection superficielle des graines de *Pinus caribaea* plus satisfaisants que l'hypochlorite de calcium ou l'eau oxygénée.

Si nous considérons, selon le définition de COME (1962 a), l'énergie de germination ou temps moyen de germination (obtenu par le calcul suivant : $E = \frac{a_1b_1 + a_2b_2 + \ldots + a_nb_n}{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}$ où $b_1, b_2 \ldots$ bn désignent. dans l'ordre, le nombre de graines germées aux temps $a_1, a_2 \ldots a_n$) des graines, on constate qu'avec l'acide sulfurique, les graines du pin des Caraïbes germent beaucoup plus vite qu'avec les autres stérilisants. C'est pourquoi, nous avons décidé de traiter les graines à l'acide sulfurique.

Tableau 2 : Tests de germination sur eau gélosée (0,9%) des graines de *Pinus caribaea*, suivant différentes méthodes de stérilisatinn.

TRAITEMENTS	Nombre de graines testées	% de graines contaminées	% de graines germées	Energie de germination (en jours 1 *
Témoin	200	100.0	27.5	20.2
H_2O_2 30% (méthode de MEJSTRIK et KRAUSE, 1973)	200	22.5	24.1	21.2
H_2O_2 30% [méthode de MARX et BRYAN, 1970)	200	12.5	25.1	20.7
CaClO (0,7%)	200	44.0	26.7	22.4
$HgCl_2$ (0,1%)	200	51.5	33.5	19.2
H_2SO_4 (95%)	200	9.0	51.0	11.9

Chaque valeur est la moyenne de 4 répétitions

* d'après COME (1962a), l'énergie de germination peut être exprimée par le temps moyen de germination obtenu par le calcul suivant : $\bar{t} = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + \ldots a_n b_n}{a_1 + a_2 + \ldots a_n}$

b_1 ; b_2 ; b_n désignent, dans l'ordre, le nombre de graines germées aux temps a_1 ; a_2 ; an

Tableau 3 : Tests de germination sur sable stérilisé des graines de *Pinus caribaea*, suivant différentes méthodes de stérilisation.

TRAITEMENTS	Nombre de graines testées	% de graines germées	Energie de germination (en jours) *
Témoin	200	24.5	24.2
CaClO (0,7%)	200	27.5	22.7
$HgCl_2$ (0,1%)	200	30.5	18.2
H_2SO_4	200	59.0	14.7

Chaque valeur est la moyenne de 4 répétitions.

* d'après COME (1962 a), l'énergie de germination peut être exprimée par le temps moyen de germination obtenu par le calcul suivant : $E = \frac{a_1b_1 + a_2b_2 + \ldots + a_nb_n}{a_1 + a_2 + \ldots + a_1}$

b_1 ; b_2 ; b_n désignent, dans l'ordre, le nombre de graines germées aux temps a_1 ; a_2 ; a_n

4 - DISCLJSSION

Etant donné l'intervention de divers facteurs (origine, provenance, durée et conditions de stockage des graines1 d'une part, et en 1 'absence d'observations (non effectuées, faute de temps1 relatives à L'influence de la température sur la germination des graines de *Pinus cari baea*, d' autre part, nos résultats doivent être Interprétés avec prudence . Néanmoins, nous pouvons souligner que nos observations sont similaires à celles rapportées par certains auteurs (SPAETH, 1932 a ; MEGINNIS, 1935, sur des graines de *Robinîa pseudoacacia* ; LARSEN, 1925, sur des graines de *Pînus monticola* et MAC DONOUGH et CHADWICK, 1970, sur des graines de diverses plantes). HARTLEY, 1912, cité par BALDWIN (19423, a obtenu une amélioration de germination de plus de 55 % en utilisant de l'acide sulfurique pour désinfecter les graines de diverses essences résineuses.

Avec l'acide sulfurique, nous avons obtenu une amélioration de germination de plus de 50 % dans les tests que nous avons réalisés. De plus, par rapport au traitement témoin, le temps moyen de germination est avancé de 10 jours environ lorsque l'on traite les graines du pin des Caraïbes à l'acide sulfurique.

GAY (1978), étudiant l'influence de la concentration et du temps d'application du chlorure msrcurique sur la désinfection des graines de *Pinus halepensis*, a montré qu'aux concentrations de 0,2 % et 0,1 % appliquées respectivement pendant 1 à 3 minutes, le chlorure mercurique permet une bonne désinfection, Dans notre cas, comparativement à l'acide sulfurique, le chlorure mercurique à 0,1 %, appliqué pendant 3 minutes, donne de moins bons résultats. A cette concentration et malgré un temps d'application de 30 minutes, TOOLE et DRUMMOND, 1924, cités par BALDWIN (1942), travaillant sur des graines de coton, ont noté la présence de *Rhizopus*. Selon ces auteurs, avec le chlorure mercurique, on ne peut

maîtriser l'attaque des moisissures que si la germination des graines est rapide. Un autre Inconvénient de ce produit est son action toxique sur les graines, ainsi que le mentionne BALDWIN (39421, d'après les travaux effectués en 3930 par LLJNDERGARDH, BURSTROM et EKSTRAND.

Contrairement à OUGGAR et DAVIS (19191, cités par BALDWIN (1942), qui ont trouvé l'hypochlorite de calcium plus satisfaisant que d'autres produits pour la désinfection et l'augmentation de germinations, SPAETH et AFANASIEV (1939), étudiant les effets de ce produit sur des graines de sept espèces ligneuses, ont montré qu'il provoquait un retard de germination dans tous les cas. Dans nos travaux, la méthode à l'hypochlorite de calcium donne des résultats équivalents à ceux obtenus dans le traitement témoin.

Avec l'eau oxygénée, contrairement aux observations de SIHANONTH et *al.* (19821, le pourcentage de germination obtenu dans notre étude est équivalent à celui du traitement témoin, Cependant, il est intéressant de noter que ce produit permet une bonne désinfection superficielle des graines.

CHAPITRE II

I - ENTRETIEN ET MULTIPLICATION DE LA SOUCHE DE PISOLITHUS TINCTORIUS

1- CULTURE DE PISOLITHUS TINCTORIUS EN FIOLES

11 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude est double. Il s'agit, d'abord, de tester, pour la multiplication et la production d'inoculum de *P. tinctorius*, différents milieux nutritifs classiques, afin de choisir celui sur lequel la croissance du champignon est meilleure. Ensuite, il s'agit d'étudier, sur le milieu qui aura été choisi, les effets de l'adjonction, ou non, de faibles quantités de gélose sur la production de boulettes mycéliennes de *P. tinctorius*, en vue d'étudier ultérieurement la croissance de ce champignon en fermenteur.

12 - ETUDE DE LA CROISSANCE DE P. TINCTORIUS SUR DES MILIEUX NUTRITIFS GELOSES OU NON

121 - MATERIEL ET METHODES

Nous avons déjà défini la composition des milieux nutritifs que nous utilisons [voir tableau, page 15 1 et nous avons décrit partiellement les conditions de culture au paragraphe 232 (page 16). De ce fait, seuls les points ci-après seront précisés ici :

- matériel utilisé : boites de Pétri garnies de 20 ml de milieu nutritif gélosé et fioles de 150 ml contenant 50 ml de milieu nutritif liquide ;

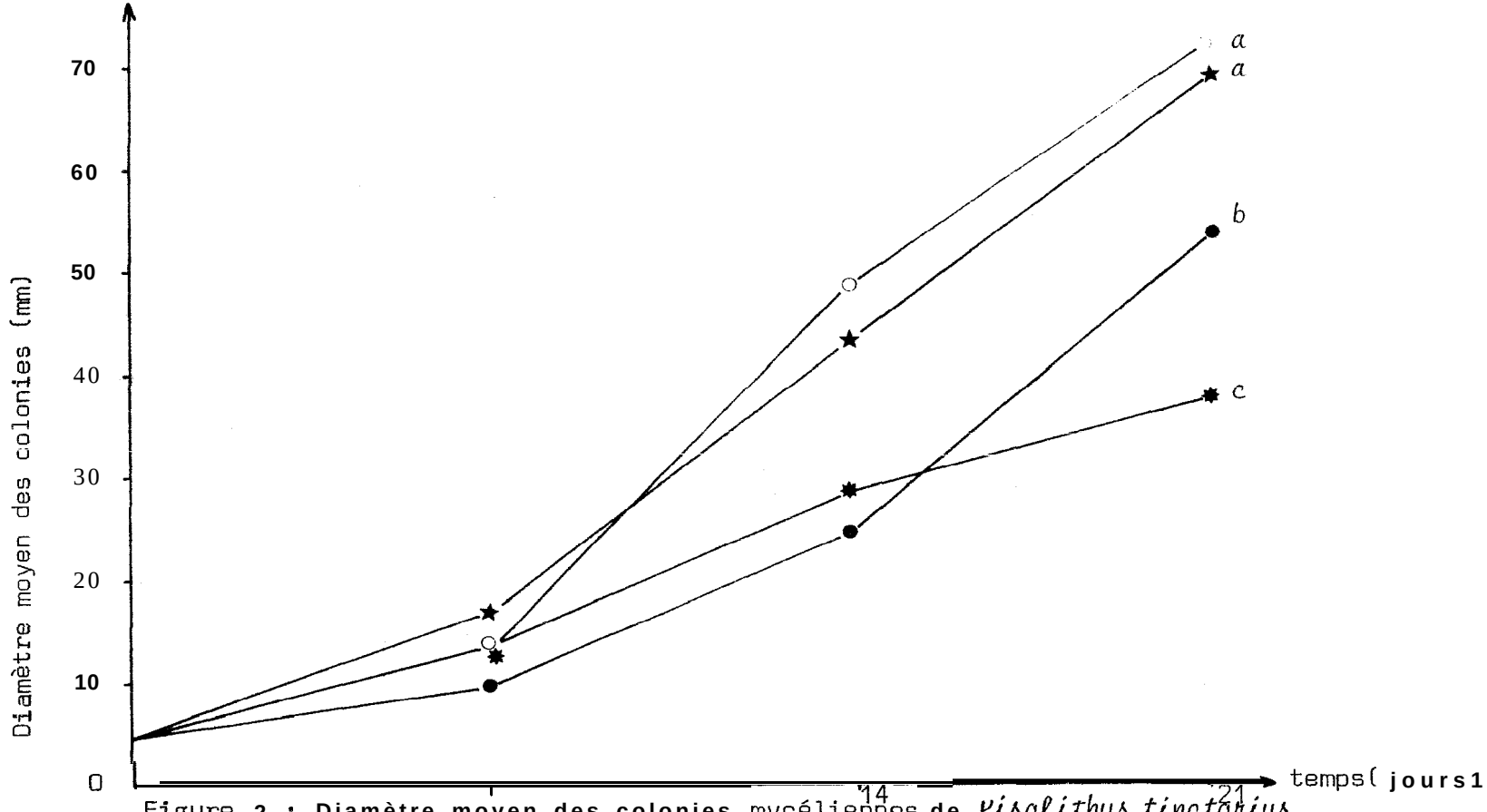


Figure 2 : Diamètre moyen des colonies mycéliennes de *Pisolithus tinctorius* au bout de 3 semaines de culture sur différents milieux gélosés.

- milieu de MODESS, modifié par ZAK et BRYAN (1963)
- " de MELIN-NORKRANS, modifie par MARX (1969)
- " de PACHLEWSKI (19/4)
- " de ODDOUX (1957)

- Chaque traitement est la moyenne de cinq répétitions
- Les points associes à la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de DUNCAN (1955)

- diamètre et âge des boutures mycéliennes repiquées en début d'expérience : 4 mm (environ 1,3 mg) et 10 jours ;

- temps de culture : étude sur milieux gélosés : 3 semaines et, sur milieux liquides : 4 semaines (ces délais correspondent aux temps où la croissance du champignon était maximale sur le milieu qui lui était le plus favorable) ;

- caractères relevés pour l'appréciation de la croissance du champignon :

  , diamètre des colonies sur milieux gélosés, relevé une fois par semaine ;

  , poids du mycélium [exprimé en matière sèche au milligramme près) en fin d'expérience et après lavage une heure à l'eau de rohinet et séchage douze heures à 105°C dans le cas des cultures en milieux liquides ;

  , nombre de répétitions par milieu nutritif étudié : cinq.

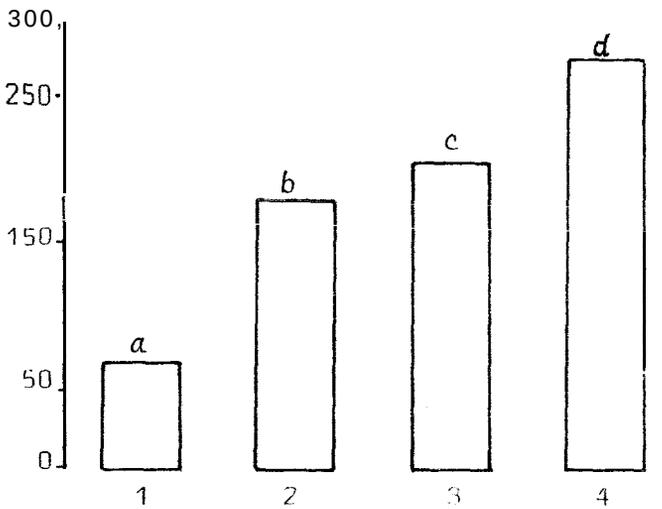
122 - RESULTATS

* *Cultures sur milieux gélosés*

La figure 2 indique que la croissance de *P. tinctorius* est meilleure sur les milieux de MODESS, modifié par ZAK et BRYAN 11963) et MELIN - NQRKRANS, modifié par MARX (1969). Sur les milieux de PACHLEWSKI (1974) et de ODDOUX (1957), la croissance est moins bonne : elle est significativement différents au seuil de 5 %, d'après le test de DUNCAN (1955) de celle obtenue dans les deux premiers milieux.

* *Cultures sur milieux liquides*

Le poids de mycélium de P. *tinctorius* est significativement plus important (seuil de 5 % d'après le test de DUNCAN, 1955) sur le milieu de PACHLEWSKI (1974) que sur les autres milieux que nous avons étudiés [voir figure 3). Sur ce milieu, le pH a baissé de plus d'une unité (tableau 41



1 : milieu d'ODDOUX (1957)

2 : milieu de MODESS, modifié ZAK et BRYAN (1963)

3 : milieu de MELIN-NORKRANS, modifié par MARX (1969)

4 : milieu de PACHLEWSKI (1974)

- Chaque valeur est la moyenne de 5 répétitions
- Les poids obtenus diffèrent significativement (au seuil de 5 %) lorsqu'ils ne sont pas indexés de la même **lettre**

Figure 3 : Poids de mycelium (matière sèche en mg/50 ml de milieu nutritif) de *Pisolithus tinctorius*, sur différents milieux nutritifs liquides

- Résultats après 4 semaines de culture -

Tableau 4: Variation du pH des milieux nutritifs liquides après environ quatre semaines de culture de *Pisolithus tinctorius*.

VALEUR DU pH	ODDOUX (19571	PACHLEWSKI (19741	MODESS, modifié par ZAK et BRYAN (1963)	MELIN-NORKRANS, modifié par MARX, 1969
début de l'expérience	5.0	5.4	5.0	5.5
fin de l'expérience	4.8	4.0	4.3	4.7

123 - DISCUSSION

Nos résultats montrent que, sur le milieu de ODDOUX (1957), la croissance de *P. tinctorius* est faible, Sur les milieux de PACHELEWSKI (1974) ou de MODESS, modifié par ZAK et ERYAN (1963), la croissance de *P. tinctorius* est variable selon que ces milieux sont gélosés ou non. La croissance de *P. tinctorius* a été satisfaisante sur le milieu de MELIN-NORKRANS, modifie par MARX 119691, ce qui est en accord avec les résultats de MARX (1969) et justifie que nous ayons choisi ce milieu pour les études que nous présenterons ci-après.

13 - ETUDE DES EFFETS DE L'ADJONCTION, OU NON, DE GELOSE DANS LE MILIEU DE CULTURE SUR LA PRODUCTION DE BOULETTES MYCÉLIENNES DE P. TINCTORIUS

131 - MATERIEL ET METHODES

Dans cette étude, nous avons employé La procédure suivante : 25 ml de milieu nutritif de MELIN - NORKRANS, modifié par MAFX (1969) avec ou sans gélose et un barreau aimanté, sont mis dans des fioles de 100 ml. Après stérilisation à l'autoclave (20 minutes à 120°C), nous avons déposé, aseptiquement et Fragment.6 sur agitateur magnétique, une rondelle mycélienne de *P. tinctorius* que nous avons découpée à l'aide d'un emporte-pièce de 4 mm de diamètre. Le poids sec d'une ronde1 le mycélienne préalablement débarrassée du milieu de culture est de 1,3 mg environ (valeur moyenne de 6 répétitions). Ensuite, nous avons placé les fioles sur une table d'agitation (vitesse de rotation : 130 - 150 tours/minute) installée dans une chambre de culture à 30 ± 2°C.

Trois traitements ont été étudiés, ce sont :

- milieu de culture sans gélose ;

Tableau 5 : Influence de la gélose sur la production de boulettes mycéliennes de *Pisolithus tinctorius*.

Résultats obtenus après 3 semaines de culture avec agitation

Quantité de gélose(g/l)	pH initial	Pdç sec de mycélium (mg)	pH fina
0	5,6	230,4 ± 23,0	4,8
0,5	5,6	407,8 ± 26,7	3,9
1	5,6	417,5 ± 17,9	3,7

- Les valeurs ci-dessus indiquées représentent la moyenne de trois répétitions.

- milieu de culture à 0,05 % de gélose ;
- milieu de culture à 0,1 % de gélose,

La gélose utilisée est du Bacto-agar (DIFCO). Chaque traitement a été répété trois fois. Nous avons arrêté cette étude après dix jours de culture.

132 - RESULTATS - DISCUSSION

Nous avons remarque que les meilleurs résultats (Tableau 5) sont obtenus avec des milieux de consistance assez molle (0,05 % et 0,1% de gélose). Ces résultats sont à rapprocher de ceux obtenus par ODDOUX (1957) qui a montré que certains champignons ont une meilleure croissance sur des milieux légèrement solidifiés à la gélose.

2 - CULTURE DE P. TINCTORIUS EN FERMENTEUR : INFLUENCE DU L'AERATION SUR LA PRODUCTION DE BOULETTES MYCELIENNES DU CHAMPIGNON

21 - BUT DE L'ÉTUDE

Des techniques de culture de champignons mycorhiziens ou non ont été décrites dans des travaux récents comme ceux de RAIMBAULT et ALAZARD (1980), SMITH (1982), JUNG et MUGNIER (travaux non publiés). Notre intention dans la présente étude est de rechercher les conditions d'aération suboptimales permettant d'obtenir des grandes quantités de cultures mycéliennes pures de P. *tinctorius* utilisables telles qu'elles ou en mélange avec de la tourbe-vermiculite stérilisée comme nous le verrons plus loin, pour l'incculatinn des pins en pépinière.

22 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

221 - DESCRIPTION SOMMAIRE DU FERMENTEUR

Nous avons utilisé le fermenteur de marque "BIOLAFITTE". Les éléments qui le composent et que nous avons utilisés pour notre étude

peuvent être sommairement décrits con-une suit : le corps du fermenteur se compose d'une cuve en pyrex de contenance 20 litres montée dans un châssis-support et recouverte d'une platine sur laquelle sont montés :

- une entrée et une sortie d'air raccordées à des filtres d'air garnis de coton ;
- des raccords stérilisables à la flamme pour l'inoculation ou le prélèvement de culture.

L'alimentation en air est assurée par une pompe à air de débit maximum 420 litres/heure,

222 - METHODE DE MULTIPLICATION CIE *P. TINCTORIUS* EN FERMENTEUR

La méthade que nous avons utilisée dérive de celle mise au point récemment par JUNG et MUGNIER (travaux non publiés1 pour la culture d'*Hebeloma cylindrosporum*. Elle permet d'obtenir des boulettes mycéliennes du champignon que l'on cultive et les deux étapes qu'elle comporte sont les suivantes :

. première étape : obtention de précultures mycéliennes

Les précultures sont obtenues dans les fioles de 2 litres remplis avec 1000 ml de milieu MELIN - NORKRANS, modifié par MARX (1969), contenant 1 g de gélose. Après stérlisation à l'autoclave (20 minutes à 120°C), nous avons déposé, dans une enceinte stérile, quatre rondelles (diamètre 3 cm environ] de cultures mycéliennes âgées de dix jours. Celles-ci sont fragmentées sur agitateur magnétique pendant trois à quatre heures, Après cette opération, les fioles sont mises dans les conditions de cultures définies dans le paragraphe 131 (page 36). Au bout de dix jours, des boulettes mycéliennes de 2 à 3 mm de diamètre (photo ci-contre] se sont formées. Elles sont fragmentées à l'aide d'un barreau aimanté et la suspension ainsi obtenue utilisée pour l'inoculation du fermenteur.

. deuxième étape : culture en fermenteur

Le fermenteur, de contenance 20 litres, est rempli aux trois quarts avec le même milieu que dans la première étape. Après la stérili-

[illegible] : [illegible]ulettes mycéliennes [illegible] *Pisolithus tinctorius*
produites en fermenteur

échelle 1 cm = [illegible] µm

Tableau 6 Influence de l'aération sur la production de mycélium de *Pisolithus tinctorius* cultivé en fermenteur.

Débit d'air (litres/heure)	Poids sec de mycélium (mg/litre de milieu)	pH en début de culture	pH en fin de culture
50	247	5,4 - 5,5	4,9
80	988	5,4 - 5,5	4,5

sation du milieu et en conditions aseptiques, nous avons Inoculé le fermenteur avec 1000 ml ce suspension mycélienne, ce oui correspond à 150 mg environ,

Après inoculation, le fermenteur est placé dans une chambre de culture 2 30 ± 2°c. Nous avons étudié la croissance de *P. tinctorius* en fsrmenteur en fonction de l'aération 4 50 et 90 litres environ par heure. La durée de la culture a été de dix jours dans chaque cas.

3 - RESULTATS - DISCUSSION

Le tableau 6 indique que la croissance de P. *tinctorius* en Sermenteur est meilleure lorsque le milieu de culture est bien aéré (90 litres par heure). Lorsque l'on considère le poids sec de mycélium obtenu en fin de culture, nous constatons qu'il est quatre fois plus important avec 90 qu'avec 50 litres par heure. Parallèlement à cette croissance satisfaisante, nous avons remarqué, en fin de culture, que la valeur du pH du milieu nutritif est diminuée de presque une unité. Vette observation est en accord avec celle de HACSKAYLO et *al*. (1965).

En conclusion, nos résultats, bien que préliminaires, confirment ceux obtenus récemment par JUNG et MUGNIER (communication personnelle), par SMITH (1982) qui ont montré que la culture de champignons ectomycorhiziens en fermenteur est une technique à développer. En effet, cette technique permet, non seulement de multiplier ces champignons en grandes quantités, mais encore, de réduire considérablement le temps habituellement nécessaire pour leur culture. Cependant, nous n'oublions pas que nous n'avons étudié qu'un seul facteur et que de nombreux autres peuvent aussi favoriser la croissance des champignons ectomycorhiziens en culture pure comme, par exemple, les sucres (cf. PALMER, 1969 ; PALMER et HACSKAYLO, 1970 ; HACSKAYLO, 1973 ; LAMB, 1974 ; TAN et NOPAMORNBODT, 1979) les vitamines (SASEK et MUSILEK, 1969).

II - COMPARAISON DE DIFFERENTES FORMES D'INOCULUM DE PISOLITHUS TINCTORIUS

1 - OBJET DE L'ETUDE

Les résultats précédents montrent que l'on peut obtenir, en quelques jours, un développement abondant de mycélium de *Pisolithus tinctorius*. La question qui se pose maintenant est de savoir si ces cultures mycéliennes peuvent être utilisées telles quelles ou en mélange réalisé extemporanément avec un support inerte comme inoculum pour la mycorhizatian des pins en milieu tropical, C'est ce que nous avons essayé de vérifier dans la présente étude.

2 - MATERIEL ET METHODES

21 - SOL UTILISÉ

Nous avons réalisé cette expérience sur sol de Tendouk fumigué au bromure de méthyle. Ce sol contient 'Il *ppm* de P assimilable et 670 *ppm* de N total ; les autres propriétés physiques et chimiques de ce sol figurent en annexe, dans le tableau 2.

22 - MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les graines de *Pinus caribaea* ont été désinfectées superficiellement à l'acide sulfurique et mises à germer dans du sable stérilisé (chapitre 11.

23 - TRAITEMENTS ÉTUDIÉS

Nous avons étudié les traitements suivants :

- plantes non inoculées (témoin absolu) ;

- plantes inoculées avec des cultures mycéliennes obtenues selon la méthode mise au point, en 1965, par MARX et ZAK (inoculum M Z) ;
- plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes mélangées juste avant l'inoculation à de la tourbe-vermiculite stérilisée (inoculum B M T V) ;
- plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes seules (inoculum B M).

Chaque traitement a été répété six fois.

