

Exploitation des systèmes symbiotiques forestiers pour la production du bois de feu et la lutte contre l'érosion des Sols en Haïti

J. F. Félix, Directeur du Laboratoire de Biotechnologie végétale, Département Phytotechnie, FAMV/UEH

Introduction

La déforestation d'Haïti a commencé depuis la période coloniale avec des exportations massives de bois de teinture (*Indigofera indica*, *Campechianum haematoxylon*) et de construction y compris navale. Par la suite, la régression des forêts s'explique par le besoin croissant de terre cultivable pour l'établissement de cultures vivrières (Maïs, Haricot, Manioc, Patate douce,...) et pour la mise en place dans des sites climatiques favorables, de systèmes agroforestiers (Cacaoyer, Caféier, Agrumes, Manguiers, ...). Ce système a fonctionné dans un certain équilibre pendant plus d'un siècle pour être ébranlé par la pression de plus en plus forte exercée sur la terre par une population à démographie galopante. De plus, les coupes anarchiques d'arbres pour la production de charbon de bois, de bois de chauffage ou de construction, se sont intensifiées avec le temps et la décapitalisation des masses rurales. Autant de facteurs qui ont contribué à transformer en zones presque incultes des forêts de plaine à cactées et d'épineux des régions semi-arides et à perturber des écosystèmes d'agroforesterie des zones d'altitude, laissant ainsi un milieu à faible potentiel biologique. L'érosion des sols de déclive se produit ainsi à un rythme effréné et leur fertilité baisse graduellement. Une ceinture de boue entourant les côtes d'Haïti après les moindres averses de pluie et qui résulte de la dispersion de la terre arable dans la mer des Caraïbes illustre bien cette situation de dégradation du milieu naturel.

Des efforts de reforestation effectués dans le passé par le Service des Eaux et Forêts du Ministère de l'Agriculture et actuellement par diverses organisations non gouvernementales (ONG) n'ont pas donné des résultats concrets en raison de l'absence d'appropriation de solutions

alternatives réalisables au moindre coût par les secteurs concernés (ménages, artisans, petite industrie, blanchisserie, construction). Il faut, de plus, signaler que le pourcentage de survie des plantules transplantées dans des milieux aux conditions édaphiques marginales reste assez faible.

Une approche plus judicieuse pour résoudre ce problème énergétique serait de produire du bois de chauffage sur les terres de plaine semi-arides tout en reboisant les bassins versants pour arrêter l'érosion des sols. En raison des moyens financiers très limités, il serait indiqué d'utiliser les écosystèmes au mieux de leur potentiel en évitant autant que possible de faire appel à des intrants extérieurs. Le succès d'une pareille approche repose sur un choix judicieux des espèces d'arbre à introduire et doit prendre en compte l'aspect tant agronomique qu'économique. La priorité devrait être donnée à la sélection d'espèces qui, en plus de leur intérêt agro-économique (croissance rapide, importante production de biomasse) doivent être capable d'améliorer le sol. L'identification de variétés ou clones d'espèces à fort potentiel de fixation d'azote atmosphérique et capables d'utiliser efficacement d'autres éléments nutritifs spécialement le phosphore natif du sol grâce aux associations ecto et/ou endomycorhiziennes, constitue un objectif primordial à atteindre.

La capacité d'une espèce telle *Casuarina equisetifolia* d'avoir une bonne croissance en sol pauvre déficient en azote, grâce à une association symbiotique avec *Frankia* et sa sensibilité à l'infection par un champignon mycorrhizien pour une meilleure alimentation en phosphore doit retenir l'attention. L'Acacia (*Acacia mangium*), une légumineuse à croissance rapide et très fixatrice

d'azote, est une espèce exotique très prometteuse pour la protection des bassins versants. Elle peut jouer un grand rôle dans les systèmes d'agroforesterie avec des retombées économiques rapides