24 - PRÉPARATION DES INOCULUMS

241 - INOCULUM PRODUIT SELON LA METHODE DE MARX et ZAK (1965) (INOCULUM 'M Z)

Nous 1 'avons produit dans des fioles de 250 ml contenant un mélange de vermiculite retenue au tamis de 2 mm (145 ml?, de la tourbe fine (5 ml? et de solution nutritive de MELIN - NORKRANS, modifiée, en 1969, par MARX (100 ml). Après stérilisation à l'autoclave (20 minutes à 120°C), nous avons déposé, en conditions aseptiques, dans les fioles, deux carrés (environ 1 cm de côté) de culture mycéliennes de trois semaines d'âge obtenues en boite de Petri. Les fioles sont ençuite placées à l'étuve (30°C) jusqu'à ce que le support de culture soit entièrement colonisé par le champignon, c'est-à-dire quatre à six semaines environ.

242 - INOCULUMS SOUS FORME OE BOULETTES MYCELIENNES (INOCULUM B M ET INDCULUM B M T V)

Les boulettes mycéliennes sont obtenues à partir de cultures réalisées en fermenteur (page 38). Elles ont été lavées plusieurs fois à l'eau de robinet avant d'être utilisées telles quelles ou en mélange avec de la tourbe-vermiculite (5 ml de tourbe fine et 145 ml de vermiculite passée au tamis de 2 mm) humidifiée à l'eau et que nous avons préalablement stérilisée à l'autoclave 120 minutes à 120°C).

25 - INOCULATION ET REPIQUAGE DES PLANTES

Nous avons inoculé et repiqué les plantules de pin quand elles étaient âgées de 4 semaines avec 20 cm^3 de chaque forme d'inoculum. Le traitement témoin a reçu la même quantitf d'un mélange tourbe-vermiculite humidifié à l'eau et préalablement stérilisé à 1 'autoclave. L'expérience a été arrêtée au bout de quatre mois.

3 - RESULTATS [figure 4 et tableau 7]

La croissance en hauteur et le poids des parti es aériennes ou des racines ries pins inocules avec des cultures mycéliennes obtenues selon la méthode de MARX et ZAK (1965) sont équivalents à ceux des pins inoculés avec des boulettes mycéliennes incorporées au moment de l'inoculation des plantes à de la tourbe vermiculite stérilisée. Avec les boulettes mycéliennes seules, la hauteur des pins est significativement plus importants que celles des pins ayant reçu l'inoculum produit suivant ?a méthode de MARX et ZAK (1965), mais, il n'en est pas ainsi lorsque l'on considère le poids des parties aériennes ou des racines des plantes.

En ce qui concerne les pourcentages de racines mycorhizées, ils sont significativement plus élevés chez les pins inoculés avec des boulettes mycéliennes mélangées juste avant l'inoculation à de la tourbe-vermiculite qu'avec les autres formes d'inoculums que nous avons testées.

4 - DISCUSSION

Nos résultats montrent que l'inoculum B M T V (boulettes mycëliennec tourbe-vermiculite) et, à un degré moindre. i'inoculum B M (houlettes mycéliennes) sont au moins aussi satisfaisants que l ' inoculum M Z (inoculum produi t se ion la rnéthode de MARX ot ZAK, 196[illegible]). Autrement dit, que l'on peut obtenir une bonne croissance e-c une mycorhizatîor satisfaisante chez les pins

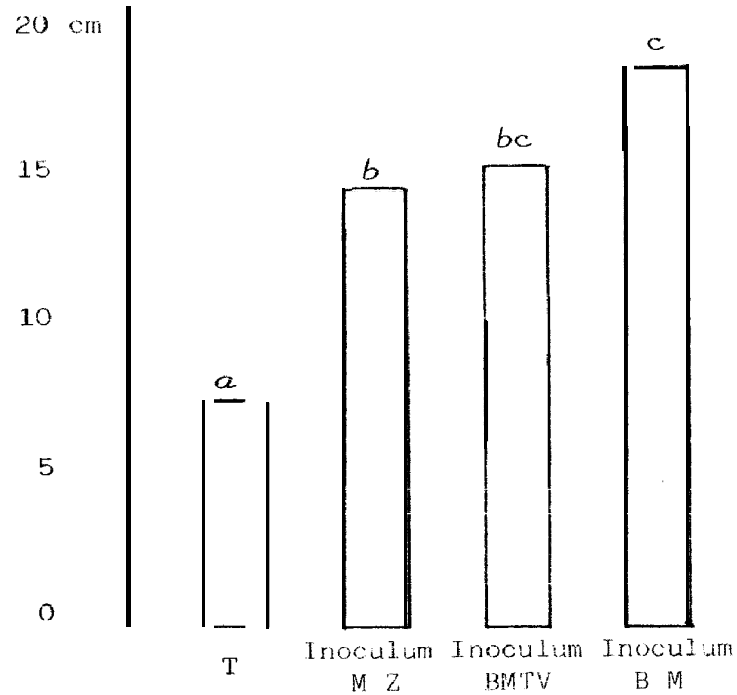


Figure 4 : Effets de l'inoculation de *Pinus caribaea* avec différentes formes d'inoculum de *Pisolithus tinctorius*

- Chaque valeur est la moyenne de six répétitions
- Les traitements repérés par la même lettre ne sont pas significativement différents entre eux au seuil de 5 % selon le test de DUNCAN (1955)

Légende : T : plantes non inoculées
Inoculum M Z : plantes inoculées avec des cultures mycéliennes obtenues selon la méthode de MARX et ZAK (1965)
Inoculum BMTV : plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes mélangées juste avant l'inoculation à de la tourbe-vermiculite stérilisée
Inoculum BM : plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes seules.

Tableau 7 : Effets de l'inoculation de *Pinus caribaea* avec différentes formes d'inoculum de *Pisolithus tinctorius*

Traitements	Poids des plantes (g)		Pourcentage de mycorhization (%)
	parties aériennes	racines	
Témoin	0,25 a	0,27 a	Ca
Inoculum M Z	3,16 b	2,23 c	41,39 b
Inoculum B M T V	3,45 b	1,90 bc	48,86 c
Inoculum B M	2,88 b	1,52 b	38,16 b

Légende : - Inoculum M Z : plantes inoculées avec des cultures mycéliennes obtenues selon la méthode de MARX et ZAK (1965) ;

- Inoculum B M T V : plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes mélangées juste avant l'inoculation à de la tourbe-vermiculite stérilisée

- Inoculum B M : plantes inoculées avec des boulettes mycéliennes seules.

- Chaque valeur représente la moyenne de six répétitions ;

- Dans une une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre indiquent que les traitements ne diffèrent pas significativement entre eux au seuil de 5 % selon le test de DUNCAN (1955).

en les inoculant avec des cultures mycéliennes produites en fermenteur. L'avantage de la méthode de production d'inoculum B M T V par rapport à celle mise au point par MARX et ZAK (1965) réside, principalement, dans la rapidité de la production de l'inoculum.

Dans les conditions de notre étude, trois semaines ont suffi pour obtenir, en fermenteur, un développement abondant de mycélium de *Pisolithus tinctorius* qu'il suffit de mélanger extemporanément à de la tourbe-vermfculite stérilisée avant l'application sur les plantes. En revanche, suivant la méthode de MARX et ZAK (1965), il faut, pour les mêmes quantités d'inoculum, deux à trois fois plus de temps. Notre méthode présente donc un avantage important.

CHAPITRE III

ETUDE DU COMPORTEMENT DE PINUS CARIBAEA EN RELATION AVEC LA MYCORHIZATION ET LE TYPE DE SOL

1 - INTRODUCTION

Jusqu'à présent, on connaît peu de choses de l'influence des facteurs édaphiques sur la mycorhization (infection) et sur son effet sur la croissance des plantes en milieu tropical. C'est pourquoi, le but de notre étude a été de tenter d'explorer l'effet de ces facteurs édaphiques en examinant la réponse de *Pinus caribaea* à la mycorhization dans des sols appartenant à des types variés.

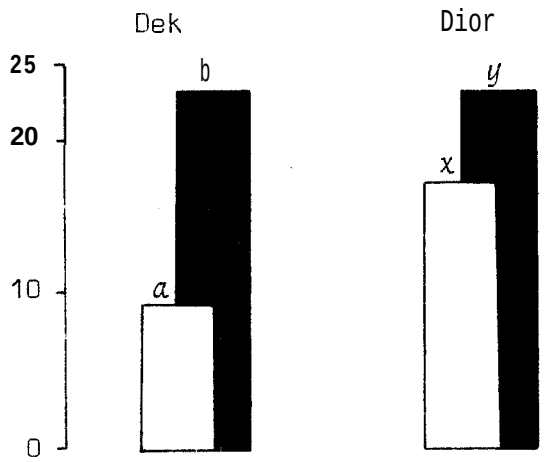
2 - EXPERIENCE 1 : ÉTUDE DE L'EFFET DE LA TENEUR DU SOL EN P ASSIMILABLE

21 - BUT DE L'EXPERIENCE

Cette expérience a été conçue pour étudier, sur deux sols ayant des propriétés physiques et chimiques très proches, excepté la teneur en phosphore assimilable, les effets de 1' inoculation de *Pinus caribaea* avec *Pisolithus tinctorius*.

22 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons utilisé les sols Dek et Dior provenant de Bambey (région centre-ouest du Sénégal). Les sols Dek et Dior (cf. tableau 1, annexe3 contiennent respectivement 11 et 82 *ppm* de P assimilable (teneurs déterminées suivant la méthode de OLSEN, 1954). Ces sols ont été tamisés et autoclavés comme il a été déjà décrit (paragraphe 21, page 13 1 et ont fait l'objet de deux traitements. Ces traitements



□ : **témoin non inoculé** ■ : **plantes** inoculées avec P. *tinctorius*

Figure 5 : **Influence de** la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* **sur la croissance en** hauteur (cm) **de** *Pinus caribaea* **cultivé** sur **deux sols à** teneur différente en **P** assimilable (sols **Dek** et Dior).

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions
- **Les** traitements **non** indexés **d'une** même **lettre** diffèrent significativement entre eux au seuil de 5 % selon le test de DUNCAN (19553

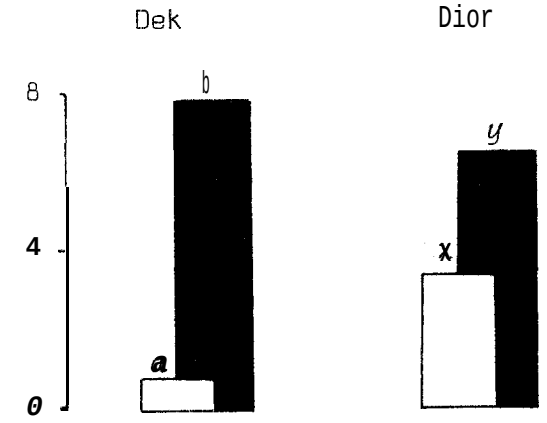


Figure 6 : Influence de la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* sur le **poids de** matière **sèche** (g) **des** parties aériennes de *Pinus caribaea* cultivé sur deux sols à **teneur** différente en P assimilable (sols Dek et Dior).

- **Même légende que** dans la figure ci-dessus.

comprennent des plantes témoins non inoculiies et des plantes inoculées avec *P. tinctorius*. Avant d'être soumises aux traitements ci-dessus, les plantules de pins (obtenues à partir de graines désinfectées superficiellement à de l'acide sulfurique) ont été élevées quatre semaines sur du sable stérilisé au préalable à l'autoclave (120°C pendant une heure1 ,

L'inoculum de **P. *tinctorius*** (5 cm^3) a été mis au contact du système racinaire de chaque plant. L'expérience a été arrêtée sept mois après la transplantation des pins en gaine.

23 - RÉSULTATS

Sur les deux sols étudiés (Dek et Dior), la hauteur des pins inoculés avec *P. tinctorius* est supérieure à celle des témoins non inoculés (figure 51. Il convient, cependant, de souligner que cette réponse à l'inoculation est plus importante sur sol Dek que sur sol Dior. Les gains de croissance respectifs calculés par rapport au traitement témoin sont de 144 % et 33 %. D'autre part, l'inoculation de *P. tinctorius* multiplie le poids des pins par dix sur sol Dek et par deux sur sol Dior (cf. figure 61. Par ailleurs, les plantes témoins sur sol Dek ont présenté plus tôt des symptômes de déficience (aiguilles de couleur brun-violet] en P que ceux cultivés dans les mêmes conditions sur sol Dior.

Toutes ces remarques laissent penser que la différence observée dans la réponse à la mycorhization pourrait s'expliquer par la différence de teneur en P assimilable dans ces sols : entre plantes témoins (c'est-à-dire non inoculées) et celles inoculées avec **P. *tinctorius***, les différences de hauteur et de poids des parties aériennes sont plus importantes sur sol Dek 111 *ppm* de P assimilable1 que celles observées sur sol Dior (82 *ppm* de P assimilable).

Tableau 8 : Effets de la mycorhization sur la concentration (%) et la teneur totale (mg/plante) en N, P, K, Ca et Mg dans les parties aériennes de *P. caribaea* cultivé sur deux sols à teneur différente en P assimilable (sols Dek et Dior1

TRAITEMENTS	N		P		K		Ca		Mg	
	(%)	total (mg/plante)	(%)	total (mg/plante)	(%)	total (mg/plante)	(%)	total mg/plante)	(%)	total
ek — Témoin	1,42 a	11,66 a	0,044 a	0.35 a	1,63	13,46 a	0,42	3,46 a	0,24	1,98 a
ek — Inoculation avec *P. tinctorius*	0,57 b	44,70 b	0,056 b	4,38 b	0,77	60,42 b	0,24	18,83 b	0,11	8,63 b
Dior — Témoin	0,63 x	21,68 x	0,064 x	2.20 x	1,18	40,71 x	0,48	16,56 x	0,20	6,90 x
Dior — Inoculation avec *P. tinctorius*	0,57 x	37,52 y	0,075 x	4,94 y	0,96	63,26 y	0,24	15,81 x	0,11	7.24 x

- Les valeurs ci-dessus représentent La moyenne de cinq répétitions
- Dans chaque colonne et pour un sol donné, les valeurs suivies de la même lettre indiquent que les traitements ne diffèrent pas significativement entre eux, au seuil de 5 %, d'après le test de DUNCAN (1955)

lableau 9 : **Effets de la** mycorhization sur la concentration ET. la terreur totale en Mn, Fe, Zn et Lu **dans** les parties aériennes de *P. caribaea* **cultivé** sur **cieux sols** à teneur **différente en P assimilable (sols Oek et** Dior)

SOLS - TRAITEMENTS	Mn		Fe		Zn		CU	
	°/oo	total (mg/plante)	ppm	total (mg/plante)	ppm	total (mg/plante)	ppm	total (mg/plante)
Dek r — Témoin	0,86	0,70 *a*	200	0,16 a	*20*	0,01 *a*	0	0 U
Dek r — Inoculation avec P. *tinctorius*	0,32	2,50 6	*140*	1,09 6	**16**	0,12 *b*	2,9	*0.02* b
Dior — Témoin	0,34	1,17 *x*	*140*	*0.48 x*	*12*	*0.036 X*	*0*	0 x
Dior — Inoculation avec P. *tinctorius*	*0.16*	1.05 *x*	*140*	*0.91 y*	*30*	*0.192 y*	1,8	0.01 Y

- **Les** valeurs **ci-dessus représentent la moyenne de cinq** répétitions
- **Dans chaque colonne et pour un sol donné,** les **valeurs** suivies **de la même lettre indiquent que** les traitements ne diffèrent **pas significativement** entre eux, au seuil **de 5 %** d'après le test **de OUNCAN** (1955)

Cependant, dans ces mêmes sols, nous avons observé chez tous les plants de *Pinus caribaea* inoculés avec *Pisolithus tinctorius*, de nombreuses racines mycorhizées et l'apparition de carpophores du champignon [photo ci-contre].

En ce qui concerne la nutrition en éléments minéraux des plantes (tableaux 8 et. 9), les résultats indiquent :

- une augmentation de la teneur totale en N dans les parties aériennes des pins en présence de P. *tinctorius*, alors que les concentrations en N dans ce traitement sont plus faibles en présence qu'en l'absence de mycorhizes. ceci est. probablement dû à un effet de dilution ;
- que l'effet de la mycorhization sur la concentration en P dans les parties aériennes des plantes est plus marqué quand on utilise le sol très déficient en phosphore assimilable (sol Dek) que lorsque l'on utilise le sol moins déficient (sol. Dior) ;
- une concentrationplus forte en K, Ca, Mg, et Mn dans les parties aériennes des plantes sans rnycorhizes que dans celles avec mycorhizes, probablement un effet de dilution.

D'autre part, la concentration en Cu dans les tissus des pins est améliorée de façon considérable sur les deux sols lorsque les plantes sont mycorhizées par P, *tinctorius*. Par contre, pour Fe ou Zn, les résultats varient suivant les sols. Sur sol Dek, les pins témoins ont une concentration plus forte en Zn et en Fe que celle des pins mycorhizées, tandis que, sur sol Dior, l'inoculation avec P. *tinctorius* permet d'améliorer la concentration en Zn chez les plantes, mais n'a aucun effet sur la concentration en Fe.

24 - Discussion

Plusieurs auteurs (MARX et collaborateurs, 1975, 1976 ; MOMOH et GBAOEGESIN, 1980 ; OIXDN et *al.*, 1981 ; NAVRATIL et *al.*, 1981 et d'autres) ont montré que les mycorhizes améliorent la croissance et la

[illegible] : [illegible]arpop[illegible] *P[illegible]olithus tinctorius*

nutrition en éléments minéraux des plantes. Nous avons pu vérifier ces observations dans les deux sols que nous avons testes dans la présente étude. Nous avons noté que la réponse des pins à l'inoculation avec *P. tinctorius*, aussi bien du point de vue de la croissance végétative que de la nutrition en P, est beaucoup plus marquée sur sol pauvre (Dek) que riche (Dior) en phosphore assimilable, ainsi qu'il a déjà été souligné dans de nombreux travaux.

En ce qui concerne la nutrition en N des plantes mycorhizées, nos résultats sont similaires à ceux de HART et collaborateurs (1980). Ils indiquent un effet de dilution.

En ce qui concerne les autres éléments minéraux, la mycorhization a un effet considérable sur la concentration et la teneur totale en Cu dans les tissus des pins, Des effets similaires ont déjà été rapportés dans diverses études par différents auteurs (GERDEMANN, 1964 ; DAFT et HACSKAYLO, 1977 ; LAMBERT et *al.*, 1979, KABRE, GARBAYE et LE TACON, 1981). Ce résultat s'explique aussi par le fait que les sols considérés sont caractérisés par une déficience assez nette en Cu.

3 - EXPERIENCE 2 : COMPARAISON DE DIX SOLS DE CASAMANCE

31 - OBJET DE L'EXPÉRIENCE

Dans cette expérience, il s'agit de comparer, dans dix sols de Casamance, la réponse à l 'inoculation de *P. caribaea* avec *P. tinctorius* ou avec un fnoculum mixte de sol contenant des champignons mycorhiziens afin de comparer les deux types d' inoculum (*P. tinctorius* ou inoculum mixte) et de tenter d'élucider l'origine des différences de comportement de l'associatior *Pinus caribaea-Pisolithus tinctorius* dans les différents sols testés,

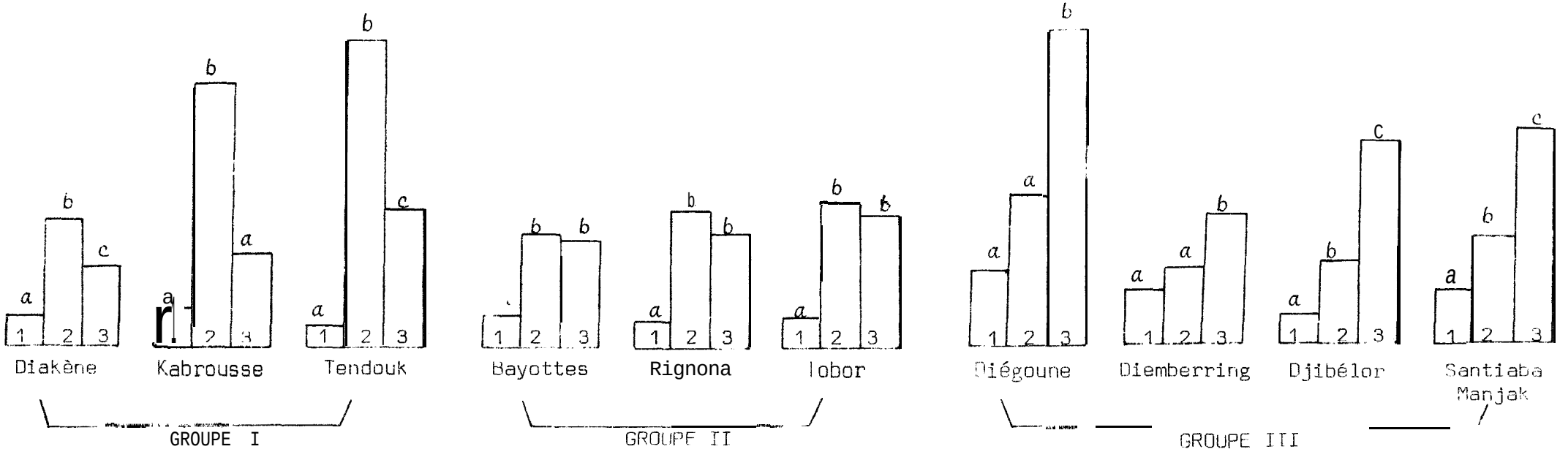


Figure 7 : Réponse de *Pinus caribaea* à l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius* ou avec un inoculum mixte (sol mycorhizien) dans dix sols de Casamanoe : poids de matière sèche (g) des parties aériennes.

Légende : 1 : témoin non inoculé ; 2 : plantes inoculées avec P. *tinctorius* ; 3 : plantes inoculées avec un inoculum mixte

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions ;
- Pour chaque sol, les traitements indexés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement entre eux au seuil de 5 %, d'après le test de DUNCAN (1955) ;
- GROUPE I : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec P. *tinctorius*
- GROUPE II : sols où les effets de l'inoculation des pins avec P. *tinctorius* ou avec un inoculum mixte sont équivalents.
- GROUPE III : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculum mixte.

32 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le tableau 2 en annexe rassemble les principales caractéristiques physiques et chimiques des sols que nous avons utilisés. En dehors du fait que ces sols n'ont pas été stérilises, leur préparation et le remplissage à moitié des gaines de plastique de dimensions 30 cm x 16 cm (soit environ 1,5 kg de sol par gaine), ont été effectués comme nous l'avons décrit au paragraphe 11 [dernier alinéa - début page 10 1.

Les engrais suivant:; ont été apportés en une fois dans les gaines de plastique :

- N sous forme de $(NH_4)_2SO_4$, 75 mg/kg de sol ;
- K sous forme de KCl, 45 mg/kg de sol.

Le matériel végétal, de même que l'inoculum de **P.** *tinctorius*, a été obtenu suivant la procédure décrite dans l'expérience 1

Pour chaque type de sol, les trois traitements étudiés comportent des plantes non incculées (témoins) et celles inoculées avec **P.** *tinctorius* ou avec un inoculum mixte (*I.m* qui est un sol mycorhizien) prélevé 24 heures avant l'utilisation sur une parcelle plantée en pins des Caraïbes en 1978 en Casamance. Ces pins avaient été inoculés en pépinière avec: de la terre mycorhizée importée de Côte d'Ivoire (HAMEL et *al.*, 19793. Les inoculums **P.** *tinctorius* **ou** *I.m* (5 cm3 par plantule d'inoculum sous forme de tourbe-vermiculite et mycélium de *P. tinctorius* ou d 'inoculum sous forme de sol mycorhizien *I.m.*) ont été mis au contact des racines des pins. Cet essai a pris fin au bout de quatre mois d'observation.

33 - RÉSULTATS

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que tous les sols réagissent favorablement à l'inoculation des plantes, soit avec

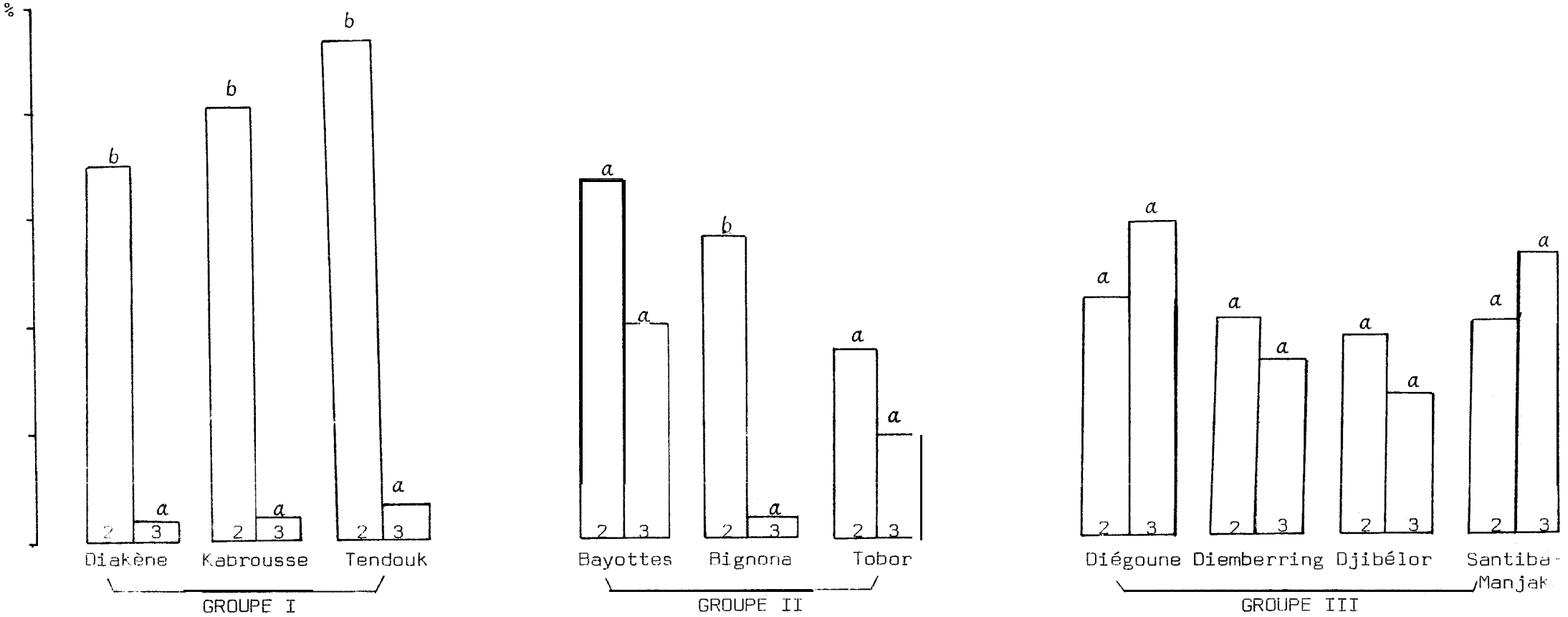


Figure 8 : Pourcentage de mycorhization chez *Pinus caribaea* inoculé avec *Pisolithus tinctorius* ou avec un inoculum mixte (sol mycorhizien) dans dix sols de Casamance

Légende : 2 : plantes inoculées avec *P. tinctorius* 3 : plantes inoculées avec un inoculum mixte

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions.
- Pour chaque sol, les traitements indexés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %, d'après le test de DUNCAN (1955).
- GROUPE I : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec *P. tinctorius*
- GROUPE II : sols où les effets de l'inoculation des pins avec *P. tinctorius* ou avec un inoculum mixte sont équivalents.
- GROUPE III : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec un inoculum mixte.

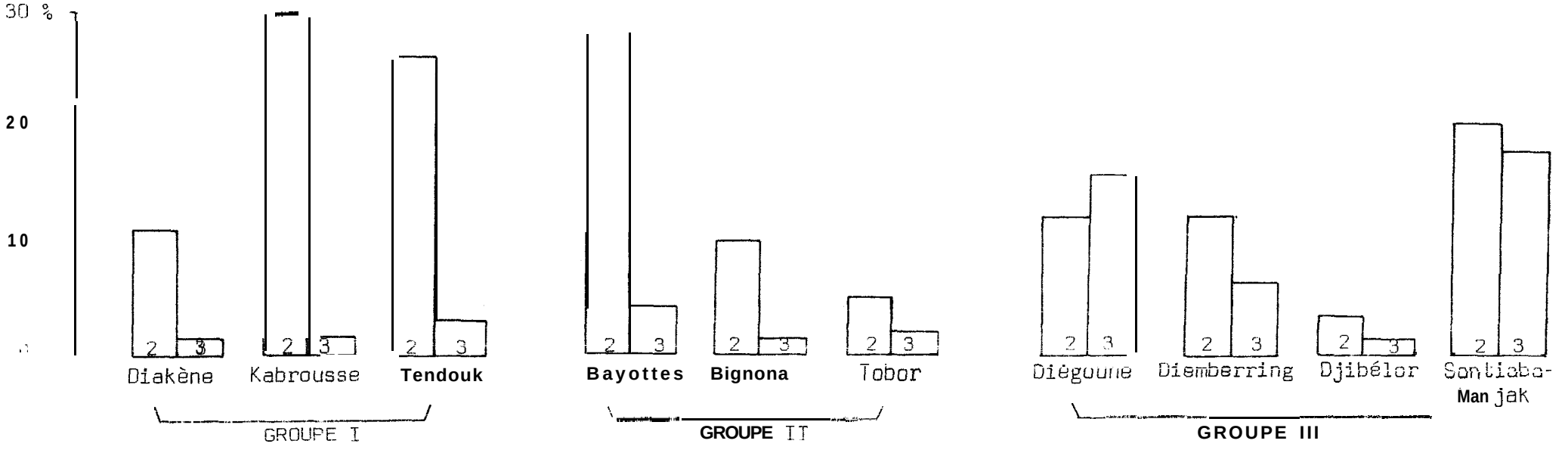


Figure 9 : Pourcentage de longueur racinaire infectée chez *Pinus caribaea* inoculé avec *Pisolithus tinctorius* ou avec un inoculum mixte (sol mycorhizien) dans dix sols de Casamance.

Légende : 2 : plantes inoculées avec *P. tinctorius* 3 : **plantés inoculées avec un inoculum mixte.**

- Dans chacun des traitements ci-dessus, les racines ont été regroupées pour la détermination du pourcentage de longueur racinaire infectée, de ce fait, le calcul statistique n'a pas été effectué.
- GROUPE I : sois où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec *P. tinctorius*
- GROUPE II : sols où les effets de l'inoculation des pins avec *P. tinctorius* ou avec un inoculum mixte sont équivalents.
- GROUPE III : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec un inoculum mixte.

Pisolithus tinctorius, soit avec un inoculum mixte. Cependant, en fonction des effets obtenus dans chacun de ces traitements, nous pouvons classer les dix sols dans trois groupes :

331 - GROUPE I : SOLS CU LES PINS REPONDENT LE PLUS FAVORABLEMENT A L'INOCULATION AVEC P. *TINCTORIUS*

Il s'agit des sols de Diakène, de Kabrousse et de Tendouk. Dans ces sols, l'inoculation de *Pinus caribaea* avec *Pisolithus tinctorius* permet d'augmenter, par rapport au traitement témoin, le poids des parties aériennes des plantes de 410 % au minimum et de 1430 % au maximum, alors qu'avec l'inoculum mixte, cette augmentation varie entre 145 et 916 % seulement (figure 71. Dans ces sols également, nous constatons que le pourcentage de mycorhization (figure 8) et le pourcentage de longueur racinaire infectée [figure 91 sont plus élevés chez les pins inoculés avec *P. tinctorius* qu'avec un inoculum mixte.

Nous avons constaté sur le système racinaire des pins mycorhizés par *P. tinctorius*, la présence d'organes sphéroïdaux très durs, de couleur sombre et intimement associés aux racines mycorhizées (photo si-contre), Ces organes pourraient être des sclérotes du champignon, comme 1 ont observe aussi DENNIS (1980) sur des racines de *Pinus contorta*, *P. ponderosa* et P. *taeda* cultivés en vases de végétation, en serre ou en conditions semi-contrôlées et sur P. *strobus* par PICHE et FORTIN (1982).

Nous avons effectué avec succès des isolements à partir de ces organes et la comparaison du mycélium issu de ces isolats à celui des souches de collection de P. *tinctorius* ne présente aucune différence morphologique.

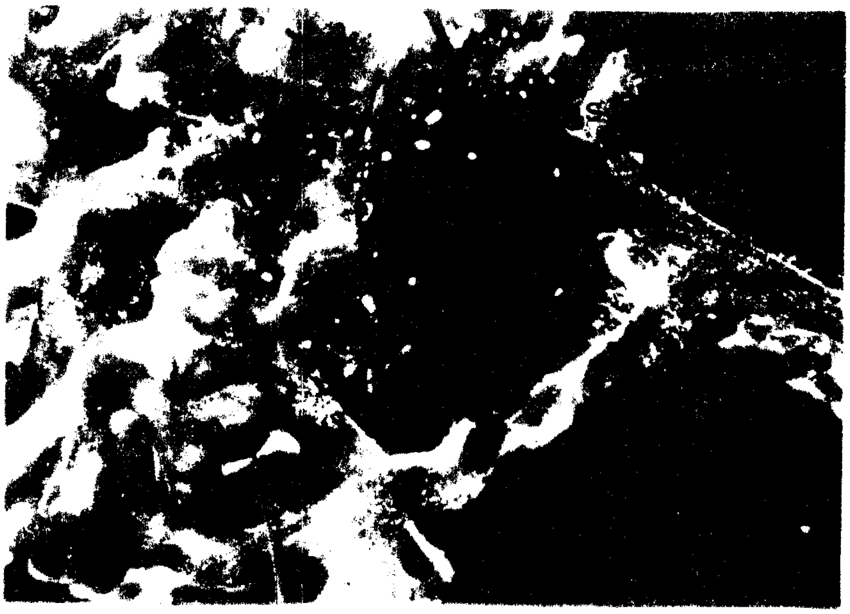


Photo : [illegible]
loupe binoculaire (Gr. x [illegible])

[illegible]

s = sclérote

[illegible]

Tableau IV : Effets des inoculations avec *Pisolithus tinctorius* (P.t.) ou avec un inoculum mixte (sol mycorhizien T.m.) sur la nutrition en éléments majeurs de *Pinus caribaea* sur six sols de Casamance

	SOLS - TRAITEMENTS		N (%)	N total (mg/plante)	P (%)	P total (mg/plante)	K (%)	K total (mg/plante)	Ca (%)	Ca total (mg/plante)	Mg (%)	Mg total (mg/plante)
GROUPE I	Diakène	T	0,62 a	1.3 a	0.05 a	0.12 a	0.67	1.4' a	0,60	1.07 a	0,18	0.36 a
		P.t.	0.75 a	a.0 b	0.07 b	0.75 b	0.90	10,30 b	0,54	5.79 b	0.20	2.14 b
		7.m.	1,00 b	6,3 b	0.14 c	0,89 b	0.98	6.19 c	0,57	3.59 c	0,18	1.14 c
	Kabrousse	T	0,66 a	2.10 a	0.04 a	0.14 a	0,46	1,53 a	0,40	1.33 a	0.10	0.33 a
		P.t.	0,94 b	21.70 b	0,07 b	1,80 b	0,94	22,71 b	0,57	13.71 b	0.14	3.24 b
		7.m.	0,89 c	7.20 c	0,12 c	0.98 c	0,98	7,99 c	0,54	4,30 c	0.13	1.73 c
	Tendouk	T	1.07 a	1.90 a	0.01 a	0.02 a	0.67	1.25 a	0,43	0,80 a	0.12	0.19 a
		P.t.	1.03 a	28,40 b	0.04 b	1,10 b	0,81	22.40 b	0,54	14.93 b	0.13	3.59 b
		7.m.	1,36 b	16,80 c	0.05 c	0.55 c	0,86	10,66 c	0,51	6,32 c	0.11	1.36 c
GROUPE II	Bayottes	T	0,54 a	1.50 a	0.04 a	0,11 a	0,80	2,66 a	0,43	1,26 a	0.15	0.44 a
		P.t.	0.76 b	8,00 b	0,08 b	0.66 b	0.96	9.44 b	0,70	7.25 b	0.20	2,07 b
		7.m.	0.97 c	9,10 b	0.15 c	1.47 c	0,99	9,51 b	0,76	7.30 b	0.17	1,63 c
	Bignona	T	0,75 a	1,80 a	0.04 a	0,10 a	1,00	2,52 a	0,60	1.48 a	0.20	0.49 a
		P.t.	0.96 b	11,60 b	0,08 b	1.02 b	1.21	14,70 b	0,64	7.77 b	0.18	2.16 b
		7.m.	1,38 c	14.00 c	0,14 c	1.45 c	1,00	10,36 c	0,73	7.25 b	0.X	2,07 b
	Tobor	T	0,63 a	1.60 a	0,04 a	0,11 a	0,65	1.63 a	0,40	1.04 a	0.15	0,38 a
		P.t.	1.03 b	13,30 b	0.07 b	0.95 b	0.81	10,52 b	0,54	7.01 b	0,18	2.33 b
		7.m.	1.41 c	16.80 b	0.16 c	2.25 c	1,15	13,75 c	0,87	8.01 b	0.22	2.62 b
	Diégoune	T	1.08 a	7.10 a	0.02 a	0.10 a	0.72	4.79 a	0,45	2,99 a	0.19	1.26 a
		P.t.	1.13 ab	14.00 b	0.05 b	0,68 b	0,81	10,12 b	0,40	5,00 b	0.16	1,99 b
		7.m.	1.24 b	35.50 c	0.12 c	3.21 c	0.72	20.70 c	0,73	20.96 c	0.19	5.45 c
	Diemberring	T	1,08 a	4.20 a	0,07 a	0.28 a	0.72	2,82 a	0,73	2,87 a	0,18	0.70 a
		P.t.	1,32 a	7.90 a	0.01 a	0.46 a	0.60	3,64 a	0,67	4.07 a	0.19	1,15 a
		7.m.	1.25 a	14.00 b	0.00 a	0,89 b	0.62	6.95 b	0,76	8,52 b	0.17	1,90 b
GROUPE III	Djibélor	T	0.59 a	1,10 a	0.04 a	0.07 a	0.58	1,18 a	0,43	0.67 a	0.15	0,30 a
		P.t	0.66 a	4.40 b	0.06 b	0.41 b	0.82	5,58 b	0,50	4.21 b	0.22	1.33 b
		7:m:	1,22 b	16,00 c	0.14 c	1.96 c	1.02	13.43 c	0,79	10.39 c	0.21	2.76 c
	Santiaba-Manjak	T	0.63 a	2,50 a	0,04 a	0,19 a	0,60	2,64 a	0,48	2.10 a	0.16	0.70 a
		P.t.	1.00 b	9.20 b	0,06 b	0.56 a	0,90	6.31 b	0,97	6,18 b	0.21	1,93 b
		7.m.	0.96 b	13,70 c	0,16 b	2,39 c	1,05	15.05 c	0,86	12.33 c	0.18	2.57 c

* T = Témoin non inoculé

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions.
- Dans chaque colonne et pour chaque sol, les chiffres suivis de la même lettre, indiquent que les traitements ne diffèrent pas significativement entre eux, au seuil de 5 % d'après le test de DUNCAN (1955).
- GROUPE I : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius*
- GROUPE II : sols où les effets de l'inoculation des pins avec *Pisolithus tinctorius* ou avec un inoculum mixte sont équivalents.
- GROUPE III : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec un inoculum mixte.

Tableau II : Effets des inoculations avec *Pisolithus tinctorius* (P.t.) ou avec un inoculum mixte (sol mycorhizien I.m.) sur la nutrition en oligoéléments de *Pinus Caribaea* dans dix sols de Casamance

	SOLS	TRAITEMENTS	Mn (°/oo)	Mn total (mg/plante)	Fe (ppm)	Fe total (mg/plante)	Zn (ppm)	Zn total (mg/plante)
GROUPE I	Diakène	T	0.23	0.04 a	500	0,10 a	27	0,005 a
		P.t.	0.30	0,31 b	200	0.21 b	28	0,029 b
		I.m.	0.40	0.24 b	220	0,13 a	46	0,029 b
	Kabrousse	T	0.40	0,13 a	280	0,09 a	24	0,010 a
		P.t.	0.42	0,96 b	200	0,46 b	36	0,032 b
		I.m.	0.58	0,46 c	260	0.21 c	44	0,062 c
	Tendouk	T	0.50	0.09 a	170	0,02 a	50	0,009 a
		P.t.	0,32	0,88 b	740	0,66 b	30	0,082 b
		I.m.	0.30	0.36 c	240	0.29 c	4a	0,058 c
GROUPE II	Bayottes	T	0,63	0.18 a	660	0.13 a	33	0,009 a
		P.t.	6.82	0,55 b	240	0.20 b	50	0,047 b
		I.m.	0,54	0,59 c	200	0.22 c	42	0,043 b
	Bignona	T	0,12	0,02 a	280	0,06 a	60	0,014 a
		P.t.	0.12	0.14 b	280	0.33 b	68	0.082 b
		I.m.	0,14	0,14 b	240	0,24 c	100	0,703 c
	Tobor	T	0,27	0.06 a	230	0,05 a	23	0.005 a
		P.t.	0.32	0,41 b	340	0.43 b	50	0,064 b
		I.m.	0.30	0,35 c	260	0.30 c	60	0,071 b
GROUPE III	Diégoune	T	0,18	0.11 a	180	0,11 a	24	0,015 a
		P.t.	0.16	0.19 b	220	0.27 b	30	0,036 b
		I.m.	0.20	0.57 c	340	0.97 c	42	0,120 c
	Diemberring	T	0.04	0.015 a	240	0.094 a	20	0,007 a
		P.t.	0.04	0,024 b	300	0,182 b	22	0,012 a
		I.m.	0,02	0,022 b	320	0,358 c	42	0,046 b
	Djibélor	T	0.20	0.03 a	250	0,04 a	15	0,002 a
		P.t.	0.23	0.15 b	230	0,15 b	23	0,015 b
		I.m.	0,38	0,49 c	260	0,33 c	64	0.003 c
	Santiaba-Manjak	T	0.24	0.10 a	320	0.13 a	24	0.010 a
		P.t.	0.24	0.21 b	300	0.23 b	36	0,032 b
		I.m.	0.26	1.39 c	260	0,36 c	44	0,062 c

- T = Témoin non inoculé
- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions
- Dans chaque colonne et pour chaque sol. les chiffres suivis de la même lettre. indiquent que les traitements ne diffèrent pas significativement entre eux, au seuil de 5 % d'après le test de DUNCAN (1955).
- GROUPE I : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius*
- GROUPE II : sols où les effets de l'inoculation dee pins avec *Pisolithus tinctorius* ou avec un inoculum mixte, sont équivalents.
- GROUPE III : sols où les pins répondent le plus favorablement à l'inoculation avec un inoculum mixte.

En ce qui concerne la nutrition en éléments minéraux des plantes dans les sols de Diakène, Kabrousse et Tendouk, l'inoculation avec *P. tinctorius*, par rapport à celle avec l'inoculum mixte, a un effet beaucoup plus marqué dans presque tous les cas sur la teneur totale que sur la concentration en N, P, K, Ca, Mg (tableau 101 et en Fe et Zn (tableau Ill dans les parties aériennes des plantes.

332 - GROUPE II SOLS OU LES EFFETS DE L'INOCULATION DES PINS AVEC *P. TINCTORIUS* OU AVEC UN INOCULUM DE SOL SONT EQUIVALENTS

Il s'agit des sols de Bayottes, de Bignona et de 'Tobor. Dans ces sols, le poids des parties aériennes des pins inoculés avec *P. tinctorius* ou avec un inoculum mixte (figure 71, ne diffère pas significativement au seuil de 5 %, d'après le test de OUNCAN (1955). Il en est ainsi pour le pourcentage de mycarhization (figure 81, sauf dans le cas du sol de Bignona. Par contre, nous remarquons, sur la figure 9, que les pourcentages de longueur racinaire infectée sont plus élevés chez les pins inoculés avec *P. tinctorius* qu'avec un inoculum mixte.

En ce qui concerne la nutrition en éléments minéraux (tableaux 10 et 11) des plantes dans les sois de Bayottes, de Bignona et de Tobor, nous constatons que, par rapport à l'inoculation avec *P. tinctorius*, l'inoculation avec un inoculum mixte accroit davantage la concentration et la teneur totale en P et la concentration en N seulement dans les parties aériennes des plantes. Cour les autres éléments minéraux majeur3 (K, Ca et Mg) et les oligoéléments (Mn, Fe et Zn), les effets de l'inoculation avec *P. tinctorius*, ou avec un inoculurn mixte, sont variables.

333 - GROUPE III : SOLS OU LES PINS REPONDENT LE PLUS FAVORABLEMENT A L'INOCULATION AVEC IJN INOCULUM MIXT!E (SOL MYCORHIZIEN)

Il s'agit des sols de Diégoune, de Diemberring, de Djibélor et de Santiaba-Manjak. Dans ces sol!;, 1 'inoculation de *Pinus caribaea* avec un inoculum mixte permet d'augmenter, par raoport au traitement témoin, le poios des parties aériennes des plantes de 187 % au minimum et de 535 % au maximum, alors qu'avec P. *tinctorius*, cette augmentation varie entre 54 et 97 % seulement (figure 7).

Dans ces sols, cependant, nous constatons que les pourcentages de mycorhization chez les pins inoculés avec l'fnoculum mixte, ou avec P. *tinctorius*, ne diffèrent pas significativement (figure 8) et que les pourcentages de longueur racinaire infectée (figure 9) sont, dans presque tous les cas, plus faibles avec: l'inoculum mixte qu'avec P. *tinctorius*.

En ce qui concerne la nutrition en éléments minéraux des plantes dans les sols de Diégoune, de Oiemberring, de Djibélor et de Santiaba-Manjak, l'inoculation avec l'inoculum mixte, par rapport à celle avec P. *tinctorius*, a un effet beaucoup plus marqué dans tous les sols sur la teneur en N, P, K, Ca, Mg (tableau 10) et en Fe et Zn (tableau 111 dans les parties aériennes des plantes.

34 - DISCUSSION

Nous avons montré, dans cette étude, que tous les dix sols de Casamance réagissent favorablement à 1' inocula tion de *Pinus caribaea* avec des champignons ectomycorhiziens. Autrement dit, que l'absence de champignons ectomycorhiziens Indig&nes est l'une des principales raisons de la mauvaise croissance de *Pinus caribaea* dans ces sols.

Nous avons montré, dans cette étude, parmi les dix sols et avec les deux inoculums (inoculum de *Pisolithus tinctorius* et inoculum mixte sous forme de sol mycorhizien) que nous avons testés, que :

- dans une première catégorie de sols (sols de Diakène, de Kabrousse et de Tendouk), les pins se développent mieux lorsqu'ils ont été inoculés avec *Pisolithus tinctorius* qu'avec un inoculum mixte ;
- dans une deuxième catégorie de sols (sols de Dfégoune. de Diemberring, de Djibélor et de Santiaba-Manjak), les pins mycorhizés par *Pisolithus tinctorius* se développent moins bien que ceux mycorhizés par un inoculum mixte ;
- dans une troisième catégorie de sols (sols de Rayottes, de Bignona et de Tobor) , la réponse des pins à la mycorhization par *Pisolithus tinctorius*, ou par un inoculum mixte, est identique. Il est intéressant de constater que, dans ce groupe de sols, bien qu'il n'y ait aucune différence dans l'effet de l'inoculum *Pisolithus tinctorius* et 1 'inoculum mixte en ce qui concerne le poids des plantes, il y a une différence significative dans l'effet de ces inoculums sur les teneurs des plantes en P notamment. Ce résultat indique que les mycorhizes inoculum mixte, contrairement aux mycorhizes *Pisolithus tinctorius*, agissent sur l'absorption de P sans agir sur la croissance. Ce qui suggère que l'on pourrait dissocier l'effet des mycorhizes sur l'absorption de P de l'effet sur la croissance. On peut aussi penser que l'inoculum mixte contiendrait des microorganismes autres que les champignons ectomycorhiziens qui pourraient Influer sur l'absorption de P.

Dans la première et la deuxième catégorie de sols, nous avons constaté que, parallèlement à l'amélioration de La croissance végétative du fait de l'inoculation, la concentration et la teneur totale en P et la teneur totale en Zn chez les pins inoculés, soit avec *Pisolithus tinctorius*, soit avec un inoculum mixte, sont significativement plus fortes que celles déterminées chez les plantes non inoculées. Les résultats, concernant l'absorption de Zn, sont à rapprocher de ceux obtenus chez les

Tableau 12 : Etude de corrélations simples entre certaines propriétés chimiques du sol et la réponse à la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius* dans dix sols de Casamance

Caractéristiques chimiques des sols	Paramètres étudiés chez la plante		
	Pourcentage d'augmentation des parties aériennes (1)	Pourcentage d'augmentation de la teneur totale en N (1)	Pourcentage d'augmentation de la teneur totale en P (1)
pH	$y = 24,32 x + 515,18$ $r = - 0,05$	$y = - 0,02 x + 530,38$ $r = - 4.10^{-5}$	$y = - 151,41 x + 1743,96$ $r = - 0,09$
N total (*ppm*)	$y = 0,85 x - 11,76$ $r = 0,31$	$y = 0,61 x + 235,20$ $r = 0,23$	$y = 3,89 x - 839,67$ $r = 0,38$
P_2O_5 assimilable (*ppm*)	$y = - 4,14 x + 573,29$ $r = - 0,24$	$y = - 3,48 x + 672,74$ $r = - 0,21$	$y = - 17,84 x + 1780,35$ $r = - 0,28$

(1) Les pourcentages d'augmentation (valeurs absolues) ont été calculés par rapport au traitement témoin dans chaque sol.

ectomycorhizes par BOWEN et *al*. (1974) sur *Pinus radiata*, MOUSAIN et *al*. (1978) sur *Pinus pinaster* et, chez les endomycorhizes, par OLLIVIER et *al*. (1982), ainsi que GUEYE (1982) sur *Vigna unguiculata* en association avec *Glomus mosseae*.