Etat actuel de nos connaissances

La carence en bois de chauffage, la rareté de ressources alimentaires tant pour l'homme que pour les animaux, l'érosion accélérée et la baisse continue de la fertilité des sols constituent des problèmes majeurs pour beaucoup de pays en développement. L'application des biotechnologies dans les domaines forestiers devait contribuer à résoudre progressivement les problèmes d'insuffisance alimentaire et énergétique par le biais de plantations rationnelles de plantes pour combler les besoins énergétiques et contribuer au développement de l'agroforesterie. Ces nouvelles technologies s'appliquent non seulement aux arbres vivants en association symbiotique avec des micro-organismes fixateurs d'azote et des champignons mycorrhiziens capables de solubiliser le phosphore natif du sol mais aussi aux méthodes modernes d'amélioration du matériel végétal (Redhead, 1968 ; Janos, 1980 ; Posingham *et al.*, 1971).

En fait, les ligneux fixateurs d'azote atmosphérique (en particulier les légumineuses) sont souvent recommandés pour faire face aux problèmes de fertilité dans les pays en voie de développement (NAS, 1980). Grâce à leur capacité de fixation de l'azote atmosphérique, ces espèces s'établissent relativement facilement et produisent une biomasse importante même dans des écosystèmes pauvres en éléments nutritifs. Elles constituent des sources potentielles d'énergie renouvelable et de multiples produits de base et de services (NAS, 1980 ; Brewbaker *et al.*, 1981). En plus d'améliorer la fertili-

té des sols appauvris, elles peuvent participer au contrôle de l'érosion en zones de déclive.

Certains arbres fixateurs d'azote forment une symbiose tripartite composée de l'hôte, d'une bactérie (*Rhizobium*) ou d'un actinomycète (*Frankia*) et d'un champignon mycorrhizien (Rose et Younberg, 1981 ; Diem et Gauthier, 1982). Ils représentent très souvent une composante très importante des écosystèmes arides et semi-arides car, en plus de leur aptitude à établir des symbioses bénéfiques, nombre de ces arbres ont la capacité de développer un système racinaire profond (Phillips, 1963) et manifestent une grande adaptation physiologique au stress hydrique et à la salinité (Nielsen *et al.*, 1983 ; Felker *et al.*, 1981). Ceci explique la prédominance de ces espèces dans les écosystèmes pauvres en azote, telles les plaines tropicales à cactées et les zones désertiques (Richard, 1952 ; Formann et Hahn, 1980 ; Martin, 1948).

En dépit du potentiel élevé des arbres fixateurs d'azote, très peu d'études ont été effectuées pour évaluer l'efficacité des plantules inoculées avec des micro symbiotes. Il est couramment admis que la quantité de N fixée par ces plantes dans le milieu naturel, peut être limitée par de nombreux facteurs dont la faible population, l'inefficacité de souches de *Rhizobium*, et certains autres facteurs liés à l'environnement même de la plante. Les légumineuses ont été traditionnellement utilisées comme haies vives, source d'énergie ou comme arbres d'abri pour les cultures de rente. Au Mexique par exemple, c'est seulement récemment que certaines de ces espèces ont été introduites dans les aires de production (Roskoski *et al.*, 1986). Le succès de ces introductions a été, en grande partie, rendu possible grâce au développement récent de projets de recherche pour la maîtrise de la biologie des symbioses fixatrices de N chez les ligneux. La biologie des interactions ecto ou endomycorrhizes et nodules racinaires fixa-

trices de N est relativement connue. L'amélioration de la productivité d'arbres établis dans des conditions édaphiques et climatiques défavorables est fondée sur une meilleure exploitation des associations symbiotiques et sur les méthodes modernes d'amélioration végétale.

Les premiers résultats obtenus dans le domaine de la biotechnologie forestière pour le reboisement ou la reforestation sont très encourageants et leur application dans le cadre de projets du même type peut être justifiée. Des résultats intéressants ont été obtenus avec des espèces telles : *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala* dans le Nord-Est brésilien ou avec *P. Juliflora*, *Acacia modesta* et *A.catechu* en Inde (Lima, 1986 ; Mukerji et Anita Kapoor, 1986).