Nous avons cherché à étudier la cause des différences de comportement de *Pinus caribaea* dans les dix sols de Casamance que nous avons utilisés. Une étude de corrélation simple avec certaines principales propriétés chimiques de ces sols nous a montré que la réponse de *Pinus caribaea* à la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* n'est corrélé significativement à aucun des paramètres chimiques des sols (tableau 12). Cette observation ne nous permet pas d'expliquer la cause des différences de réponse des pins à la mycorhization par *P. tinctorius* dans les dix sols que nous avons étudiés. Cependant, elle incite à penser que, dans certains de ces sols, le faible effet de l'inoculation avec *P. tinctorius* pourrait peut-être s'expliquer par l'action de facteurs propres à ces milieux. Il s'agit là d'une hypothèse qui nous paraît vraisemblable et nous nous sommes proposés de la vérifier en étudiant, dans les deux chapitres suivants, sur un ou deux sols l'influence sur la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius* de divers facteurs du sol de nature chimique ou biologique sans toutefois ignorer que ceux-ci sont multiples et complexes.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DE TROIS FACTEURS CHIMIQUES SUR L'ETABLISSEMENT DE LA SYMBIOSE ECTOMYCORHIZIENNE AVEC PISOLITHUS TINCTORIUS

INTRODUCTION

Plusieurs auteurs (BOULLARD, 1958 ; TRAPPE, 1977 ; DOMMERGUES et MANGENOT, 1970 ; SLANKIS, 1974 ; MEYER, 1974 ; SMITH, 1980) ont déjà souligné l'important rôle des facteurs chimiques du sol, entre autres, sur l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne. Cependant, jusqu'à orésent, très peu d'études ont été consacrées à ce sujet en milieu tropical. C'est pourquoi, après avoir sélectionné parmi différents sols ceux pour lesquels la réponse à la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius* est la plus marquée (chapitre III), il nous est apparu intéressant d'étudier, sur certains sols, I'influense, sur les effets de la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius*, des trois facteurs chimiques suivants : l.e pH, la fertilisation N P K et ."influence de différentes formes et doses de phosphate.

1 - INFLUENCE DU pH DUSOL SUR LE COMPORTEMENT DE JEUNES PLANTS DE PINUS CARIBAEA EN PRESENCE DE PISOLITHUS TINCTORIUS

U, - OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Cette expérience a été conçue pour étudier les effets de la modification du pH (acidification, alcalinisationl sur le comportement de *Pinus caribaea* inoculé avec *Pisolithus tinctorius*.

12 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons réalisé cette expérience sur le sol Dek (deuxième échantillon) et sur le sol de Tendouk :

- le sol Dek est un sol neutre (pH 7,0) ; ses principales propriétés physiques et chimiques figurent en annexe, au tableau 3 ;
- le sol de Tendouk est un sol acide (pH 4,2) ; se reporter au tableau 2, en annexe, pour les autres propriétés physiques et chimiques de ce sol .

Ces sols ont été fumigués au bromure de méthyle et remplis dans des gaines de plastique. Sur chaque sol, les traitements, répétés six fois, ont été les suivants :

a) - *sol Dek*
  - sol neutre (pH 7,0) que nous considérons comme témoin
  - sol acidifié (pH 4,0)

L'acidification du sol a bté réalisée à l'aide d'une solution de H_2SO_4 1 N . Le traitement témoin a reçu la même quantité de la solution de H_2SO_4 1 N, neutralisée par une solution de NaOH 1 N

b) - *sol de Tendouk*
  - sol acide (pH 4,2) que nous considérons comme témoin
  - sol "alcalinisé" (pH 6,5)

Pour relever la valeur du pH de ce sol. de 2unités et 1/2 (4,2 à 6,5), nous avons apporte, par kilogramme de sol, 5 grammes de carbonate de calcium ($CaCO_3$ RP NORMAPUR PROLABO). Cette quantité est comprise dans les valeurs iimites (4 - 6 grammes par kilogramme de sol) indiquées par DEMOLON (cité par GROS, 19671 pour les sols suffisamment pourvus en limon comme celui de Tendouk.

Dans chacun des traitements ci-dessus, nous avons mesuré le pH en CaCl2 0,01 M.

Les plantules de *Pinus caribaea* de trois semaines d'âge ont été repiquées, inoculées avec *Pisolithus tinctorius*, comme dans nos précédentes études, et arrosées quotidiennement à l'eau de robinet pendant la durée de l'expérience (quatorze semaines).

13 - RÉSULTATS

131 - SUR SOL DE [illegible]

Sur ce sol, à pH 7.0, nous observons que les pins se développent mal (aspect chlorotique, jaunissement des aiguilles) et que leurs racines sont très peu mycorhizées par *Pisolithus tinctorius*. Par contre, lorsque l'on acidifie ce sol (pH 4,0), la hauteur des pins est multipliée par 2, leur poids total et le pourcentage de mycorhization sont multipliés par 4 et 6 respectivement (tableau 13). En outre, dans le sol acidifié (pH 4,0), par rapport au sol témoin (pH 7,0), il y a une augmentation considérable de la concentration (119 %) et de la teneur totale (577 %) en P dans les parties aériennes des pins. Dans les mêmes conditions, seule la teneur totale en N est augmentée (tableau 14).

Nous remarquons, dans le tableau 13, que la valeur du pH en fin d'expérience est légèrement supérieure à celle relevée en début d'expérience dans le traitement sol acidifié (pH 4.01.

132 - SUR SOL DE TENDOUK

Sur ce sol, à pH 4 .2, les pins se développer: bien et plus de 30 % de leurs racines sont mycorhizées (tableau 13). Par contra, lorsque l'on alcalinise le sol (pH 6,5), les pins se développent mal : ?a hauteur des plantes, 1 eur poi du total et le pourcentage de

Tableau 13 Infl du pH du sol sur la mycorhization et s[illegible] f t sur le comportement de sur sol Dek et sur sol de Tendouk

SOLS - TRAITEMENTS		Hauteur (cm)	Production végétale (mg/plante)			Pourcentage de mycorhization (%)	pH en fin d'expérience
			Tiges + feuilles	racines	Total		
Dek	Témoin (pH 7,0)	6,80	0,18	0,13	0,31	4,30	6,9
	Sol acidifié (pH 4,0)	11,30	0,56	0,70	1,26	28,83	5,6
Tendouk	Témoin (pH 4,2)	10,30	0,91	0,55	1,45	33,18	4,0
	Sol "alcalinisé" (pH 6,5)	7,60	0,26	0,11	0,3[illegible]	3,07	6,6

- Toutes les plantes ont été inoculées avec
- Le sol Dek a été acidifié avec une solution de H_2SO_4 1 N ; le sol de Tendouk a été "alcalinisé" avec 5 g de $CaCO_3$ par kilogramme de sol
- Les valeurs ci-dessus représentent la moyenne de six répétitions. Dans chaque colonne, et pour chaque sol, les valeurs indiquées diffèrent significativement à 1 % selon le test de DUNCAN (1955) lorsqu'elles ne sont pas suivies de la même lettre
- Les calculs statistiques ont été effectués séparément pour les deux sols.

Tableau 14 : Influence du pH sur la nutrition en N et en P de *Pinus caribaea* mycorhizé par *Pisolithus tinctorius* sur sol Dek et sur sol de Tendouk.

SOLS	TRAITEMENTS	N (%)	N total (mg/plante)	P (%)	P total (mg/plante)
Dek	Témoin (pH 7.0)	1,30 *a*	2,38 *a*	0,047 *a*	0,086 *a*
	sol acidifié (pH 4.0)	1.42 *a*	8.04 *b*	0,103 *b*	0,583 *b*
Tendouk	Témoin (pH 4.2)	1,77 *y*	16,22 *y*	0,116 *y*	1,063 *y*
	sol "alcalinisé" (pH 6.5)	1,42 *x*	3,78 *x*	0,026 *x*	0,069 *x*

- Toutes les plantes ont inoculées avec *Pisolithus tinctorius* ;
- Le sol Dek a été acidifié avec une solution de H_2SO_4 1 N ; le sol de Tendouk a été "alcalinisé" avec 5 g de $CaCO_3$ par kilogramme de sol ;
- Les valeurs ci-dessus représentent la moyenne de six répétitions. Dans chaque colonne, et pour chaque sol, les valeurs indiquées diffèrent significativement à 5 % d'après le test de DUNCAN (1955) lorsqu'elles ne sont pas suivies de la même lettre.
- tes calculs statistiques unt été effectués séparément paur les deux sols.

racines infectées par *Pisolithus tinctorius* sont signi fi cativement plus faibles [seuil de 5 %) que celles déterminées chez les pins cultivés sur sol à pH acide (4,2). Dans les mêmes conditions, la teneur totale en N, dans les parties aériennes des plantes, diffère significativement, mals il n'en est pas ainsi pour la concentration en N dans les tissus des plantes (tableau 141.

14- DISCUSSION

Il ressort de cette étude que, nui- sol à pH initial neutre (Dek) ou rendu presque neutre (Tendouk), la mycorhization du pin des Caraïbes par *Pisolithus tinctorius* se fait rna? ; ce qui explique la mauvaise croissance et la faible concentration en N et en P dans les tissus des plantes.

L'abaissement du pH, ainsi que nous l 'avons constaté sur sol Dek, favorise la formation de mycorhizes chez les pins : il y a six fois plus de racines mycorhizées à pH acide (4,O) qu'à pH neutre (7,0). Ce résultat est à rapprocher de ceux obtenus par PARK (1971) qui, sur *Tilia americana* mycorhizé pdr *Cenococcum graniforme*, a montré une corrélation négative entre le pH et le pourcentage de mycorhi- zation, et de ceux de TSERLING (cité par SLANKIS, 19741 montrant qu'un

les sols à pH élevé si la teneur de ces sols en nitrates est faible. Or, nous avons montré que la mycorhization de la même plante par *Pisolithus tinctorius* était affectée par le relèvement du pH du sol de Tendouk qui est pauvre en N. Dans le cas de l'expérience de **RICHARDS,** les champignons mycorhiziens indigènes n'étaient peut être pas acidiphiles comme l'est *P. tinctorius*. On sait, en effet, tout au moins dans le cas des champignons endomycorhiziens, que le comportement de ceux-ci, vis-à-vis du **pH** du sol, est différent : *Glomus mosseae* neutrophile et *Glomus fasciculatus* acidiphile (CORNET, travaux non encore publiés).

Toutefois, somme le remarque KIFFER (1974) "*la modification du pH du sol est un problème assez délicat*", il est possible - mais ceci , nous n'avons pas pu le vérifier - qu'en recherchant à élever le pH du sol de Tendouk, nous ayons altéré d'autres propriétés de ce sol, ce qui justifierait peut être les résultats que nous avons obtenus.

Par ailleurs, si le pH du sol peut être un facteur déterminant pour la réussite ou l'échec de la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius* dans les sols que nous avons étudiés, il est surprenant de constater que les dix sols acides (chapitre III - expérience 2, page 54) réagissent très différemment à l'inoculation des pins avec *Pisolithus tinctorius*. Il y a donc Jes facteurs autres que le pH qui interviennent, d'où l'idée d'envisager l'étude de la fertilisation N P K, de l'influence de différentes formes et doses de phosphate en relation avec la mycorhization de *Pinus caribaea*.

2 - INFLUENCE DE LA FERTILISATION N P K

21 - INTRODUCTION ET BUT DE L'EXPÉRIENCE

Il est bien connu que :

1 - de nombreux sols tropicaux, notamment ceux des pays de savane, ont une faible teneur en éléments minéraux assimilables tels que P

(IPINMIDUN, 3973 ; KADEBA, 1976 ; ROCHE et collaborateurs, 1978 1980 et d'autres], N (voir travaux de NYE et GREENLAND, 1960 ; LAURIE, 1975 ; BATE, 1981) ;

2 - dans des sols insuffisamment pourvus en éléments minéraux, la mycorhization est notablement favorisée par un apport modéré d'éléments nutritifs (LOBANOW, 1960, cité par BAULE et FRICKER, 1969 ; PRITCHETT, 1973 ; MARDNEK et *al.*, 19811 ;

3 - la croissance optimale de *Pinus caribaea*, ainsi que l'ont montré PLATTEBORZE et *al.*, 1971 ; SUNORALIGAM et ANG, 1971 ; FIELOTNG, 1973; CAMERON, RANCE et WILLIAMS, 1981), ne peut pas être obtenue dans des sols contenant moins de 25 *ppm* de P assimilable. Or, c'est le cas pour la plupart des sols de Casamance étudiés dans le présent travail.

Pour ces trois raisons, il apparaissait intéressant de déterminer sur l'un des sols de Casamance favorable à l'introduction de *Pinus caribaea*, les doses de N P K à apporter pour améliorer la croissance de ce pin, d'une part, et de de déceler si l'apport de certains éléments minéraux peut favoriser la mycorhization, d'autre part.

22 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons réalise cette expérience dans des gaines de plastique contenant 0,7 kilogramme du sol de Tendouk fumigué au bromure de méthyle. Les éléments minéraux N, P et K ont été respectivement apportés sous forme de $(NH_4)_2SO_4$, P_2O_5 et KCl. Nous avons étudié l'effet de ces engrais à deux doses :

- dose 1 : 75 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$, de P_2O_5 et de KCl ;
- dose 2 : 150 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$, de P_2O_5 et de KCl.

Cette dernière dose a été étudiée dans le cas d'une fertilisation complète NPK tandis que la première a porte sur toutes les combinaisons faisant intervenir ces différents éléments.

Ces traitements, répétés six fois, et avec ou sans inoculation des plantes avec *P. tinctorius*, peuvent être présentés comme suit :

1 - témoin absolu (sans apport d'éléments minéraux NPY)
2 - apport de NPK à la dose 1
3 - apport de NPK à la dose 2
4 - apport de NP à la dose 1
5 - apport de NK à la dose 1
6 - apport de PK à la dose 1
7 - apport de N à la dose 1
8 - apport de P à la dose 1
9 - apport de K à la dose 1

Les résultats obtenus ont été traités statistiquement, suivant la méthode des blocs décrite par LECOMPT (1965).

23 - RÉSULTATS

231 - EFFETS SUR LA CROISSANCE EN HAUTEUR

La figure 12 fait ressortir les points suivants :

1 - avec ou sans engrais, la croissance en valeur absolue est beaucoup plus forte chez les pins cultivés en présence de mycorhizes que chez les témoins sans mycorhizes ;

2 - dans le cas d'une fertilisation complète NPK, la réponse de *Pinus caribaea* à la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* est plus marquée à la dose de 75 kg/ha [traitement 2) qu'à la dose de 150 kg/ha (traitement 3) ;

3 - la fertilisation par N [traitement 7) a un effet très marqué sur la croissance en hauteur des pins mycorhizés par *Pisolithus tinctorius*, celle-ci est significativement différente de celle des plantes mycorhitées sur sol non fertilisé [traitement 1).

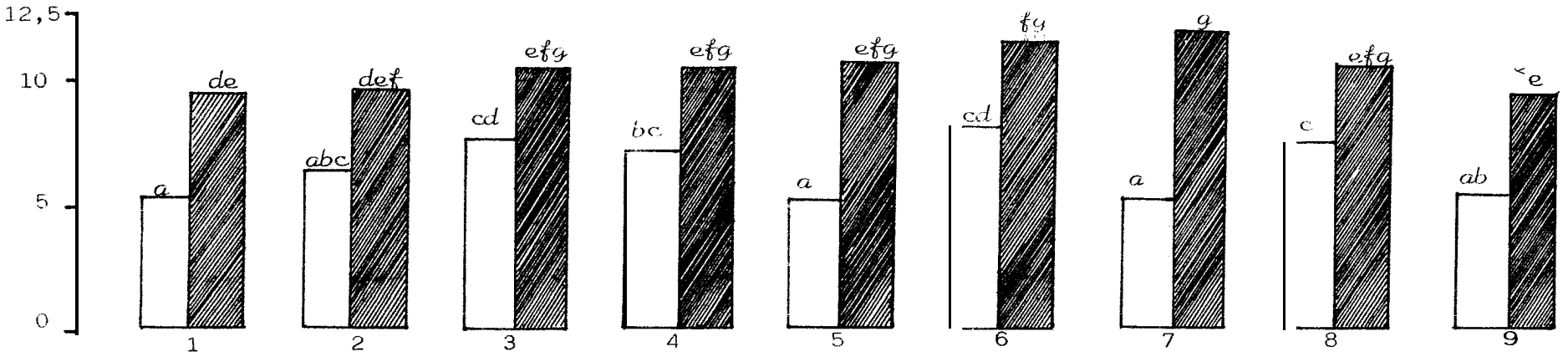


Figure 12 : Influence de la fertilisation NPK et de la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* sur la croissance en hauteur de *Pinus caribaea*

1 : témoin absolu	4 : NP dose 1	7 : N dose 1	dose 1 : 75 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$, P_2O_5 et KCl
2 : NPK dose 1	5 : NK dose 1	8 : P dose 1	
3 : NPK dose 2	6 : PK dose 1	9 : K dose 1	dose 2 : 150 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$, P_2O_5 et KCl

- Chaque valeur est la moyenne de six répétitions
- Les traitements indexés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement entre eux au seuil de 5 %

232 - EFFETS SUR LE POIDS DES PLANTES

Les résultats [tableau 15) montrent, qu'en l'absence de mycorhizes, la fertilisation complète NPK à dose faible ou forte, ou encore l'apport combiné des différents éléments minéraux, ne permet pas d'améliorer le poids des parties aériennes et des racines des plantes. L'observation sur le développement meilleur du système racinaire en présence de mycorhizes est en accord avec celle de CORNET (1981) sur *Acacia raddiana* et *Acacia holosericea,* et son incidence pratique en milieu tropical est importante. En effet, il est bien connu qu'un bon développement du système racinaire des plantes permet d'accroître le pourcentage de reprise de celles-ci lors de la transplantation sur le terrain. De plus, les plantes résistent mieux à la sécheresse et le volume de sol exploré par leurs racines est plus important.

En présence de mycorhizes, nous constatons que le poids des parties aériennes des pins sur sol fertilisé en NPK à la dose de 150 kg/ha (traitement 31, est significativement plus élevé que celui des pins cultivés sur sol ayant reçu une fertilisation NPK à la dose de 75 kg/ha (traitement 2 1. Mais, il n'en est pas ainsi pour le poids des racines des plantes.

La fertilisation par N (traitement 71 a un effet positif très marqué sur le développement des parties aériennes et des racines des pins mycorhizés.

233 - EFFETS SUR LE DEVELOPPEMENT DES MYCORHIZES

Dans le tableau 15, ïes résultats indiquent que le pourcentage de mycorhization chez les pins cultivés sur sol ayant reçu une fertilisation complète NPK à la dose de 150 kg/ha, est significativement plus élevé que les pourcentages de nycorhization déterminés dans tous les autres traitements avec mycorhizes.

Tableau 15 : Influence de la fertilisation NPK et de la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* (*P.t*) sur le poids des parties aériennes et des racines des plantes de *Pinus caribaea*

N°	TRAITEMENTS	POIDS DE MATIERE SECHE (g) tiges+feuilles	POIDS DE MATIERE SECHE (g) racines	Pourcentage de mycorhi zation
1	-Témoin absolu	0,3 ab	0,30 a	0 a
	└Témoin + *P.t.*	1,1 cd	0,91 efg	41,0 6
2	-NPK dose 1	0,3 ab	o, 48 abcde	0 a
	└NPK dose 1 + *P.t.*	1,1 cd	0,78 bcdef	40,806
3	-NPK dose 2	0,5 6	0,45 abcd	0 a
	└NPK dose 2 + *P.t.*	1,4 ef	0,80 cdef	46,36 c
4	-NP dose 1	0,4 ab	0,35 a6	0 a
	"PJ" dose 1 + *P.t.*	1,4 ef	0,93 fg	42,91 b
5	-NK dose 1	0,2 a	0,28 a	0 a
	└NK dose 1 + P.*t.*	1,2 cde	1,11 fg	40,33 b
6	-PK dose 1	0,4 ab	0,43 abc	0 a
	-PK dose 1 + *P.t.*	1,4 ef	1,30 gh	39,64 b
7	-N dose 1	0,2 a	0,31 a	0 a
	└N dose 1 + *P.t.*	1,5 f	1,56 h	36,46 b
8	-P dose 1	0,4 ab	0,45 abcd	0 a
	└P dose 1 + *P.t.*	1,0 c	1,03 fg	42,28 b
	-K dose 1	0,2 a	0,31 a	0 a
	K dose 1 + *P.t.*	1,3 def	0,88 defg	0,67 b

- Chaque valeur est la moyenne de six répétitions
- Dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5 %

- dose 1 = 75 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$ P_2O_5 et KCl

- dose 2 = 150 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$ P_2O_5

Tableau 16 : influence de la fertilisation NPK et de la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* (*P. t*) sur la nutrition en N et en P de *Pinus caribaea*

N° - TRAITEMENTS	N (%)	N total (mg/plant)	P (%)	P total (mg/plant)
1 Témoin absolu	1,51 b	4.2 b	0,0155 a	0,043 a
1 Témoin + *P.t.*	1,34 b	15,3 *g*	0,0485 *efgh*	0,055 *cd*
2 NPK dose 1	2,05 cd	7,1 c	0,033 *cd*	0,115 a
2 NPK dose 1 + *P.t.*	2,27 *def*	24,1 *i*	0,0830 *k*	0,885 *f*
3 NPK dose 3	2,24 *def*	11,1 *f*	0,0935 *l*	0,467 bc
3 NPK dose 2 + *P.t.*	2,41 *f*	33,2 *l*	0,0715 *j*	0,989 *f*
4 NP dose 1	2.12 cde	8,4 *d*	0,0305 c	0,122 a
4 NP dose 1 + *P.t.*	2,31 *ef*	32,3 *l*	0,0620 *i*	0,868 *ef*
5 NK dose 1	2,14 de	4,5 **b**	0,0455 *ef*	0,098 a
5 NK **dose 1** + *P.t.*	2,26 *def*	26,7 *j*	0,0400 de	0,473 bc
6 PK dose 1	2,24 *def*	9,6 e	0,0550 *ghi*	0,238 ab
6 PK dose 1 + *P.t.*	2,06 cd	29,5 *k*	0,0565 *hi*	0,809 *def*
7 N dose 1	2,22 *def*	5,1 b	0,0275 bc	0,064 *a*
7 N dose 1 + *P.t.*	2,87 *g*	43,9 *m*	0,0525 *fghi*	0,805 *def*
8 P dose 1	2,18 *def*	9,4 de	0,0570 *hi*	0,247 ab
8 P dose 1 + *P.t.*	1,90 c	19,6 h	0,0580 *i*	0,599 cd
9 K dose 1	0,99 a	2,2 a	0,0190 *ab*	0,044 *a*
9 K dose 1 + *P.t.*	1,10 a	14,6 *g*	0,0470 *efg*	0,626 cde

- Chaque valeur est la moyenne de six répétitions
- Dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5 %
- dose 1 = 75 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$ P_2O_5 et KCl
- dose 2 = 150 kg/ha de $(NH_4)_2SO_4$ P_2O_5 et KCl

234 - EFFETS SUR LA NUTRITION EN N ET EN P (tableau 16)

En dehors les traitements avec N (traitement 7) et avec P (traitement 8), la concentration en N dans les parties aériennes des plantes non mycorhizées et mycorhizées, ne diffère pas significativement.

En ce qui concerne la concentration en P, nous constatons (tableau 16) qu'elle est significativement plus forte dans les tissus des pins mycorhizés par *P. tinctorius* que dans ceux des pins non mycorhizés. Par exemple, dans le cas d'une fertilisation par N (traitement 7), la concentration en P chez las pins mycorhizés est presque le double de celle déterminée chez les pins non mycorhizés.
Nous constatons, dans le tableau 16 également, que dans le cas d'une fertilisation complète NPK à la dose 2 (traitement 31, la concentration en P dans les tissus des pins non mycorhizés, est significativement plus faible que celle des pins mycorhizés, alors que dans les mêmes conditions, la teneur totale en P est plus élevée. Il s'agit là probablement d'un effet de dilution.

24- DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent que :

1 - le sol utilisé est probablement carencé en azote SRIVASTAVA et *al.* (1979) ont tiré des conclusions analogues sur un sol contenant 0,1 % de N total, valeur qui, rappelons-le, est presque le double de celle déterminée dans le sol de Tendouk (0,067 %). Malgré cette carence, nous avons néanmoins observé que les pins mycorhizés par *P. tinctorius* croissent normalement . Cette observation permet de supposer que, dans des sols peu fertiles tels que le sol de Tendouk, le rôle des mycorhizes ne se limite pas seulement à l'amélioration de la nutrition de P dans les sols déficients en cet élément. La nutrition des plantes en d'autres éléments minéraux (comme c'est le cas ici pour N) peut être améliorée lorsqu'elles

sont en présence de mycorhizes (cf. travaux de HATCH, 1937, pour les ectomycorhizes et ceux de HOLEVAS, 1966 et POSSINGHAM et *al.*, 1971, cités par BOWEN et SMITH, 1981, pour les endomycorhizesl ;

2 - la mycorhization favorise, non seulement la croissance, mais augmente aussi le poids de matière sèche des racines (tableau 15). Par ailleurs, de la même façon que LAMB et; RICHARDS (19743, ANWAR. 1977 cite par HADI (1980),HART et *al.* (1980), il ne semble pas, dans les conditions expérimentales de notre étude, que la fertilisation par P (apporté sous forme de supertriple) ait gêné le développement des mycorhizes : le pourcentage de mycorhization (tableau 15) chez les pins inoculés avec *P. tinctorius* sur sol non fertilisé (41,0) ne diffère pas significativement à 5 % de ceux des pins inoculés avec **P.** *tinctorius* sur sol fertilisé en P (42,28) ;

3 - l'apport de N seul, ou en combinaison avec P et K, améliore la concentration de cet élément chez les plantes mycorhizées. Cette observation est similaire à celle de POWERS et JACKSON (1978) ;

4 - dans le tableau 16, lorsque P est apporté en combinaison avec K (traitement 6), ou séparément (traitement 83, à la dose de 7.5 kg/ha, la concentration en P chez les pins mycorhizés ne diffère pas de celle déterminée chez les témoins.

3 - INFLUENCE DE DIFFERENTES FORMES ET DOSES DE PHOSPHATE

31 - EXPÉRIENCE 1 : ETUDE DU COMPORTEMENT DE P. CARIBAEA MYCORHIZÉ OU NON EN PRÉSENCE DE DIFFÉRENTES FORMES ET DOSES DE PHOSPHATE

311 - BUT OE L'EXPERIENCE

Dans cette expérience, nous voulons étudier la croissance et la nutrition en N et en P de *Pinus caribaea* inoculé ou non avec *Pisolithus tinctorius* et cultivé sur un sol où l'on a apporté du phosphore sous forme de phosphate soluble ou insoluble.

312 - MATERIEL ET METHODES

Cette expérience a été réalisée avec le même sol que dans l'étude précédente (sol de Tendoukl.

Le phosphore a été apporté sous forme de :

- phosphate naturel tricalcique insoluble (phosphate naturel de Taïba) ;
- phosphate organique insoluble (phytate de calcium)
- phosphate minéral soluble (supertriple).

Ces phosphates ont été mélangés au sol à deux doses différentes : 10 et 40 *ppm*.

L'inoculation a été réalisée en même temps que le repiquage des plantules de 4 semaines d'âge. Elle a consisté à déposer 20 cm3 d'inoculum de P. *tinctorius* sous forme de tourbe-vermiculite au voisinage des racines des plants. Les traitements étudiés pour chaque forme et dose de phosphate comprennent des témoins non inoculés et des pins inoculés avec P. *tinctorius*.

Le dispositif expérimental de cet essai est de type factoriel ($3^1 \times 2^2$) x 6 répétitions en bloc de 12 unités expérimentales, ce qui, en d'autres termes, peut être décomposé en :

- un facteur A à 3 niveaux désignant les trois formes de phosphate : supertriple, phosphate de Taïba et phytate de calcium ;
- un facteur B à 2 niveaux représentant les doses de phosphate étudiées (10 et 40 *ppm*) ;
- un facteur C indiquant l'absence ou la présence de mycorhizes désignées respectivement ici par 0 et 1.

Pour cette raison, nous avons traité les résultats de cette expérience suivant la méthode statistique décrite par BECK, DOMMERGUES et VAN DEN DRIESSCHE (1969).

L'expérience a été arrêtée au bout de 4 mois.

313 - RESULTATS [voir détail au tableau 5 en annexe]

3131 - Effets sur la croissance en hauteur

Lesinteractions AB1 et BC et les effets principaux A2 et C sont significatifs à 1 %. Mais, du fait de la signification de l'interaction BC, nous n'interpréterons pas l'effet principal C.

. *Composante de l'interaction AB1 : formes de phosphate x doses de phosphate*

Elle se présente comme suit :

		doses de phosphate (ppm) 10	40
Formes de phosphate	supertriple	11,42	9,59
	Taïba et phytate de calcium	9,84	11,34

Ces résultats montrent que l'apport de phosphate soluble (supertriple) à faibles doses, favorise mieux la croissance des pins que les doses plus fortes. Par contre, avec les phosphates insolubles (phytate de calcium et phosphate de Taïba), les effets sont meilleurs à fortes doses.

. *Composante de l'interaction BC : doses de phosphate x mycorhization*

La composante significative de cette interaction est schématisée oar ie tableau ci-après :

		doses de phosphate (ppm) 10	40
Mycorhization	0	7,50	9,72
	1	12,89	11,95

Il se dégage de ce tableau, que quelle que soit la dosé de phosphate appliquée (10 ou 40 *ppm*), la croissance en hauteur des pins mycorhizés est plus forte que celle des pins cultivés en l'absence de mycorhizes.

. *Composante de l'effet principal A2*

Elle se schématise comme suit :

formes de phosphate	Taïba	9,42
	phytate de calcium	11,50

Ce tableau indique, qu'avec les phosphates insolubles, la croissance en hauteur des pins est plus forte dans le cas de l'utilisation du phytate de calcium que dans celui du ohosphate de Taïba

3132 - Effets sur le poids des plants

. *Cas des parties aériennes*

Au seuil de 1 %, les effets principaux A2, B et C et les interactions AB1, AB2 et BC sont significatifs. Cependant, il n'y a pas lieu de

discuter des effets principaux A2, B et C, du fait de la signification des interactions AB2 et BC.

La composante de l'interaction Al31 permet de comparer les effets obtenus entre le phosphate soluble (supertriple) et les phosphates insolubles (phosphate naturel de Taïba et phytate de calcium1 aux doses de 10 et 40 *ppm* que nous avons étudiées. Cette composante AB1 est schématisée comme suit :

		doses de phosphate (*ppm*)	
		10	40
Formes de phosphate	swpertriple	0,93	0,94
	Taïba et phytate de calcium	0,73	1,11

Ce schéma indique, qu'à fortes doses (40 *ppm*), les phosphates insolubles (phosphate de Taïba et phytate de calcium!, par rapport au phosphate soluble (supertriple), ont un effet très marqué sur le poids des parties aériennes des plantes.

La composante de l'interaction AB2 permet de comparer les effets obtenus au niveau des deux formes de phosphate insoluble, c'est-à-dire le phosphate de Taïba et le phytate de calcium. Elle se présente comme suit :

		doses de phosphate (*ppm*)	
		10	40
Formes de phosphate	Taïba	0,75	0,86
	phytate de calcium	0,70	1,36

Il ressort de ce schéma que l'apport de 40 *ppm* de phosphate de Taïba a un effet positif peu marqué par rapport à celui de 10 *ppm* sur le poids des parties aériennes des plantes, alors que, dans les mêmes conditions, le phytats de calcium a un effet positif beaucouo plus net : le poids des parti es aériennes les plantes est multiplié par 2 environ.

La composante de l'interaction BC est schématisée comme suit :

		doses de phosphate (*ppm*)	
		10	40
Mycorhiza tion	0	0,47	0,89
	1	1,11	1,21

Ce schéma montre que, quelle que soit la dose de P, le poids des parties aériennes des plantes mycorhizées est plus important que celui des plantes non mycorhizées.

. Cah *du système racinaire*

Seule la composante de l'interaction PC1 (formes de phosphate x mycorhization) est significative au seuil de 1 %. Cette composante se schématise comme suit :

		Mycorhization	
		0	1
Formes de phosphate	supertriple	0,91	0,54
	Taïba et phytate de calcium	0,55	0,59

Ce tableau montre clairement qu'avec le supertriple, le poids des racines des pins est plus faible en présence qu'en l'absence de

P. tinctorius. Par contre, avec les phosphates de Taïba ou le phytate de calcium, le poids des racines des pins mycorhizées par *P. tinctorius* est supérieur à celui des témoins. Cette observation est intéressante à retenir pour le reboisement en milieu tropical semi-aride.

3133 - Effets sur la mycorhization

Au seuil de 1 %, l'interaction AC1 et les effets principaux A1 et C sont significatifs. Cependant, il n'y a pas lieu de discuter des effets principaux A1 et C, du fait de la signification de l'interaction AC1. La composante de cette interaction se présente comme suit :

		Mycorhization 0	Mycorhization 1
Formes de phosphate	supertriple	0	22,1
	Taïba et phytate de calcium	0	37,0

Les chiffres ci-dessus représentent les valeurs réelles de pourcentages de mycorhization.

Il se dégage de ce schéma que la mycorhization est plus abondante chez les pfns cultivés sur sol ayant reçu du phosphate de Taïba ou du phytate de calcium que sur celui ayant reçu du supertriple.

3134 - Effets sur la concentration en N et en P dans les plantes

3134." - *Concentration* en *N*

Pour la concentration en N, au seuil de 1 %, les interactions AB1, AC1, AC2, BC et les effets principaux Al, A2, 5 et C sont significatifs. Cependant, en dehors de l'effet principal A2, les autres effets

principaux ne seront pas interprétés ici, compte tenu de la signification des interactions ci-dessus designées.

- La composante de 1 'interaction AB1 est schématisée comme suit :

		doses de phosphate (ppm) 10	40
Formes le phosphate	supertriple	1,480	1,360
	Taïba et phytate de calcium	2,010	1,565

Il apparaît ici que la concentration en N dans les tissus des pins sur sol fertilisé en phosphates insolubles (phosphate de Taïba, phytate de calcium) est plus forte que celle des pins sur sol fertilisé en supertriple.

- La composante de l'interaction AC1 est schématisée comme suit :

		Mycorhization 0	1
Formes de phosphate	supertriple	1,525	1,435
	Taïba et phytate de calcium	2,040	1,555

ii se dégage, de ce schéma que, quelle que soit la forme de phosphate (soluble ou insoluble), la concentration en N dans les parties Aériennes des plantes non mycorhizées est plus élevée que celle des pins mycorhizés.

- La composante de l'interaction A32 est schématisée comme suit :

		Mycorhization 0	1
Formes de phosphate	Taïba	2,430	1,585
	phytate de calcium	1,650	1,525

Ce schéma montre qu'avec le phosphate de Taïba et, à un degré moindre, avec le phytate de calcium, la concentration en N dans les tissus des pfns non mycorhizés est plus forte que celle déterminée chez les pins mycorhizés.

- La composante de l'interaction BC est schématisée con-une suit :

	doses de phosphate (ppm)	
	10	40
Mycorhization -01	1,537 2,330	1,607 1,493

Nous remarquons, dans ce schéma, que la concentration en N dans les tissus des pins non mycorhizés est plus forte que celle des pins mycorhizés.

Pour la teneur en N, les interactions AB1, AB2, AC1, BC et les effets principaux A1, B et C sont significatifs. Cependant, nous n'interpréterons pas les effets principaux puisqu'ils ne sont pas libres de toute interaction.

- La composante de l'interaction AB1 se présente comme suit :

		doses de phosphate (ppm)	
		10	40
Formes de phosphate	supertriple	13,01	13,99
	Taïba et phytate de calcium	13,45	16,47

Ce tableau indique que la teneur totale en N dans les parties aériennes des pins cultivés sur sol ayant reçu du phosphate insoluble [phosphate de Taïba, phytate de calcium1 est plus forte que celle des pins sur sol amendé en supertriple.

- La composante de l'interaction A82 est schématisée comme suit :

		doses de phosphate (ppm)	
		10	40
Formes de phosphate	Taïba	14,39	14,74
	phytate de calcium	12,50	18,20

Il. apparait, dans ce tableau, que la teneur totale en N dans les parties aériennes des plantes est plus élevée avec le phytate de calcium appliqué à forte dose (40 *ppm*) qu'à faible dose (10 *ppm*). Par contre, avec le phosphate de Taiba, la teneur totale en N dans les tissus des pins ne diffère pratiquement pas aux deux doses étudiées ici.

- La composante de l'interaction AC1 se présente comme suit :

		Mycorhization	
		0	1
Formes de phosphate	supertriple	11,32	15,69
	Taïba et phytate de calcium	11,69	18,23

Dans ce schéma, il apparaît clairement que, quelle que soit la forme de phosphate, la teneur totale en N est plus forte chez les plantes mycorhizées que chez les plantes non mycorhlzées.

- La composante de l'interaction BC se présente comme suit :

		doses de phosphate (ppm)	
		0	1
Mycorhization	0	9,71	13,42
	1	16,89	17,86

Ce schéma indique que la teneur totale en N dans les tissus des plantes mycorhizées est plus forte que celle des plantes non mycorhizées.

3134.2 - *Concentration* en P

Pour la concentration en P, sont significatifs au seuil de 1 % les interactions AB1, AC1, BC et les effets principaux A1, AZ, B et C. Mais, nous n'interpréterons pas les effets principaux parce que les interactions ci-dessus désignées sont significatives.

- La composante de l'interaction AB1 est schématisée comme suit :

		doses de phosphate (ppm)	
		10	40
Formes de phosphate	supertriple	0,024	0,066
	Taïba et phytate de calcium	0,026	0,031

Lorsque l'on apporte du supertriple à forte dose (40 *ppm*), on augmente presque trois fois plus (en valeur absolue) qu'à faible dose (10 *ppm*) la concentration en P dans les tissus des pins. Dans les mêmes conditions, avec le phytate de calcium et le phosphate de Taiba, la concentration en P dans les parties aériennes des plantes est très faiblement augmentée (16 % seulement).

- La composante AC1 est schématisée comme suit :

		Mycorhization	
		0	1
Formes de phosphate	supertriple	0,026	0,063
	Taïba et phytate de calcium	0,017	0,039

Quelle que sait la forme de phosphate, en présence de mycorhizes, la concentration en P dans les tissus des plantes est multipliée par 2.

- !-a composante de l'interaction RC se présente comme suit :

	doses de phosphate (ppm)	
	10	40
Mycorhizatîon	0,0104	0,026 0,058

A faible dose de P (10 ppm) et en présence qu'en l'absence de rnycorhizes, il y a 61 % d'augmentation de la concentration en P dans les tissus des pins, tandis qu'à forte dose de P, il y a seulement 55 %.

Pour la teneur totale en P, les effets principaux, libres de toute interaction, A1, B et C sont significatifs au seuil de 1 %.

- L'effet principal A* se présente comme suit :

Formes de phosphate	supertriple	0,447
	Taiba et phytate de calcium	0,337

Il ressort de ce schéma que la teneur totale en P dans les tissus des pins est plus forte dans le cas de l'utilisation de phosphate soluble (supertriple) que dans le cas de l'utilisation de phosphates insolubles (phosphate de Taïba, phytate de calcium].

- L'effet principal B se schématise comme suit :

doses de phosphate (ppm)	
0	1
0,230	0,457

Ce schéma montre qu'une augmentation de la dose de phosphate entraîne une augmentation de la teneur totale en P dans les tissus des pins.

- L'effet principal C se présente comme suit :

Mycorhization	r - -	0	0,150
	L_____	3	0,537

Ce tableau indique que la teneur totale en P est presque quatre fois plus élevée dans les parties aériennes des plantes mycorhizées que non mycorhizées.

314 - DISCUSSION

Analysant les résultats de notre expérience, il apparaît, qu'aussi bien en présence de phosphate soluble (supertriple) que de phosphates insolubles (phosphate naturel de Taïba, phytate de calcium], les mycorhizes favorisent la croissance des plantes.

Lorsque l'on augmente de 10 *ppm* à 40 *ppm* la dose de supertriple, il n'y a pas d'effet significatif sur le poids des plantes, leur concentration et leur teneur totale en N. Mais il y a une augmentation très nette de la concentration et de la teneur totale en P dans les tissus des pins.

Avec les phosphates insolubles, lorsque l'on augmente la dose de 10 *ppm* à 40 *ppm*, il y a un effet plus marqué sur le poids des plantes et un effet moins marqué sur la concentration et la teneur totale en P dans les tissus des plantes. Avec *Pinus caribaea*, LIM et SLJNDRALINGAM (1974), CHEW TEN KOK (1975) nnt obtenu des résultats similaires en Malaisie.

Dans notre étude, cependant, il convient de préciser que l'effet significatif sur le poids des plantes est beaucoup plus marqué avec le phytate de calcium qu'avec le phosphate naturel de Tafba. Ceci, probablement en raison de la différence de solubilisation de P dans ces Jeux formes : le phosphate naturel est bien connu pour être un engrais à action progressive s'étendant sur plusieurs années (JACKSON, 1976) alors que le phytate de calcium est minéralisé plus rapidement

32 - EXPÉRIENCE 2 : EFFET DE L'INOCULATION DE *PINUS CARIBAEA* AVEC *PISOLITHUS TINCTORIUS* ET DES THIOBACILLES SUR UN SOL AMENDÉ EN PHOSPHATE NATUREL DE TAÏBA

321 - OBJET DE L'ETIJCE

Divers travaux (SWABY, 1975 ; SUBBA-RAO, 3977 ; SCHOFIELO et *al.*, 1981, OLLIVIER, 19811 ont montré, qu'en présence de soufre, les thiobacilles sont capables d'acidifier le milieu et de permettre ainsi la solubilisation d'engrais phosphatés très peu solubles comme le phosphate naturel de Taïba. Compte tenu de cela, et afin de permettre une valorisation du phosphate de Taiba, nous nous sommes proposés d'évaluer, sur un sol fertilisé avec cet engrais, les effets d'une inoculation mixte avec *Pisolithus tinctorius*-thiobacilles sur la croissance et la nutrition en éléments minéraux de *Pinus caribaea*.

322 • MATERIEL ET METHODES

Nous avons effectué cette expérience sur sol Dek qui, rappelons-le, a un pH proche de la neutralité (6.2 - mesure au KCl 1 N) et contient 11 *ppm* de P assimilable. Paur les autres propriétés physiques et chimiques de ce sol, se reporter au tableau 1 en annexe.

Ce sol a été stérilisé à l'autoclave (1 heure à 120°C) et a reçu :

- 40 *ppm* de P, soit 250 mg de phosphate de Taïba (16 % de PI par kilogramme de sol ;
- 100 mg de soufre sublimé par kilogramme de sol.

Les traitements suivants, répétés 5 fois, ont été étudiés :

1 - témoin absolu (sans inoculation et sans apport de phosphate de Taïba)
2 - inoculation avec des thiobacilles autoclavés
3 - inoculation avec des thiobacilles vivants
4 - inoculation avec *P. tinctorius*
5 - inoculation avec *P. tinctorius* et thiohacilles vivants.

L'inoculation avec les thiobacilles a consisté en l'apport de 1 g d'une culture (sur support vermiculite3 enrichie en ces bactéries et celle avec *P. tinctorius*, en l'apport de 20 cm^3 d'inoculum sous forme de tourbe -vermiculite mycélium.

Le repiquage des plantules de pin de quatre semaines d'âge, ainsi que leur arrosage à l'eau de robinet ont été effectués comme dans les expériences précédentes. Les plantes témoins absolues ont été arrosées une fois toutes les deux semaines à la solution de HEWITT (1966) diluée de moitié (voir composition de cette solution en annexe, tableau 41

L'expérience a été arrêtée seize semaines après la mise en place.

323 - RESULTATS

3231 - Croissance en hauteur et poids des plantes

Les effets des différents traitements sur la croissance en hauteur des pins [figure 11), le poids de matière sèche de leurs parties aériennes (figure 12 Al et de leurs racines (figure 12 B), se classent comme suit

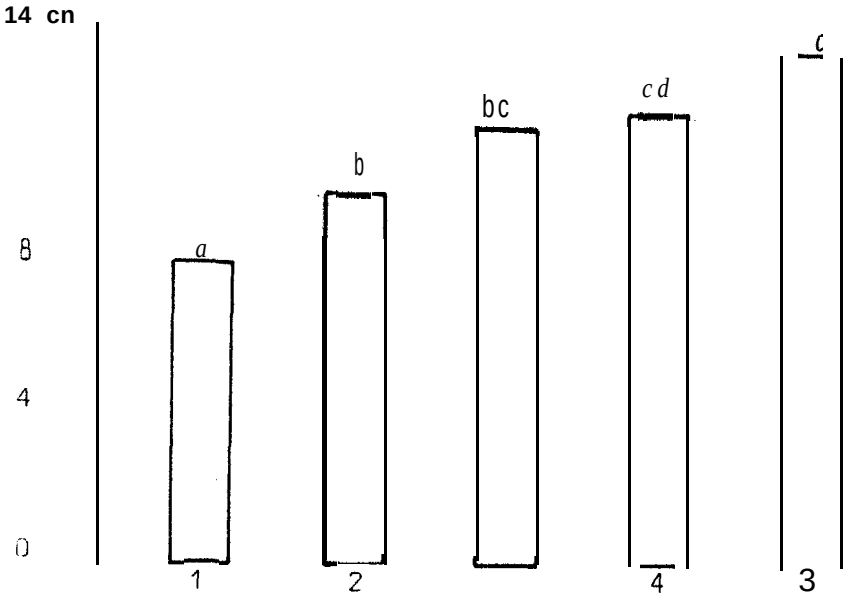


Figure 11 : Croissance en hauteur de *Pinus caribaea* en présence ou en absence de *Pisolithus tinctorius* et de thiobacilles.

Légende

1 : témoin absolu

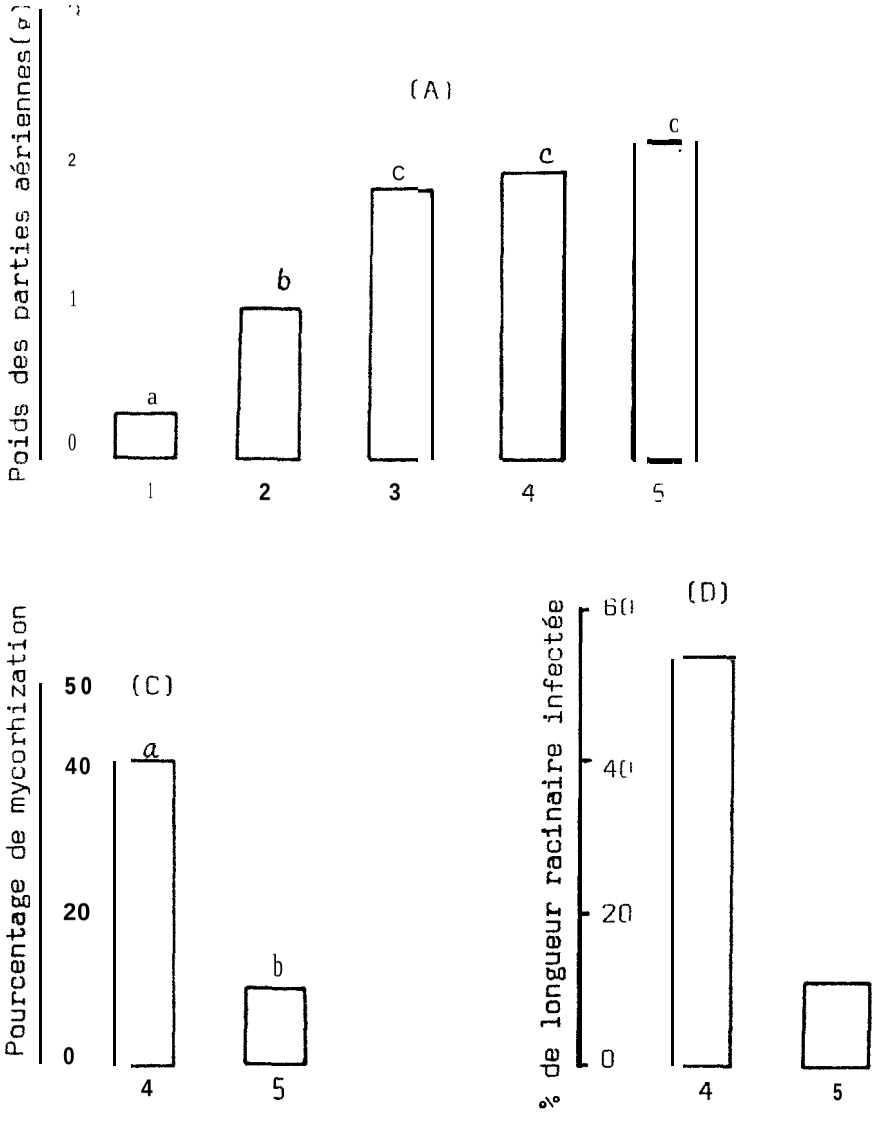
2 : Thiobacilles autoclavés

3 : Thiobacilles vivants

4 : Inoculation avec P. *tinctorius*

5 : Inoculation mixte P. *tinctorius*- thiobacilles vivants

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions
- Dans les traitements 2, 3, 4 et 5 les plantes sont cultivées en présence de phosphate naturel de Taïba (250 mg/kg de sol) et de soufre élémentaire (200 mg/kg de sol).
- Les traitements indexés de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% d'après le test de DUNCAN (1955).