Deux espèces prometteuses pour Haïti

La première, *Casuarina equisetifolia* Forst, couramment appelée Filao appartient à la famille des Casuarinacées et est originaire de l'Australie. Elle fait partie des plantes actinorhiziennes qui comportent environ 200 espèces (non légumineuses) appartenant à 24 genres et huit familles. Ces plantes sont nodulées par un micro-organisme fixateur de l'azote atmosphérique connu sous le nom de *Frankia* (Akerman et Dykvan, 1981 ; Bond, 1983 ; Le Chevalier, 1983). La famille des Casuarinacées comporte à elle seule 82 espèces (arbres et arbustes) endémiques majoritairement d'Australie, d'Asie du Sud-Est et des Iles du Pacifique (Sellsted, 1988). Elles sont généralement utilisées pour la production de bois de chauffage et pour augmenter la production des forêts naturelles et de plantation (Sellsted, 1988).

Dans certaines parties du monde, les espèces du genre *Casuarina* sont parfaitement intégrées dans les systèmes agroforestiers. Un exemple classique est celui de la Nouvelle Guinée Papouasie, où *C. oligodon* et *C. papuana* sont intégrées dans un système d'altitude, tandis que *C.*

equisetifolia est cultivée en association avec d'autres cultures (Thiagalingam, 1983 ; Bourke, 1985). En Inde, *C. equisetifolia* est cultivée en association avec l'arachide, le sésame et d'autres légumineuses à graines comestibles (Konda, 1981). En Tunisie, *C. glauca* est utilisée comme brise-vent tandis qu'au Sénégal, *C. equisetifolia* est plantée sur les franges maritimes pour protéger les cultures maraîchères contre l'avancement des dunes de sable (Dommergues, 1987).

Le genre *Casuarina* stricto sensu est habituellement bien nodulé (Reddel et Bowen, 1985). L'espèce *C. equisetifolia* est classée à côté de *Acacia mangium* et de *Leucaena leucocephala* comme des espèces à fort potentiel de fixation de N se retrouvant dans la gamme de 100 à 300 kg/ha/an de N fixé (Dommergues, 1987). Le poids sec d'un nodule de *C. equisetifolia* est d'environ 500g et plus pour un arbre âgé de 13 ans (Cao Yue Huan, comm. pers.). Cette nodulation importante explique la forte potentialité fixatrice de N de l'espèce. Dans une expérience réalisée en microparcelles irriguées à la station ORSTOM à Dakar (Sénégal), un clone sélectionné de *C. equisetifolia* fixe 42,5 g par plante durant les neuf premiers mois suivant la plantation. Ce qui correspond à 11,3 kg/an de N pour une plantation de 2000 plants (Sougoufara *et al.*, 1986). Pour une plantation de *C. equisetifolia* établie en condition pluviale sur les dunes de sable des côtes sénégalaises, la fixation de N est estimée à 58kg/ha/an (Diem et Dommergues, 1983). Cette espèce peut également être utilisée pour la récupération des sols affectés par le sel. Des études effectuées en Australie par Bowen et Rosbrook (1968) ont montré que *C. obesa*, inoculée avec une souche de *Frankia* résistante au sel, pousse en dépit d'une concentration de 15000ppm de NaCl (approximativement la concentration de l'eau de mer).

Dans le but de bénéficier pleinement du potentiel de *C. equisetifolia*, des recherches ont été effectuées pour