1 : Témoin absolu

2 : Thiobacilles autoclaves

3 : Thiobacilles vivants

4 : Inoculation avec *P.tinctorius*

5 : Inoculation mixte *P.tinctorius*-Thiobacilles vivants

- Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions
- Les traitements indexés de la même lettre ne diffèrent pas significativement entre eux au seuil de 5% d'après le test de DUNCAN(1955).

Figure 12 : Poids des parties aériennes (A), des racines (B), pourcentage de mycorhization (C) et pourcentage de longueur racinaire infectée (D) chez *Pinus caribaea* inoculé avec *Pisolithus tinctorius* et/ou avec des thiobacilles.

Remarques : Dans le cas de la figure D, le calcul statistique n'a pas été fait parce que, pour chaque traitement, les racines ont été regroupées pour la détermination de ce paramètre

Tableau 17 : **Concentration** (%) **et teneur totale** (mg/plante) en N, P, K, Ca et Mg des **parties** aériennes de *Pinus caribaea* inoculé ou non avec *Pisolithus tinctorius* et/ou **des thiobacilles (sol Dek** fumigué)

TRAITEMENTS	N		P		K		Ca		Mg	
	%	total (mg/plante)	%	total (mg/plante)	%	total (mg/plante)	%	total (mg/plante)	%	total (mg/plante)
Témoin absolu	0,61 b	0,19 a	0,044 a	0,13 a	2.03	6,65 a	0.50	1,64 a	0,24	0,78 a
Thiobacilles autoclavés	0,72 c	0,73 b	0,137 d	1,39 b	1,48	15,18 b	0,51	5,22 b	0,20	2,05 b
Thiobacilles vivants	0,53 a	0,96 bc	0,124 c	2,26 cd	1,46	26,65 c	0,37	6,75 bc	0,14	2,55 bc
Inoculation avec *P. tinctorius*	0,51 a	0,94 bc	0,101 b	1,88 bc	1,36	25,48 c	0,51	9,52 d	0.17	3,18 cd
Inoculation mixte *P. tinctorius*-thiobacilles vivants	0,53 a	1,14 c	0,109 b	2,48 d	1.25	27,09 c	0,37	8,01 cd	0,16	3,46 d

- **Chaque** valeur **est la moyenne de** cinq **répétitions**
- **Dans une même** colonne, **les** valeurs suivies **de la même lettre indiquent** que **ces traitements ne** sont pas **significativement différents** entre **eux, au seuil** de 5 %, **selon le test de** DUNCAN (1955)

dans l'ordre décroissant :

P. tinctorius + thiobacilles ou *P. tinctorius* ou thiobacilles vivants ou thiobacilles autoclavés > témoin absolu.

Toutefois, il convient de noter que les effets de l'inoculation avec P. *tinctorius* et/ou avec des thiobacilles, sont beaucoup plus marqués sur la croissance en hauteur que sur le développement des parties aériennes ou des racines des pins.

3232 - Pourcentage de mycorhization et de longueur racinaire infectée (figures 12 C et D)

Environ 10 % de racines sont mycorhizées chez les pins inoculés avec P. *tinctorius* et avec des thiobacilles, alors que chez les pins inoculés avec *P. tinctorius* seulement, il y a quatre fois plus de racines mycorhizées. Dans les mémes traitements, les pourcentages de longueur racinaire infectée sont respectivement de 54 et 12 %

3233 - Nutrition en éléments minéraux des plantes (tableaux 18 et 193

Les effets des différents traiternents sur la concentration en N dans les parties aériennes des plantes (tableau 171 se classent comme suit, dans l'orore décroissant :

thiobacilles autoclavés > témoin absolu) thiobacilles vivants ou *P. tinctorius* + thiobacilles ou *P. tinctorius*.

L'adjonction de thiobacilles n'a eu aucun effet sur la concentration en azote dans les tissus des pins.

Il apparaît (tableau 171 que l'inoculation avec *P. tinctorius* ou avec des thiobacilles vivants et même l'adjonction de thiobacilles autoclavés, accroît significativement la concentration en P dans les parties aériennes des pins par rapport à celle contenue chez les pins témoins.

Tableau 18 : Concentration (°/oo ou ppm) et teneur totale (mg/plante) Mn, Fe et Zn des parties aériennes de *Pinus caribaea* inoculé ou non avec *Pisolithus tinctorius* et/ou avec des thiobacilles (Sol Dek fumigué)

TRAITEMENTS	Mn		Fe		Zn	
	°/oo	total (mg/plante)	*ppm*	total (mg/plante)	*ppm*	total (mg/plante)
Témoin absolu	0,15	0,04 *a*	175	0,05 *a*	15	0,004 *a*
Thiobacilles autoclavés	0,54	0,54 *b*	220	0,21 *b*	28	0,028 *b*
Thiobacilles vivants	0,42	0,76 *c*	140	0,25 *b*	20	0,036 *c*
Inoculation avec *P. tinctorius*	0,36	0,67 *bc*	180	0,33 *c*	16	0,029 *b*
Inoculation mixte *P. tinctorius* - thiobacilles vivants	0,26	0,55 *b*	200	0,42 *d*	16	0,034 *c*

- Chaque valeur est la moyenne de cinq répétitions
- Dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre indiquent que ces traitements ne sont pas significativement différents entre eux au seuil de 5 %, selon le test de DUNCAN (1955)

Les effets des différents traitements sur la concentration en P dans les tissus des plantes se classent comme suit, dans l'ordre décroissant :

thiobacilles autoclaves > thiobacilles vivants} P. *tinctorius* + thiobacilles ou *P. tinctorius* > témoin absolu.

Dans le tableau 17, nous constatons que la teneur totale en P dans les tissus des pins inoculés avec *P. tinctorius* et des thiobacilles est significativement plus forte que celle des pins inoculés avec *P. tinctorius*.

Si l'on considère la teneur totale en K, Ca, Mg [tableau 171, on obtient toujours un effet positif très marqué de l'inoculation avec *P. tinctorius* ou avec *P. tinctorius* et thiobacilles par rapport à l'inoculation avec des thiobacilles pour Mg et un effet positif mains marqué pour K et Ca.

En ce qui concerne les oligoéléments (tableau 18), on notera l'effet très marqué de l'inoculation avec: *P. tinctorius* et des thiobacilles sur la concentration en Fe et la teneur totale qui semble doublée par rapport au traitement thiobaciïles.

3234 - Observations sur le pH du sol

Nous remarquons dans le tableau 19, que l'inoculation avec les thiobacilles entraîne une diminution de la valeur du pH du sol. Cette diminution est faible, ce qui pourrait faire penser qu'il n'y a pas eu d'acidification notable du sol. En fait, cette acidification a pourtant existé à l'échelle du microhabitat ; il s'agit là d'une hypothèse assez vraisemblable. En effet, comme l'ont déjà observé différents auteurs (SWABY, 1975 ; SUBBA-RAO, 1977 ; SCHOFIELD et *al.*, 1981), les thiobacilles acidifient le sol en présence de soufre élémentaire et favorisent ainsi la solubilisation des phosphates naturels.

Tableau 19 : Valeur du pH du sol en fin d'expérience

(mesure au $CaCl_2$ 0,01 M)

Traitements	Répétitions		Valeur moyenne
	1	2	
Témoin absolu	6.1	6,2	6,1
Thiobacilles autoclavés	6.1	6,1	6,1
Thiobacilles vivants	5.9	5,7	5,6
Inoculation avec *P. tinctorius*	6,1	6,1	6,1
Inoculation mixte avec *P. tinctorius*-thiobacilles vivants	6.0	5,8	5,9

324 - DISCUSSION

Il peut parraâtre surprenant qu'il n'y ait pas de différence significative entre l'effet de l'apport de thiobacllles vivants et celui de thiobacllles autoclavés. Ceci résulte vraisemblablement de ce que nous avons insuffisammentlavé l'inoculum de thiobacilles autoclaves. Ce serait donc l'acide sulfurique formé pendant la culture des thiobacilles (avant leur autoclavage) qui a provoqué la solubilisation du phosphate de Taïba dans ce traitement.

D'autre part, lorsque l'on inocule les pins avec *Pisolithus tinctorius* et des thiobacilles, il y a une diminution du pourcentage de mycorhization, mais l'effet de l'inoculation sur la croissance des plantes est équivalent à celui obtenu dans le cas de l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius* seul. Par ailleurs, l'inoculation mixte *Pisolithus tinctorius*-thiobacilles a un effet positif très net sur la nutrition en Fe des plantes.

En conclusion, nous pouvons retenir de cette étude que, dans des sols pauvres en P assimilable comme le sol Dek, l'apport de soufre et l'adjonction de thiobacilles pourraient, dans certains cas, permettre aux plantes de tirer meilleur profit de l'apport de phosphate naturel dans ces sols.

CHAPITRE V

INHIBITION DE LA MYCORHIZATION ET DE LA CROISSANCE DE PINUS CARIBAEA PAR UNE MICROFLORE ANTAGONISTE

1 - INTRODUCTION - BUT DE L'EXPERIENCE

Divers travaux ont mis en évidence une activité inhibitrice de certains microorganismes sur la croissance *in vitro* de champignons ectomycorhiziens . Citons, par exemple, les travaux de BRIAN et *al.*, (1945) qui ont montré que *Penicillium gensenî* produit un antibiotique auquel sont sensibles *Suillus bovinus, S. grevillei* et *Cenococcum graniforme.* LEVISHON, 1957 (cité par BOWEN et THEODOROU, 1979) a remarqué que la croissance in *vitro* du mycélium de divers bolets est inhibée par *Alternaria tenuis.*

Pour tenter de comprendra les différences de réponse à l'inoculation de *P. caribaea* avec *Pisolithus tinctorius* dans les dix sols que nous avons testés dans l'étude rapportée au chapitre III du présent mémoire, nous avons essayé de savoir si le mauvais développement des pins mycorhizés n'est pas dû à l'action de microorganismes présents dans certains sols. Pour cela, nous avons réalisé la présente étude sur deux sols où l'effet du pH ou celui de la teneur du sol en P assimilable ne pouvaient être mis en cause, puisqu'il s'agit, dans les deux cas, de sols acides et à faible teneur en P assimilable. Ces deux sols sont les suivants :

- Tendouk, sol où les pins ont répondu le plus favorablement à l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius* ;
- Djibélor, sol où l'on a obtenu les plus mauvais résultats de la mycorhization de *P. caribaea* par *Pisolithus tinctorius.*

Les principales caractéristiques physiques et chimiques de ces deux sols figurent au tableau 2 en annexe.

2 - TRAITEMENTS ETUDIES ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Chacun des sols ci-dessus désignés a été fumigué ou non au bromure de méthyle et rempli dans des gaines de plastique [dimensions a plat : 30 cm x 16 cm),

Les traitements étudiés ont été les suivants pour chaque sol :

- sol fumigué
- sol fumigué + suspension de sol de Djibélor à 10 %
- sol non fumigué
- sol non fumigué + suspension de sol de Djibélor à 10 %.

Les pins ont été repiqués à 4 semaines d'âge et ont tous été inocules avec *Pisolithus tinctorius* : 20 cm^3 d'inoculum (sous forme de tourbe-vermiculite, lavé plusieurs fois à l'eau de robinet1 par plante.

La suspension du sol de Djibélor a été obtenue comme suit : 500 g de sol sont versés dans 5 litres d'eau stérile. On agite ce mélange pendant une heure et on le fait passer sur un papier filtre. Le filtrat ainsi obtenu a été apporté aux plantes en trois fois (600 ml par plante à la Ière, 5ème et 13 ème semaine après la mise en place de l'expérience). Le ph de la suspension de sol relevé, après filtration, a été de 6,2 - 6,3 3 chaque fois.

Le dispositif expérimental de cet essai est de type factoriel 2^3 x 3 répétitions en bloc de 8 unités expérimentales, ce qui, en d'autres termes, peut être décomposé en :

, un facteur A à 2 niveaux désignant le type de sol utilisé (sol de Tendouk ou de Djibélor) ;

, un facteur B à 2 niveaux indiquant que les sols ont été fumigués (+) ou non fumigués I-1 ;

, un facteur C à 2 niveaux indiquant l'apport (+) ou non (-) de la suspension de sol de Djibélor.

Pour cela, nous avons traité les résultats de cette expérience suivant la méthode statistique décrite par BECK, DOMMERGUES et VAN DEN DRIESSCHE (1969).

L'expérience a été arrêtée au bout de quatre mois.

3 - RESULTATS (voir détail tableau 6 en annexe!

31 - EFFETS SUR LA CROISSANCE EN HAUTEUR

Au seuil de 1 %, l'interaction AB et les effets principaux A, B, C sont significatifs. Cependant, du fait de la signification de l'interaction AB, il est sans objet d'interpréter les effets principaux A et B.

La composante de l'interaction AB (type de sol x fumigation) est schématisée comme suit :

		Type de sol	
		Tendouk	Djibélor
Fumigation	-	16,55	10,70
	+	18,35	16,70

Il apparait ici que la fumigation du sol favorise la croissance en hauteur des plants.

La composante de l'effet principal C (suspension de sol de Djibélorl se présente comme suit :

suspension de sol de Djibélor	
-	+
17,73	13,43

Ce tableau indique que les microorganismes de la suspension de sol de Djibélor inhibent très nettement la croissance en hauteur des plantes (photo ci-contre).

32 - EFFETS SUR LE POIDS TOTAL DES PLANTES

L'interaction BC et les effets principaux B et C sont significatifs à 1 %. Cependant, nous n'interpréterons pas les effets principaux B et C, du fait de la signification de l'interaction BC (fumigation x suspension3 dont la composante se schématise comme suit :

		Fumigation	
		-	+
suspension de sol de Djibélor	-	2,73	4,39
	+	2,16	2,63

L'activité inhibitrice des microorganismes de la suspension de sol de Djibélor sur le poids total des plantes est beaucoup plus marquée sur sol fumigué que non fumigué.

33 - EFFETS SUR LA MYCORHIZATION

Au seuil de 1 %, les interactions AC, BC et les effets principaux A, 5 et C sont significatifs, Mais, comme les interactions AC et BC sont significatifs, nous n'interpréterons pas les effets principaux A, B et C.

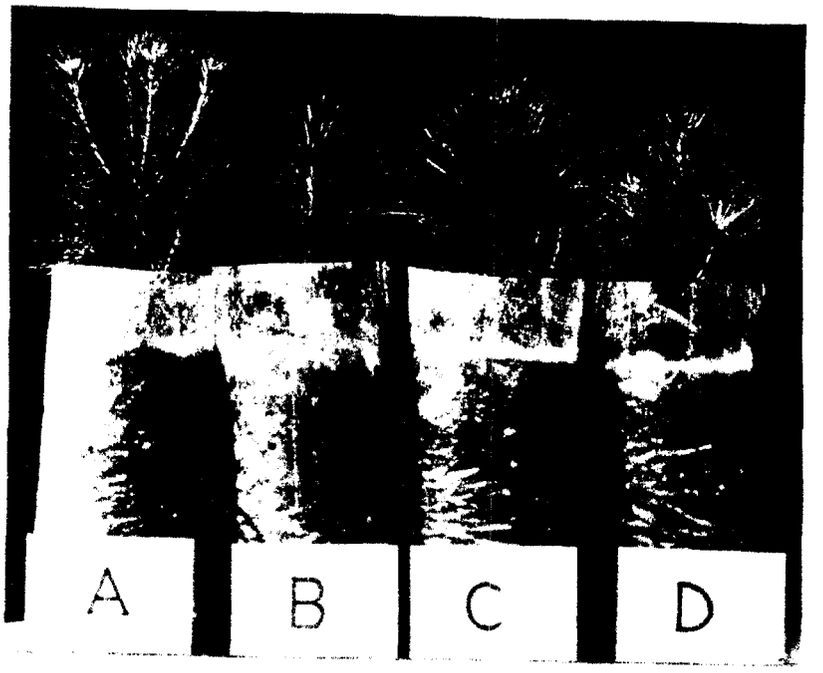


Photo : Sol de Tamboul - Croissance de *Pinus caribaea* mycorhizé par *Pisolithus tinctorius* et en présence, ou non, de microorganismes de la suspension du sol de Djibélor

A = sol stérilisé
B = sol stérilisé + microorganismes du sol de Djibélor
C = sol non stérilisé
D = sol non stérilisé + microorganismes du sol de Djibélor

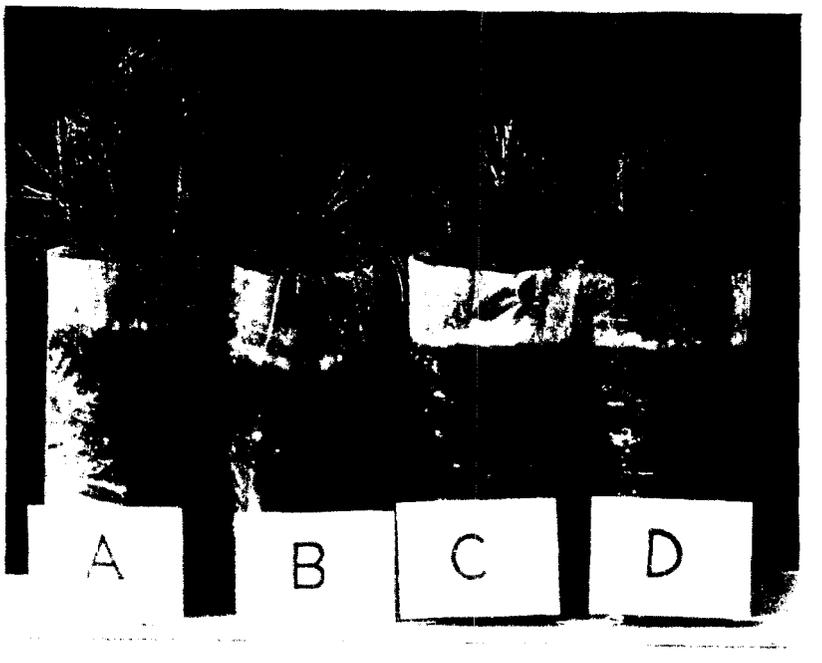


Photo : Sol de Tamboul - croissance de *Pinus caribaea* mycorhizé par *Pisolithus tinctorius* et en présence, ou non, de microorganismes de la suspension du sol de Djibélor

La composante de l'interaction AC (type de sol x suspensinn de sol de Djibélor) est représentée par le schéma ci-après :

		Type de sol : Tendouk	Djibélor
Suspension de sol de Djibélor	-	50	30,50
	+	30	14,70

Les chiffres ci-dessus représentent les valeurs réelles de pourcentage de mycorhization. Avec la suspension de sol de Djibélor, le pourcentage de mycorhization chez les pins diminue de 40 % sur sol de Tendouk et de 52 % sur sol de Djibélor.

La composante de l'interaction RC (fumigation x suspension de sol de Djibélor) est représentée par le schéma suivant :

		Fumigation : -	+
Suspension de sol de Djibélor	-	31,00	49,50
	+	15,00	23,50

Les chiffres ci-dessus représentent les valeurs réelles de pourcentage de mycorhization.

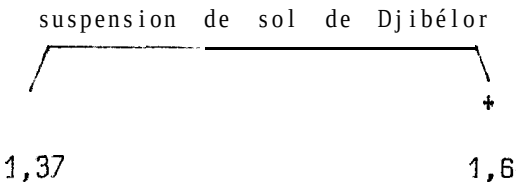
II se dégage du schéma ci-dessus que l'action des microorganismes de la suspension de sol de Djibélor sur la mycorhization est identique sur sol fumigué et non fumigué. Dans ces deux cas, le pourcentage de mycorhization diminue de 50 % environ.

34 - EFFETS SUR LA NUTRITION EN N ET EN P DES PLANTES

341 - NUTRITION EN N DES PLANTES

a) - Pour la concentration en N dans les plantes, seul l'effet principal, libre de toute interaction, est significatif au seuil de 1 %.

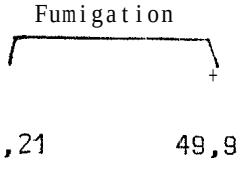
Cet effet prineipal (suspension de sol de Djibélor) est schématisé comme suit :



Ce tableau montre que la concentration en N est plus forte dans les tissus des pins cultivés en présence qu'en l'absence des microorganismes de la suspension de s-01 de Djibélor.

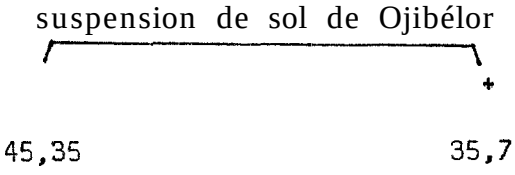
b) - Pour la teneur totale en N dans les plantes, les effets principaux B et C, libres de toute interaction, sont significatifs à 1 %.

L'effet principal B (fumigation1 est schématisé con-me suit :



Il apparait ici que la teneur totale en N est plus forte dans les tissus des pins cultivés sur sol fumigué que non fumigué.

L'effet principal C (suspension de sol de Djibélor) est schématisé comme ci-après :



Il se dégage de ce tableau que la teneur totale en N est plus faible dans les tissus des pins cultivés en présence qu'en l'absence des microorganismes de la suspension de sol de Djibélor. Ce résultat sur la teneur totale en N et celui sur la concentration en ce même élément suggèrent qu'il y a un effet de dilution de N chez les plantes cultivées en l'absence des microorganismes de la suspension de sol de Ojibélor.

342 - NUTRITION EN P DES PLANTES

a) - Pour la concentration en P dans les plantes, sont significatifs à 1 % l'interaction AB et l'effet principal B. Cependant, l'effet principal B ne sera pas interprété parce que l'interaction AB est significative.

La composante de l'interaction AB (type de sol x fumigation) est représentée comme l'indique le schéma suivant :

Fumigation	Type de sol : Tendouk	Djibélor
-	0,061	0,050
+	0,070	0,090

Ce schéma montre clairement que la concentration en P est plus élevée dans les tissus des pins sur sol fumigué que non fumigué. Toutefois, nous pouvons préciser que cet effet positif de la fumigation est beaucoup plus marqué sur sol de Djibélor que sur celui de Tendouk, probablement en raison du fait que, dans ce dernier sol, nous avons remarqué que P n'est pas le facteur limitant principal, mais N (voir chapitre IV - Etude de la fertilisation NPK, pages 73 a 81)

b) - Pour la teneur totale en P dans les plantes, les interactions AB et BC et les effets principaux B et C sont significatifs à 1 %. Cependant, comme l'interaction BC est significative, l'interprétation des effets principaux B et C est sans objet.

La composante de l'interaction AB se schématise comme suit :

Fumigation	Type de sol : Tendouk	Djibélor
-	1,59	0,93
+	2,31	3,02

Il ressort de ce tableau que la teneur totale en P est plus forte dans les tissus des pins sur sol fumigué que sur sol non fumigué. Nous ajouterons que la remarque que nous avons faite sur la concentration en P (c'est-à-dire, effet de la fumigation plus marqué sur sol de Djibélor que sur celui de Tendouk - voir paragraphe 342, alinéa 1) se vérifie également au niveau de la teneur totale en P dans les tissus des plantes.

La composante de l'interaction BC est schématisée comme suit :

		Fumigation	
		-	+
Suspension de sol de Djibélor	-	1,50	3,46
	+	1,02	1,82

Ce schéma indique que la teneur totale en P dans les parties aériennes des pins sur sol fumigué ou non fumigué est plus faible en présence qu'en l'absence des microorganismes de la suspension de sol de Djibélor.

4 - DISCUSSION

Faute de temps, nous n'avons pas poursuivi plus loin cette étude préliminaire. Néanmoins, les résultats que nous avons obtenus font ressortir les points suivants :

1 - les microorganismes de la suspension de sol de Djibélor exercent une activité inhibitrice sur la mycorhization de *Pinus caribaea* par *Pisolithus tinctorius*. Ces microorganismes réduisent aussi les effets de la mycorhization sur la croissance et la nutrition en éléments minéraux des pins. En effet, nous avons montré que, lorsque l'on réintroduit dans le sol de Djibélor stérilisé sa propre microflore sous forme de suspension de sol, la croissance en hauteur, le poids total, le pourcentage de racines mycorhizées et la nutrition en P des plantes sont considérablement affectés.

Dans le cas du sol de Tendouk, la microflore exogène (microflore de Djibélor) apportée par suspension de sol, est vraisemblablement compétitive puisque l'on a un effet inhibiteur très marqué de cette microflore exogène sur la croissance en hauteur, l'infection des racines de pins par *Pisolithus tinctorius* et leur nutrition en P dans le sol de Tendouk non stérilisé .

Ces résultats, bien qu'encore insuffisants pour expliquer les observations qui ont été faites dans cette étude, sont intéressants parce que :

- d'une part, ils montrent que la réponse des pins à la mycorhization par *Pisolithus tinctorius*, dans certains des sols de Casamance que nous avons étudiés (voir chapitre III), ne résulte pas toujours de l'influence des facteurs physico-chimiques des sols, mais, peut être influencée par des facteurs biologiques, vraisemblablement la présence de microorganismes antagonistes;
- d'autre part, ils apportent un élément de réponse à l'échec des premières inoculations de *Pinus caribaea* en Casamance, rapporté par GIFFARD (1966, 1967) et par DELWAULLE (1978).

2 - L'intérêt de la fumigation au bromure de méthyle de certains sols de Casamance, tel que celui de Djibélor, pour favoriser une expression meilleure de l'inoculation de *Pinus caribaea* avec *Pisolithus tinctorius*,

CONCLUSIONS GENERALES

Comme le souligne IVORY (1980), jusqu'à présent, peu d'études ont été consacrées aux ectomycorhizes des pins exotiques en milieu tropical. Nos travaux sur l'un de ces pins (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) ont permis de montrer, sur plus de dix sols du Sénégal, l'absence de champignons mycorhiziens indigènes capables de former une symbiose avec ce pin. Cette observation suggère que l'introduction de *Pinus caribaea* au Sénégal pose, comme préalable, la maîtrise de la mycorhîzation de ce pin en pépinière, par un champignon ectomycorhizien tel que *Pisolithus tinctorius*.

Dans cette optique, nous avons comparé différentes techniques de production de l'inoculum de *Pisolithus tinctorius*. Au cours de cette étude, nous avons observé, comme JUNG et MUGNIER (communication personnelle) sur *Hebeloma cylindrosporum*, que la culture en fer-menteur permet d'obtenir un développement abondant et rapide du mycélium de *Pisolithus tinctorius*. Cette technique de culture nous a permis d'accélérer la préparation de l'inoculum du champignon en comparaison de la technique de culture habituelle, c'est-à- dire, celle mise au point par MARX et ZAK (1965) : 2 à 3 semaines, au lieu de 6 à 8, suffisent pour disposer de grandes quantités de mycélium de *Pisolithus tinctorius* utilisable tel quel ou après incorporation juste avant l'inoculation des plantes à un support tel que la tourbe-vermiculite.

Dans nos expériences (réalisées dans des conditions naturelles de température et de lumière au Sénégal), l'inoculation de *Pinus caribaea* avec *Pisolithus tinctorius* nous a permis de montrer que les effets de la mycorhization et le comportement de *Pisolithus tinctorius* varient considérablement suivant les sols utilisés. Par exemple, nous avons montré, sur deux sols du Sénégal (Dek et Dior), que l'effet de la mycorhization par *Pisolithus tinctorius* sur la croissance de *Pinus caribaea* varie en fonction de la teneur

en P assimilable : sur sol Dek contenant 11 *ppm* de P assimilable, la mycorhization multiplie le poids des pins par 10 et, sur sol Dior contenant 82 *ppm* de P assimilable, par- 2 seulement. De même, la concentration et la teneur totale en P dans les parties aériennes des pins mycorhizés sont respectivement augmentés (par rapport à celles des plantes témoins) de 27 % et de "151 % sur sol Dek ; de 17 % et de 125% sur sol Dior.
Par ailleurs, il convient de souligner que la nutrition en Cu des plantes mycorhizées a été améliorée de façon considérable (concentration en Cu chez les pins non mycorhizés sur les deux sols : 0 *ppm* ; chez les pins mycorhizés sur sol Dek : 2,9 *ppm* et sur sol Dior : 1,8 *ppm*).

Notre travail a également montré que le pH du sol peut être un facteur déterminant pour la réussite ou l'échec des inoculations. Nous avons pu vérifier, sus sol Dek, qu'un abaissement de la valeur du pH du sol de 7,0 à 4,0 favorise l'installation de la mycorhization chez les plants de *Pinus caribaea* et une expression meilleure de l'effet de leur inoculation avec *Pisolithus tinctorius*. Par contre, sur sol de Tendouk, un relèvement de la valeur du pH du sol de 4,2 à 6,5, gêne considérablement la formation des mycorhizes : le pourcentage de racines mycorhizées passe de 33, 18 à 3,07 % .

Par ailleurs, nous avons constaté, qu'en combinant l'apport d'éléments minéraux N, P, K et la mycorhization, on améliore, non seulement le développement des parties aériennes des plantes et la nutrition de celles-ci en N ou en P, mais aussi le développement des racines des plantes. On a là un exemple parmi de nombreux autres d'un bénéfice supplémentaire de la conjugaison des effets de la fertilisation et de la mycorhization et dont l'incidence pratique est importante dans les reboisements en zone tropicale.

D'autre part, comme l'a déjà observé OLLIVIER (1981) sur *Vigna unguiculata*, nous avons remarqué que, dans certains cas, on peut améliorer l'utilisation de phosphates insolubles (comme, par exemple, le phosphate naturel de Taïba produit, au Sénégal) par les pins en les inoculant avec *Pisolithus inctorius* et avec des thiobacilles.

Dans une étude réalisée sur dix sols de Casamance, nous avons montré que la réponse des pins à la mycorhization par *Pisolithus tinctorius*, ou par un inoculum mixte (sous forme de sol mycorhizien), est très variable. Dans une première catégorie de sols [sols de Diakène, de Kabrousse et de Tendouk], les pins se développent mieux lorsqu'ils sont mycorhizés par *Pisolithus tinctorius* que lorsqu'ils le sont par un inoculum mixte. Dans une deuxième catégorie de sols (sols des Bayottes, de Bignona et de Tobor), les effets de l'inoculation des pins avec *Pisolithus tinctorius*, ou avec un inoculum mixte, sont identiques. Dans une troisième catégorie de sols (sols de Diégoune, de Diemberring, de Ojibélor et de Santiaba Manjakl, les pins mycorhîzés par *Pisolithus tinctorius* se développent moins bien que ceux mycorhîzés par un inoculum mixte.

Nous avons cherché à étudier la cause des différences de comportement de *Pinus caribaea* observées dans ces différents sols. Une étude de corrélation simple avec les propriétés chimiques des sols nous a montré que la réponse de *Pinus caribaea* à la mycarhization par *Pisolithus tinctorius* n'était reliée à aucun des paramètres chimiques des sols étudiés. Dans un de ces sols (sol de Djibélor), nous avons constaté que l'échec de la mycorhization ne résulte pas toujours de l'intervention des facteurs physico-chimiques défavorables (tels que le pH trop élevé, la carence en certains éléments minéraux), mais pourrait être le fait de l'action d'une microflore antagoniste.

Dans la littérature, on trouve quelques informations sur la microflore de la mycorhizosphère. MARX (1389) a mis en évidence,

in vitro, l'effet inhibiteur des champignons mycorhiziens vis-à-vis des champignons phytopathogènes. Mais, inversement, on n'a peu d'information sur l'inhibiti on de la mycorhization par les microorganismes du sol. Nos résultats, indiquant la présence probable dans le sol de Djibélor de microorganismes antagonistes de *Pisolithus tinctorius*, sont intéressants, d'autant plus que ces microorganismes conservent cette activité antagoniste même quand ils sont artificiellement Introduits dans un autre sol initialement favorable à l'inoculation avec *Pisolithus tinctorius* comme l e sol de Tendouk. Cette observation appelle les hypothèses suivantes :

1 - les microorganismes antagonistes de *Pisolithus tinctorius*, présents dans le sol de Djibélor, devraient, pour exprimer leur activité inhibitrice, se développer clans la rhizosphère de *Pinus caribaea* cultivé dans le sol de Tendouk. C:e seraient donc des microorganismes de type "rhizosphérique" vivant aux dépens des éléments exsudés des racines de *Pinus caribaea* ;

2 - ces microorganismes expriment leur activité inhibitrice même en présence de la microflore naturelle du sol de Tendouk. Ce qui incite à penser qu'ils seraient :

   - ou bien des compétiteurs puissants croissant plus vite que les autres microorganismes dans la rhizosphère et empêchant ainsi l'infection des racines de *Pinus caribaea* p a r *Pisolithus tinctorius*,
   - ou bien des producteurs d'antibiotiques très efficaces contre *Pisolithus tinctorius*.

Du point de vue pratique, on peut retenir, de cette étude, que l'échec de l'inoculation en milieu tropical pourrait, parfois, être dû à l'activité inhibitrice des microorganismes du sol. On devrait donc, pour faciliter l' établissement des champignons mycorhi zi ens , éliminer les microorganismes compétiteurs et antagonistes.

BIBLIOGRAPHIE

ALLE%, G.N., 1953
Experiments n soil bacteriology
Burgess Publ: shing Co, p. 36-48.

ANWAR, C., 1977
The effects f nitrogen and phosphorus fertilizers and the inoculat on method on the development of mycorrhiza and the grow h of *Pinus merkusii* seedlings.
Sarjana Thesis. Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, Bogor.

BALDWIN, H.I., 1942
Forest tree seed of the North temperate regions with special reference to North America.
Waltham, Mass., USA 240 p.

BATE, G.C., 1981
Nitrogen cyc ing in savanna ecasystems,
In Terrestri. Nitrogen Cycles. Ecol. Bull.
(F.E. CLARK et T. ROSSWALL, ed.) 33 : 463 - 475

BAULE, H. et FRICKER, ., 1969
La fertilisation des arbres forestiers - 256 p.
BLV Verlagsgesellchaft mbH, München.

BECK, G., DOMMERGUES, .R. et VAN DEN ORIESSCHE, R., 1969
L'effet liti re. II - Etude expérimentale du pouvoir inhibiteur d-s composés hydrosolubles des feuilles et des litières forestières vis-à-vis de la microflare tellurique.
Œcol. Plant , 4 : 237 - 266

BOULLARD, B., 1958
Progrès réce ts dans 1 'étude des mycorhizes ectotrophes .
Bulletin de a Société Botanique de France, 105 : 60 - 93.

BOWEN, G.D., 1980
Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems.
In Tropical Mycorrhiza Research (P. MIKOLA, ed.)
p. 165 - 19(- Clarendon Press Oxford - New York.

BOWEN, G.D. et THEODOR OU, C., 1979
Interactions between bacteria and ectomycorrhizal fungi.
Soil Biol. Biochem., 11 : 119 - 126.

BOWEN, G.D., SKINNER, M.F. et BEVEGE, D.I., 1974
Zinc uptake by mycorrhizal and uninfected roots of *Pinus radiata* and *Araucaria cunninghamii*.
Soil Biol. Biochem. 6 : 141 - 144.

BOWEN, G.D. et SMITH, S.E., 1981
'The effects of mycorrhizas on nitrogen uptake by plants.
In Terrestrial Nitrogen Cycles Ecol. Bull.
(F.E. CLARK et T., ROSSWALL, ed.) 33 : 237 - 247.

BRIAN, P.W., HEMMING, H.G. et Mc GOWAN, J.C., 1945
Origin of a toxicity of mycorrhiza in Wareham Heath.
Nature, Lond., 155 : 637 - 638

CAMERON, D.M., RANCE, S. J. et WILLIAMS, E.R., 1981
Fertilizer responses of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* on tropical red earth.
Aust. For, Res., 11 : 35 - 45.

CHAUDRY, M.A., 1980
Ectomycorrhiza ***of*** *Pinus caribaea* in Uganda.
In Tropical Mycorrhiza Research (P. MIKOLA, ed.)
p. 88 - 89 - Clarendon Press Oxford - New York

CHEW TEN KOK, 1975
Preliminary notes on the performance of experimental plantations in Bahau F.R.
Malay. For,, 38 : 140 - 148

CHU-CHOU, M., 1979
Mycorrhizal fungi of *Pinus radiata* in New Zealand.
Soil Biol. Biochem., 11 : 557 - 562

CLEMENT, A., 1977
Point 77 sur certaines analyses foliaires.
Document ronéo 24 p., INRA/CNRF - Station de Recherches sur les Sols Forestiers et la Fertîlisation

COME, D., 3962 a
Comment l'oxygène nécessaire à la germination des graines parvient-21 à l'embryon ?
Rev. Gen. Bot., 69 : 563 - 573

CORNET, F,, 1981
Recherches préliminaires sur la symbiose de deux Acacia tropicaux (A. *raddiana* SAVI et A. *holosericea* A, GUNN.) avec *Rhizobium* sp et un champignon endomycorhizien (*Glomus mosseae* NICOL et GERD. 3
Mémoire de 3ème année ENTTEF, 58 pages,

DAFT, M.J. et HACSKAYLC E., 1977
Growth of endomycorrhizal and non mycorrhizal red maple seedlings in and and anthracite spoil.
Forest Sci., 3 : 207 - 216

DE LA MENSBRUGE, M.G., 1969
Rapport annue 1969
CTFT Côte d'Ivoire, 85 pages

DELWAULLE, J.C., 1978
Plantations forestières en Afrique Tropicale sèche - Techniques et espèces à utiliser
Centre Technique Forestier Tropical, 178 pages

DENNIS, J.J., 1980
Sclerotia of the gasteromycete *Pisolithus tinctorius*.
Can. 3. Microbiol., 26 : 1505 - 1507

DTXON, R.K., GARRETT, H E., BTXBY, J.A., COX, G.S. et TOMPSON, J.G., 1981
Growth, ectomycorrhizal devel.opment and root soluble carbohydrates of black oak seedlings fertilized by two methods.
Forest Sci., 7 : 617 - 624

DOMMERGUES, Y. et MANGENOT, F.. 1970
Ecologie microbienne du sol.
Masson, Paris 796 p.

DUGGAR, B.M. et DAVIS, .W., 1919
Seed disinfec ion for pure culture work : the use of hypochlorites
Ann. No. Bot. Gard., 6 : 159 - 170

DUNCAN, D.B., 1955
Multiple rang and multiple F tests
Biometrics 11 : 1 - 42

EKWEBELAM, S.A, 1973
Studies on pi e mycorrhizae at Ibadan
Fed. Dept. Fo . Res. Research Paper (Forest Series) 18 : 10 p.

EKWEBELAM, S.A., 1980
Preliminary s udies of inoculation of *Pinus* species with ectomyco rhizal fungi in Nigeria
In Tropical M corrhiza Research (P. MIKOLA, ed.)
p. 80 - 81 - larendon Press Oxford.

FABRE, J.P. 1968
Recherches su la mycorhizati.on des jeunes pins en Côte d'Ivo re.
CTFT, Abidjan Côte d'Ivoire, 19 p.

F A O, 1976
Boisement des savanes en Afrique
Kaduna, Nigéria, 353 p.

FIELDING, J.M., 1973
Establishment of an experimental plantation and trial plantations and investigation of growth rates, fertilising and wood characteristics in West Malaysia
FAO, FO : SF/MAL/67/512
Working Paper 22, Kuala Lantpur, 130 p.

GAY, G., 1978
Influence de trois chapignons ectamycorhiriens, *Hebeloma sarcophyllum* Peck, *Hebeloma hiemale* Bresadola et *Suillus bellinii* (Inz.) Marchand, sur la croissance, le développement et la nutrition de jeunes plantules de Pinus *Pinus halepensis* Mill.
Thèse Doctorat de spécialité, Lyon, 159 p.

GERDEMANN, J.W., 1964
The effect af mycorrhizae on the growth of maize
Mycologia 56 : 342 - 349,

GIFFARD, P.L., 1966
Rapport d'activité 1966 - Programme de recherches 1967.
Doc. interne Centre Technique Forestier Tropical, Sénégal, 173 p.

GIFFARD, P.L., 1967
Rapport d'activité 1967 - Programme de recherches 1968
Doc . interne Centre Technique Forestier Tropical, Sénégal, 184 p.

GOMEZ, K.A. et GOMEZ, A.A., 1976
Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice.
The International Rice Research Institute
Los Banos, Laguna, Philipines, 197 - 199.

GROS, A., 1967
Engrais - Guide pratique de la fertilisation
436 pages, La Maison Rustique - Paris

GUEYE, M., 1982
Vigna unguiculata en symbiose avec *Rhizobium* sp. OU *Glomus mosseae*.
Thèse de 3ème cycle, Lyon, 100 p.

HACSKAYLO, E., 3973
Carhohydrate physiology of ectomycorrhizae.
In Ectomycorrhizae (G.C MARKS et T.T. KOZLOWSKI, eds)
p. 207 - 230 - New York : Academic Press.

HACSKAYLO, E., PALMER, J.G. et VOZZO, J.A., 3965
Effects of temperature on growth and respiration of ectotrophic mycorrhizal fungi.
Mycologia, 57 : 748 - 758

HAOI, S., 1980
Some characteristics of mycorrhizae associated with *Pinus merkusii*.
In Tropical Mycorrhiza Research CP. MIKOLA, ed.)
p. 98 - 101 - Clarendon Press Oxford, New York

HAMEL, O., MALAGNOUX, M. et TAMBA, A., 1978
Rapport d'activité des programmes de Basse Casamance
ISRA 48
Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et Technique
Doc. ronéo, 9' p.

HARLEY, J.L. et WAID, J.S., 1955
The effect of light upon the roots of beech and its surface population
Plant and Soi . 7 : 95 - 132

HART, P.B.S., WIDDOWSON, P.P., WATTS, H.M. et CHU CHOU, M., 1980
Response of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seedlings to mycorrhiza inoculum, phosphorus and pH
Aust. For. Res. 10 : 389 - 396

HARTLEY, C., 1912
Use of soil fungicides to prevent damping-off of coniferous seedlings
Proc. Soc. Am. For. 7 : 96 - 99

HATCH, A.B., 1937
The physical basis of mycotrophy in *Pinus*.
Black Rock Forest Bull. 6 : '168 p.

HEWITT, E.J., 1966
Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition
Technlcal communication n° 22 (2nd éd.)
Commonwealth Agricultural Bureau, London, 431 - 432.

HOLEVAS, C.D., 1968
The effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the uptake of soil phosphorus by strawberry (*Fragaria sp.* var. Cambridge Favouritel
J. hort. Sci. 41 : 57 - 64

IPINMIDUN, W.B., 1973
Comparison of some methods for determining organic phosphorus in some Nigerian soils.
Soil. Sci., 115 : 324 - 325

IVORY, M.H., 1980
Ectomycorrhizal fungi of lowland tropical pines in natural forests and exotic plantations.
In Tropical Mycorrhiza Research (P. MIKOLA, ed.) p. 110 - 117
Clarendon Press Oxford, New York

JACKSON, J.K., 1976
Utilisation des engrais dans les plantations en savane.
In Boisement des savanes en Afrique, Kaduna, Nigéria (FAO, ed.), p. 168 - 176, Rome

JACKSON? M.L., 1964
Soil chemical analysis.
Prentica Hall, Inc - Englewood Cliffs NJ., 153 - 154

KABRE, A., GARBAYE J. et LE TACON, F., 1981
Influence de la mycorhization et de la fertilisation sur le comportement de jeunes plants d'Erable sycomore (*Acer pseudoplatanus* Linkl .
Eur. J. For. Path., 12 : 97 - 103

KADEBA, CI., 1976
Nutrition des pins (*Pinus caribaea et Pinus oocarpa*)
In Boisement des savanes en Afrique
Kaduna, Nigéria (FAO, ed.), p. 274

KELLMAN, M. et HUDSON, J., 1982
Nutrition of *Pinus caribaea* in its native savanna habitat.
Plant and Soil, 64 : 381 - 391

KEMP, R.H., 1970
Trials of exotic tree species in the savanna region of Nigeria.
Part II - Short notes on selected species - Samaru, Zaria, Nigeria.
Savanna Forestry Research Station - Research Paper n° 6.

KIFFER, E., 1974
Etude des champignons mycorhiziens et de quelques autres souches associées à l'Epicea en Lorraine.
Thèse Doctorat de spécialité, Nancy, 109 pages.

LAMB, A.F.A., 1967
Choix des pins pour le boisement des plaines tropiques.
Colloque international FAO sur les peuplements artificiels et leur importance industrielle.
Rome, FAO ; 2 : 1009 - 1030.

LAMB, A.F.A., 3973
Pinus caribaea
Vol. 3 Fast Growing Timber Trees of Lowland Tropics n° 6
Commonwealth Forestry Institute, Oxford.

LAMB, R.J., 1974
Effect of D-glucose on utilization of single carbon sources by ectomycorrhizal fungi,
Trans, Br. Mycol. Soc., 83 : 295 - 306

LAMB, R.J. et RICHARDS, B.N., 1974
Inoculation of pines with mycorrhizal fungi in natural soils. 1 - Effects of density and time of application of inoculum and phosphorus amendment on mycorrhizal infection.
Soil Biol. Biochem., 6 : 167 - 171

LAMBERT, D.H., BAKER, D.F. et COLE, H., 3979
The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements.
Soil Science Society of America, Journal 43 : 976 - 980

LARSEN, J.A., 1925
Methods of stimulating germination of western with pine seed.
Jour, Agr. Res., 31 : 889 - 899

LAURIE, V., 1975
Méthodes de plantation forestière dans les savanes africaines.
Collection FAO : Mise en valeur des forêts n° 19, 194 pages.

LECOMPT, M., 1965
L'expérimen ation et les engrais.
Extrait du Bulletin des Engrais, 91 pages.

LEVISHON, I., 1937
Antagonisti effects of *Alternaria tenuis* on certain root-fungî of fa est trees.
Nature, 178 : 1143 - 1144.

LIM, F.Y. et SUNDRALIGHAM, P., 1974
Some preliminary results of fertîlizer applications on the growth of à 6 years old *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* stand.
Malay. For., 37 : 120 - 126

LDBANOW, N.W., 1960
Mykotrophie der Holzpflanzen, VEB, Deutscher Verlag d. Wissenchaf er, Berlin.

LUNDERGARDH, H., BURSTROM, H, et EKSTRAND, H., 1930
Oorganlska petningsämnens inverkau på groendent ock groddtillväxten av sträsadd.
Kgl. Landbruks - Akad. Handl. och Tidskr. 69 : 602 - 632

MAC DONOUGH, W.T. et CHADWICK, D.L., 1970
Pregerminative leaching losses from seeds.
Plant and Soil, 32 : 327 - 334

MAIGNIEN, R., 1965
Carte pédologiqne du Sénégal au 1/1 000 000.
Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Dakar-Hann

MARONEK, O.M., HENORIX, J.W. et STEVENS, C.D., 1981
Fertility - mycorrhizal - isolate interactions in production of containerized pin oak seedlings.
Scientia Horticulutrae, 15 : 283 - 289

MARX, D.H., 1969
The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections.
I - Antagonism of mycorrhizal fongi to root pathogenic fungi and soil bacteria.
Phytopath., 59 : 153 - 163

MARX, D.H., 3976
Synthesis of ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings with basidiospores of *Pisolithus tinctorius*
Forest Sci., 22 : 13 - 20

MARX, D.H. 1977
Tree host range and world distribution of ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*
Can. 3. Microbiol., 23 : 277 - 223

MARX, O.H. et BRYAN, W.C., 1970
Pine culture synthesis of ectomycorrhizae by *Telephora terrestris* and *Pisolithus tinctorius* on different conffer hosts.
Can. J. Bot,, 48 : 639 - 643

MARX, D.H. et BRYAN, W.C., 1971
Influence of ectomycorrhizae on survival and growth of aseptlc seedlings of loblolly pine at high temperature.
Foi-est. Sci., 17 : 37 - 43

MARX, D.H. et BRYAN, W.C., 3975
Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*.
Forest Sci., 21 : 245 - 254

MARX, O.H., BRYAN, W.C. et CORDELL, C.E., 1976
Growth and ectomycorrhizal development of pine seddling in nursery soils infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*
Forest. Sci., 22 : 91 - 100

MARX, D.H., HATCH, A.B. et MENDICINO, J.F., 1977
High soil fertility decreaaes sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*
Can. J. Bot., 25 : 1569 - 1574

MARX, D.H. et ZAK, B., 1965
Effect of pH on mycorrhizal formation of slash pine in aseptic culture
Forest Sci. 11 : 66 - 75

MEGINNIS, H.G., 1955
Sulphuric acid treatment for black locust seed.
Occas. Pape: 47, So. For. Exp. Station

MEJSTRIK, V.K. et KRAUSE, H.H., 1973
Uptake of ^{32}P by *Pinus radiata* roots inaculated with *Suillus luteus* and *Cenococcum graniforme* frorn different sources of available phosphate,
New Phytol. 72 : 137 - 140

MEYER, F.H., 1973
Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests.
In Ectamycor rhizae - Their ecology and physiology (G.C. MARKS et T.T. KOZLOWSKI, eds), p. 79 - 105
Academic Press New York.

MEYER, F.H., 1974
Physiology of mycorrhizae
Ann. Rev. Plant Physiol. 25 : 567 - 586

MIKOLA, P., 1980 a
Tropical Mycorrhiza Research .
Clarendon Press Oxford, New York, 270p.

MIKOLA, P., 1980 b
Importance of mycorrhiza in tropical soils.
In Global Impacts Applied Microbiology.
Sixth International Conference
(S.O. EMEJUAIWE., O. OGUNBI et S.O., SANNI, eds)
p. 97 - 105 Academic Press, London,

MOMOH, Z.O. et GBADEGESIN, R.A., 1980
Field performance of *Pisolithus tinctorius* as a mycorrhizal fungus of pines in Nigeria
In Tropical Yycorrhiza Research (P. MIKOLA, ed.),
p. 72 - 79 - Clarendon Press Oxford.

MOUSAIN, O., POITOU, N, et DELMAS, J., '1978
La symbiose mycorhizienne : résultats obtenus avec 1 '*Hebeloma cylindrosporum* et le *Pisolithustinctorius*, et perspectives d'application agronomique.
Mushroom Science, 10 : 949 -- 956

NAVRATIL, S., PHILLIPS; N.J. et WYNIA, A., 1981
Jack pine seddlings performance improved by *Pisolithus tinctorius*
Forestry Chronicle, 57 : 212 - 217

NYE, P.H. et GREENLAND, D.J., 1960
The soil under shifting communication
Tech. Comm;' 51, Com. Bur. Soils., Harpenden.

ODEYINDE, M.A. et EKWEBELAM, S.A., 1974
In search of a suitable fungus for pine mycorrhization in Sauthern Nigeria.
Paper presented at Annual Conference of Forestry Association of Nigeria, 30s.

ODDOUX, L., 1957
Recherches sur les mycéliums secondaires des Homobasiaiés en culture pure (morphologie, cytologie, exigences alimentaires].
Thèse de Doctorat d'Etat, Lyon, 346 pages

OFOSU ASIEDU, A., 1980
Field performance of *Pinus caribaea,* inoculated with pure culture of four mycorrhizal fungi.
In Tropical Mycorrhizal Research (P. MIKOLA, edl.
p. 82 - 87 - Clarendon Press Oxford.

OFOSU ASIEDU, A. et GYIMAH, A., 1972
Assessment of the presence and types of mycorrhiza in some pine plots in Ghana
Technical Newsletter 6, FPRT, Kumasi.

OLLIVIER, B., 1983
Endomycorhize et *Rhizobium* en symbiose avec *Vigna unguiculata.*
Thèse de Doctorat de Spécialité, Aix-Marseille,
100 p.

OLLIVIER, B., DIEM, H.G., PINTA, M. et DOMMERGUES, Y.R., 1982
Effect of endomycorrhizae on the concentration on F and Zn in *Vigna unguiculata* shoots.
(sous presse1

OLSEN, S.R., COLE, L.V., WATAMABE, F.S. et DEAN, L.A., 1954
Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.
Circ. U.S. Dep. Agric. 339

ONIJCHIE, C.F.A., 1976
Définition', classification et étendue de la savane africaine.
In Boisement des savanes en Afrique - Kaduna, Nigeria
(FAO, ed.) P. 1 - 10 - Rome

PACHLEWSKI, R. et PACHLEWSKA, J., 3974
Studies on symbiotic properties of mycorrhizal fungi of pine (*Pinus silvestris* L.) with the aid of the method of mycorrhizal synthesis in pure culture on agar.
Forest Research Institute - Warsaw.

PALMER, J.G., 3969
Techniques and procedures for culturing ectomycorrhizal fungi.
In Mycorrhizae (E. HACSKAYLD, ed.) - Proceedfngs of the lth North American Conference on Mycorrhizae - April 1969 - MISC. Publication 1189. USDA - Forest Service.

PALMER, J.G. et HACSKAYLD, E., 1970
Ectomycorrhizal fungi in pine culture.
I - Growth or single carbon sources.
Physologfa Plsntarum 23 : 1187 - 3197.

PARK, J.Y., 1971
Some ecological factors affecting the formation of *Cenococcum* mycorrhizae on Basswood in Southern Ontario.
Can. J. Bot. 49 : 95 - 97

PICHE, Y. et FORTIN; J.A., 1982
Development of mycorrhizae extramatrical mycelium and sclerotia on *Pinus strobus* seedlings.
New Phytol., 91 : 23 1 - 220

PLATTEBORZE, A., Ee CHONG SEN et SUNDRALINGAM, P., 1971
A preliminary study of the correlation between the N, P and K content:: of the soils and growth of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in West Malaysia.
Malay. For. 34 : 113 - 132

POSSINGHAM, J.V. et GROOT OBBINK, J., 1971
Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines
Vitis, 30 : 120 - 130

POTDEVIN, D., 1980
Pinus caribaea Morelet en Guyanne Française
Rapport de stage ENITEF, 37 pages.

POWERS, R.F. et JACKSON, G.D., 1978
Ponderosa pine response to fertilization : influence of bush removal and soil type.
Res. Paper PSW - 132, 9.p.

PRITCHETT, W.L., 1973
The effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on the growth and composition of loblolly and slash pine seedlings in pots.
Proceedings, Soil and Crop Science Society of Florida 32 : 161 - 165.

RAIMBAULT, M. et ALAZARD, D., 1980
Culture method to study fungal growth in solid fermentation
Eur. 3 . Appl. Microbiol. Biotechnol. 9 : 199 - 209

RAMBELLI, A., 1971
Preliminary mycological studies on the forest and savanna soils of the Ivory Coast
Rev. Ecol. Biol. Sol. 8 : 219 - 226

REDHEAD, J .F . , 1968 a
Mycorrhizal associations in some Nigerian forest trees
Trans. Br. Mycol . Soc. 51 : 377 - 387

REDHEAD, J.F., 3979
Soil mycorrhiza in relation to soil fertility and productivity
In Soils Research in Agroforestry (H.M., MONGI et P.A., HUXLEY, eds)
p. 175 - 204 - Tech , Ed. DAVID SPURGEON ICRAF .

REDHEAD, J.F. 1980
Mycorrhizae in natural tropical forests .
In Tropical Mycorrhiza Research
(P. MIKOLA, ed.), p. 127 - 142
Clarendon Press Oxford, New York

REDHEAD, J.F., 1982
Ectomycorrhizae in the tropics.
In Microbiology of 'Tropical Soils and Plant Productivity
(Y., DOMMERGUES et H.G., DIEM, eds) p. 253 - 269

RICHARDS, B.N., 3963
Soil pH and mycorrhiza development in Pinus.
Nature 190 : 105 - 106

RIESS, S. et RAMBELLI, A., 1980
Preleminary notes on mycorrhizae in a natural tropical rain forest.
In Tropical Mycorrhiza Research (P. MIKOLA, ed.) p. 141 - 145
Clarendon Press Oxford, New York

RINAUDO, G., 1970
Fixation biologique de l'azote dans trois types de sols de rizière de Côte d'Ivoire.
Thèse de Docteur Ingénieur, Montpellier, 121 p.

ROCHE, P., GRIERE, L., BABRE, D., CALBA, H. et FALLAVIER, P . , 1978
La carence en phosphore des sols intertropicaux et ses méthodes d'appréciation - Premières conclusions et premiers résultats.
IMPHOS, Paris, 25 pages.

ROCHE, P., GRIERE, L., BABRE, 0 ., CALBA, H. et FALLAVIER, P., 1980
Le phasphore dans les sols intertropicaux : appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore.
Publication scientifique n° 2 - IMPHOS, Paris
48 pages.

SLJNDRALIGHAM, P. et ANG, T.B., 3971
Responses of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* to fertilization on Eungor soil of Rantau Panjang Forest Reserve Malay. For, 3 : 135 - 139

SWABY, R.J., 1975
Biosuper biological superphosphate.
In Sulfur in Australian Agricultural [K.D., Mc LACHLAN, ed.] p. 213 - 222 CSTRO Glen Osmond.

TAN, K.H. et NOPAMORNBOD' , V., 1979
Fulvic acid and the growth of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius.*
Soil Biol. Biochem. 11 : 651 - 653

THEODOROU, C. et BOWEN, .D., 1969
The influence of pH and nitrate on mycorrhizal associations of *Pinus radiata.* D. don.
Aust. J. Bot. 17 : 59 - 67

TOOLE, E.H. et DRUMMOND, P.L. , 1924
The germination of cotton seed.
Jour. Agr. Res . 28 : 285 - 293

TRAPPE, J.M., 1977
Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries
Ann. Rev. Phyropathol. 15 : 203 - 222

TRAPPE, J.M., 1901
Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands.
In advances in food producing systems for arid and semiarid lands. p. 581 - 599
Acad. Press Inc., New York

TRUONG, B., PICHOT, J. et BEUNARD, P., 1978
Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture
Agron. Trop. 1.3 : 136 - 145

TSERLING, G., 1973
Importance of nycorrhiza in the nutrition of larch seedlings.
Mikologiya i fitopatologiya 7 : 30 - 33

ZAK, B. et BRYAN, W.C., 1963
Isolation of fungal symbionts from pine mycorrhizae
Forest Sci. 9 : 270 - 278.

SASEK, V. et MUSILEK, V., 1969
Growth promotion of slowly growing mycorrhizal basidiomycetes in submerged culture.
in Mycorrhizae (E. HACSKAYLO, ed.) - Proceedings of the 1th North American Conference on Mycorrhfzae - April 1969 Misc. Publication 1189 - USOA - Forest Service

SCHOFIELC, P.E., GREGG, P.E.H. et SYERS, J.K., 1981
'"Biosuper" as a phosphate fertiliser : a glasshouse evaluation, N.Z. Journal of Experimental Agriculture 9 : 63 - 67

SCHRAMM, J.R., 1966
Plant colonization studies an black wastes from anthracite mining in Pennsylvania.
Trans. Am. Philos. Soc., 56 : 194 p.

SIHANONTH, P., MAHAMONTRI, V. et BODHARAMIK, V., 1982
Pure culture synthesis of ectomycorrhizae by *Pisolithus tinctorius* on *Pinus khasya*.
In IFS Provisional report 12 - Training Course on Mycorrhize Research Techniques - Serdang, Malaysia, 502 p.

SLANKIS, V., 1974
Soi.1 factors influencing formation of mycorrhizae.
Ann. Rev. Phytopathol. 12 : 437 - 457

SMITH SALLY, S.E., 1980
Nycorrhizas of autotrophic higher plants
Biol. Rev. 55 : 475 - 510

SMITH, R.A.. 1982
Nutritional study of *Pisolithus tinctorius*
Nycologia 74 : 54 - 58

SPAETH, J.N., 1932
Hastening germination of basswood seeds.
Jour, For, 30 : 925 - 928

SPAETH, J.N. et AFANASIEV, N., 1939
The effect of sterilization with calcium hypochlorite on germination of certain seeds.
Jour. For, 37 : 371 - 372

SRIVASTAVA. P.B.L., NARUDDIN, A. et ZAINORIN, B.A., 3979
The response of *Pinus caribaea* Nor. var. *hondurensis* seedlings to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers.
Plant and soil 51 : 215 - 232

SUBBA-RAO, N.S., 1977
Role of soil microorganisms in sulphur, phosphorus and trace element nutrition of plants.
In soil Microorganisms and Plant Growth (N.S., SUBBA-RAO,ed.) 287 p. - Oxford IBH Publishing Co.

ANNEXES

Tableau 1 : Principales caractéristiques physiques et chimiques des sols prélevés à BAMBEY (analyses effectuées par le laboratoire de chimie de l'ORSTOM Dakar).

SOLS	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	P assimilable (ppm) *	P total (ppm)	N total (ppm)	C/N	pH(KCl N)	pH(H_2O)
Dak (1er échantillon)	8.5	3.3	**88.1**	**11**	**82**	**300**	**18.4**	**6.2**	**7.0**
Diol	**4.0**	**3.3**	92.5	**82**	**118**	**320**		**7.0**	**8.0**

* **dosage selon la méthode de OLSEN** (1954)

Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques et chimiques des sols prélevés en Casamance (analyses effectuées par le laboratoire de chimie de l'ORSTOM Dakar)

SOLS	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	P assimilable* (ppm)	P total (ppm)	N total (ppm)	C/N	pH(KCl N)	pH (H_2O)
BAYOTTES	11.5	7.1	79.5	10	49	320	16.4	3.8	4.9
BIGNONA	9.5	6.4	80.9	13	67	540	13.9	6.5	7.5
OIAKENE	6.9	9.2	83.5	23	41	320	11.6	4.1	5.3
OIEGOUNE	4.5	15.1	78.8	11	35	570	13.7	3.0	4.8
DIEMBERRING	2.3	2.3	95.6	43	104	680	12.5	5.9	6.5
DJIBELOR	6.0	9.4	83.9	9	43	340	11.8	3.8	3.3
KABROUSSE	8.3	10.3	80.8	21	61	410	8.5	4.7	5.7
TENOOUK	18.5	41.6	37.7	11	52	670	13.9	4.2	5.4
TOBOR	9.8	8.9	79.5	19	54	660	12.9	5.0	5.8
SANTIABA-MANJAK	7.4	11.2	80.4	13	43	360	8.9	4.0	4.8

* Dosage selon la méthode de OLSEN (1954)

Tableau 3 : Principales caractéristiques physiques et chimiques du sol Dek (2è échantillon ; voir expérience page 67)

Argile (%)	Limon (%)	Sable	P assimilable (ppm)*	P total (ppm)	N total (ppm)	C/N	pH	
							H_2O	KCl 1N
6,0	68	84,5	4,4	74,8	380	13,4	7,8	7,0

* Dosage selon la méthode de OLSEN (1954)

Tableau 4 : Composition de la solution de HEWITT (1966)

	Solution stock (g/l)	Doses (ml/l)
$(NH_4)_2SO_4$	132,0	4
Na_2HPO_4 $12H_2O$	119,5	4
K_2SO_4	87,0	4
$MgSO_4$ $7H_2O$	92,0	4
$CaCl_2$ $2H_2O$	147,0	4
Fe Na EDTA (Sigma Chemical Company)	2,5	4
$Mn\ SO_4$ $4H_2O$	2,230	1
$CU\ SO_4$ $5H_2O$	0,250	
$Zn\ SO_4$ $7H_2O$	0.29	
$H_3\ BO_3$	3,100	
KaCl	5,850	
Na_2MoO_4 $2H_2O$	0,121	

TABLEAU 5 — INFLUENCE DE DIFFERENTES FORMES ET DOSES DE PHOSPHATE SUR LE COMPORTEMENT DE *Pinus caribaea* MYCORHIZE OU NON PAR *Pisolithus tinctorius* (voir expérience pages 81, 94)

ormes et doses de phosphate Traitements		Hauteur (cm)	Poids des parties aériennes (g)	Poids des racines (g)	% de mycorhization	N %	N total (mg/plants	P %	P total (mg/plants)
10 ppm	sans *P. tinctorius*	8,17	0,62	0,75		1,70	10,48	0,008	0,049
	avec *P. tinctorius*	14,67	1,23	0,62	26,98	1,26	15,54	0,0390	0,481
40 ppm	sans *P. tinctorius*	10,00	0,90	1,07		1,35	12,15	0,0445	0,400
	avec *P. tinctorius*	9,67	1,18	0,47	29,12	1,61	15,83	0,0870	0,856
10 ppm	sans *P. tinctorius*	6,67	0,38	0,45		2,73	10,47	0,0135	0,052
	avec *P. tinctorius*	11,67	1,12	0,97	38,31	1,54	18,31	0,0320	0,357
40 ppm	sans *P. tinctorius*	7,67	0,53	0,58		2,13	11,36	0,0170	0,091
	avec *P. tinctorius*	11,67	1,18	1,07	40,06	1,53	18,11	0,0420	0,497
10 ppm	sans *P. tinctorius*	7,67	0,42	0,38		1,96	8,17	0,0210	0,088
	avec *P. tinctorius*	12,33	0,98	1,05	35,53	1,71	16,82	0,0360	0,354
40 ppm	sans *P. tinctorius*	11,50	1,25	0,75		1,34	16,75	0,0175	0,219
	avec *P. tinctorius*	14,50	1,47	0,85	36,06	1,34	19,65	0,0460	0,675

Les valeurs ci-dessus sont la moyenne de 6 répétitions

TABLEAU 6 - INHIBITION DE LA MYCORHIZATION ET DE LA CROISSANCE DE *Pinus Caribaea* PAR UNE MICROFLORE ANTAGONISTE

Sols	Traitements	Hauteur (cm)	Poids total (g)	% de mycorhization	N %	N total (mg/plants)	P %	P total (mg/plants)
TENDOUK	Désinfecté — sans microflore de Djibelor	21,2	4,47	58	1,42	59,40	0,074	3,09
	Désinfecté — avec microflore de Djibelor	15,5	2,48	31	1,69	39,99	0,065	1,53
	Non Désinfecté — sans microflore de Djibelor	18,3	3,11	42	1,20	34,20	0,073	2,07
	Non Désinfecté — avec microflore de Djibelor	14,8	2,46	23,5	1,50	34,25	0,049	1,11
DJIBELOR	Désinfecté — sans microflore de Djibelor	20,2	4,31	41	1,43	57,67	0,095	3,83
	Désinfecté — avec microflore de Djibelor	13,2	2,77	20,7	1,64	42,64	0,085	2,20
	Non Désinfecté — sans microflore de Djibelor	11,2	2,35	11,7	1,40	30,10	0,044	0,93
	Non Désinfecté — avec microflore de Djibelor	10,2	1,85	9,6	1,56	26,26	0,055	0,92

Chaque valur est la moyenne de 6 répétitions

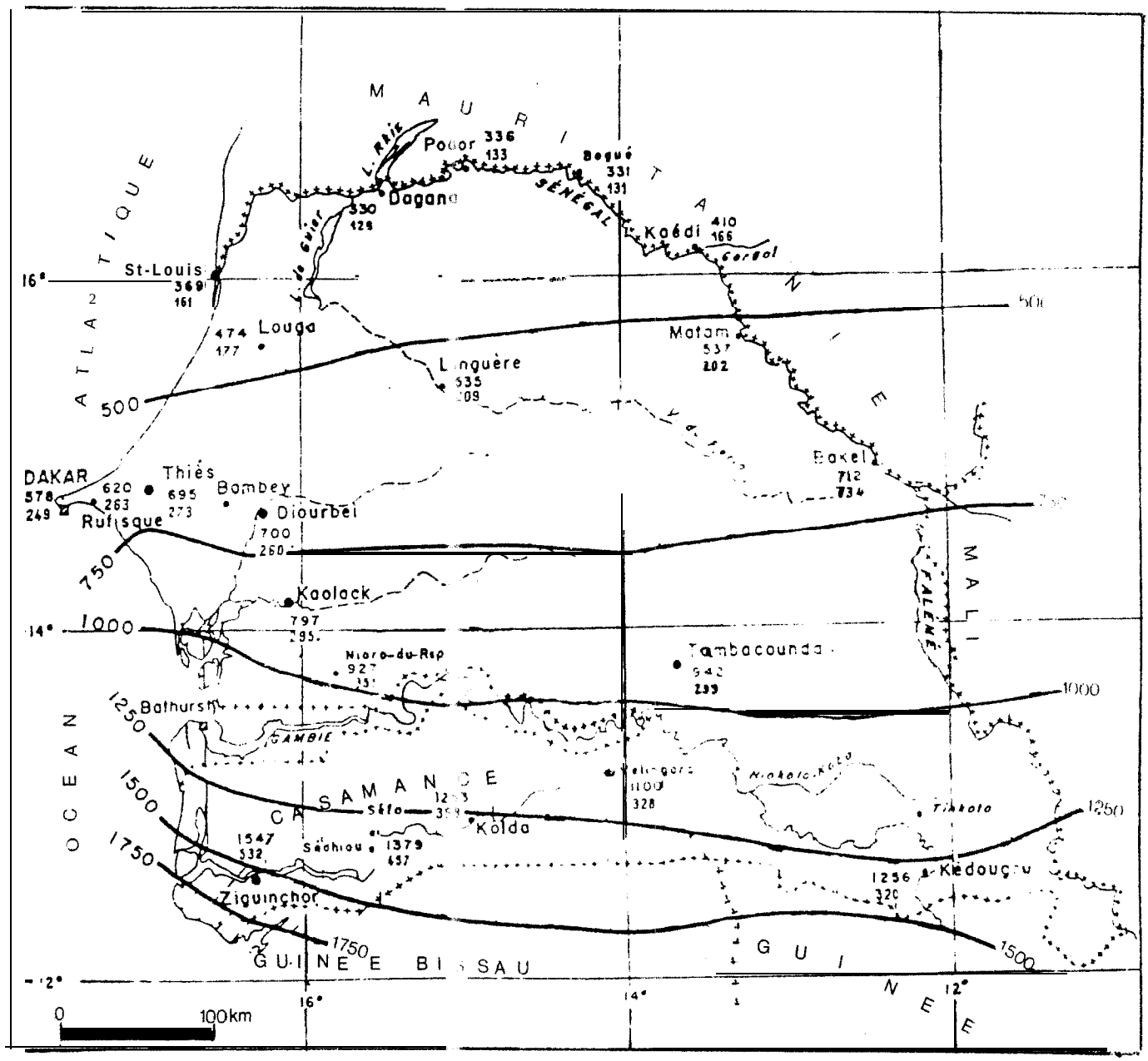


Figure 1 : Carte pluviométrique du Sénégal (période 1931 - 1960)

500 ▬▬ isohyètes(en mm)

Chiffres des stations :

347 : Hauteur moyenne annuelle

161 : Hauteur moyenne du mois d'août.

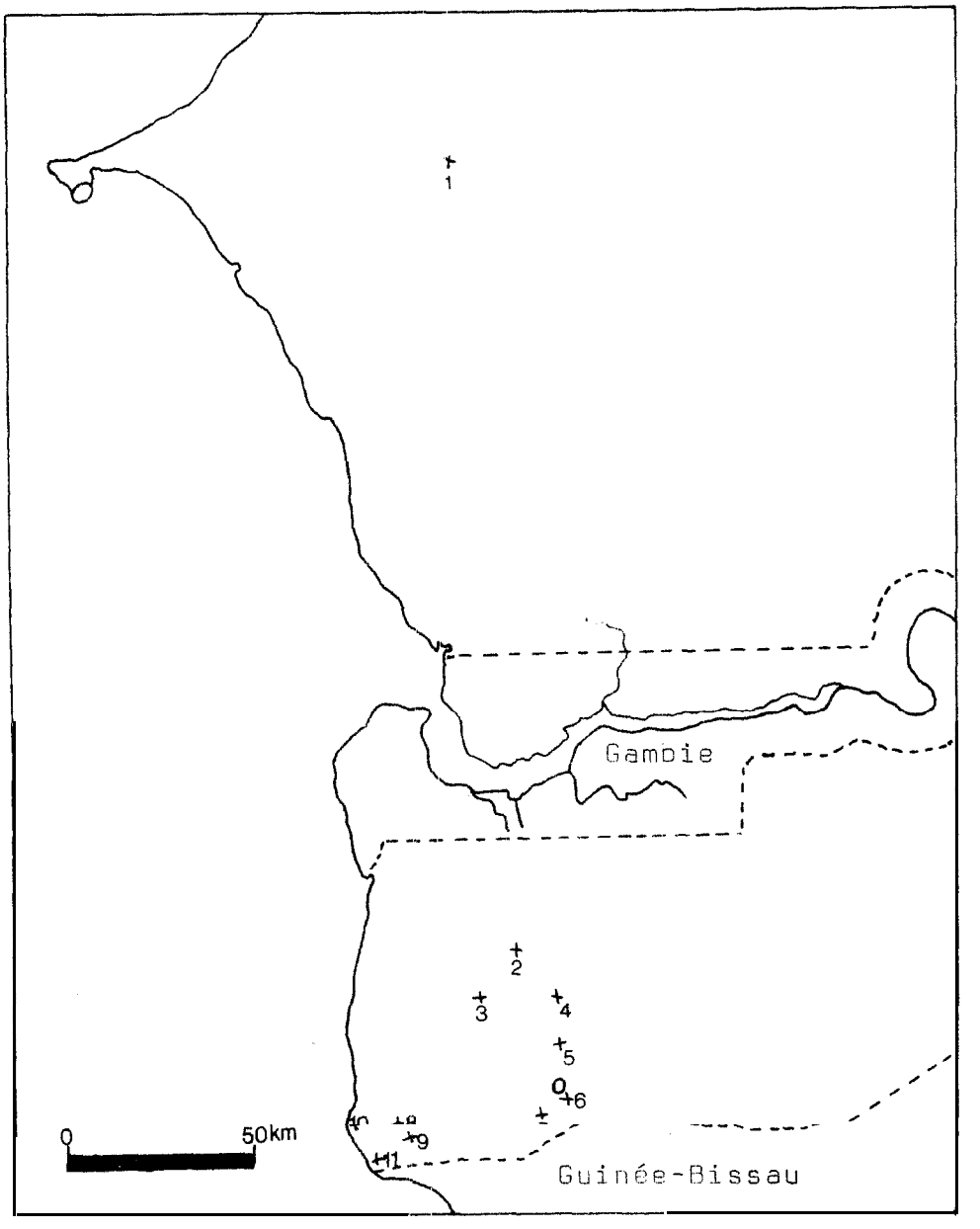


Figure 2 : Situation des lieux cités dans le mémoire

1 - Bambey
2 - Diégoune
3 - Tendouk
4 - Rignona
5 - Tobor
6 - Djibélor
7 - Bayottes
8 - Diakène
9 - Santiaba-Manjak
10 - Diemberring
11 - Kabrousse