trouver la combinaison plante-microsymbiote la plus performante. Le genre *Casuarina* est infecté par un microorganisme filamenteux *Frankia sp.* avec lequel, il forme des nodules racinaires appelés actinorhises (Aldrich et Blanke, 1932) ; Beeking, 1977 ; Bond, 1957 ; Janse, 1987 ; Reddel *et al.*, 1986 ; Torrey, 1976). Il existe environ 160 espèces connues d'angiospermes capables de former des symbioses fixatrices de N avec *Frankia sp.* (Akkerman et Dijkvan, 1981 ; Le Chevalier, 1983). Un très grand nombre de souches de cet organisme ont été isolées de nombreuses espèces (non légumineuses) depuis le succès de son isolement à partir de *Comptonia peregrina* (Callaham *et al.*, 1978). L'isolement de *Frankia sp.* à partir de nodules de *C. equisetifolia* a été rendu possible par Diem et Dommergues en 1963. La culture industrielle de *Frankia* inclus dans l'alginate permet la préparation d'inoculum stable même dans les conditions sévères d'alcalinité, d'acidité ou d'aridité des milieux tropicaux. Cet inoculum d'une technologie perfectionnée est facile d'utilisation en pratique forestière (Dommergues *et al.*, 1989).

Les recherches sur la fixation de N chez *C. equisetifolia* ont démontré que les semis de cette espèce présentaient des variations considérables dans leur vitesse de croissance et dans leur nodulation (Gauthier *et al.*, 1985). Depuis quelques années, les chercheurs ont recours au bouturage pour multiplier ces espèces (Somosundaran et Jagadees, 1977 ; Hussain et Ponnuswamy, 1980 ; Lundquist et Torrey, 1984 ; Ellakany et Shepherd, 1984). Une méthode de micropropagation spécifique à *C. equisetifolia* a été mise au point par Sougoufara *et al.* en 1986 en vue d'identifier plus facilement les individus caractérisés par des potentiels de fixation de N différents et de multiplier à grande échelle des clones sélectionnés pour leur forte capacité fixatrice. D'après cette étude, la différence entre clones est liée à leur aptitude à la nodulation. Cette variabilité intraspécifique chez le genre *Casuarina* peut être

exploitée pour accroître la fixation de N des arbres par sélection clonale. Chez *C. equisetifolia*, la sélection des clones peut être effectuée dès le sixième mois du cycle végétatif de la plante et peut conduire à un accroissement de plus de 50% du pouvoir fixateur et un doublement de la biomasse (Sougoufara *et al.*, 1986).

De plus, on sait que tous les genres appartenant à des espèces non légumineuses fixatrices de N peuvent héberger des endomycorrhizes vesiculo-arbusculaires (Trappe, 1979). La présence de ces endomycorrhizes chez *Casuarina sp.* a été rapportée par Rose en 1980. L'association des racines de plantules avec ces microorganismes est susceptible d'accroître la fixation de N et la productivité des arbres même dans des conditions édaphiques défavorables, notamment dans les sols déficients en phosphore assimilable (Rokosky *et al.*, 1986). Les travaux de Diem et de Gauthier (1982) ont montré que l'infection par *Glomus mossae* de plantules de *C. equisetifolia* antérieurement inoculées avec *Frankia* (appliqué sous forme de broyat de nodules) entraîne un doublement du poids des nodules et de la teneur en N total des plantes.

La conjugaison de la sélection clonale et de l'inoculation avec des souches spécifiques de *Frankia* et de mycorrhiziens peut quadrupler la production de l'arbre. Les résultats des diverses recherches présentées dans cette revue sont particulièrement prometteurs et indiquent qu'à court terme, il est possible d'accroître de manière importante la production de biomasse chez *C. equisetifolia*. Introduite depuis plusieurs décennies en Haïti, cette espèce a souvent été utilisée comme plante d'ornement et de fixation des talus en bordure des routes. Son établissement dans les terres marginales des plaines semi-arides, en utilisant les biotechnologies nouvelles, permettra de produire à court terme du bois de chauffage pour usage domestique et à long terme, de récupérer ces terres.

La deuxième espèce, *Acacia mangium*, appartient à la famille des Mimosoïdeae et est originaire du climat pluvieux de Queensland en Australie. C'est probablement l'espèce d'*Acacia* la plus prometteuse pour la production de biomasse et la reforestation en zone tropicale humide. Cette légumineuse à croissance très rapide est à la fois peu exigeante sur le plan nutritionnel et excellente fixatrice de N. L'espèce est classée parmi les arbres à croissances rapides à côté de *Gomelina arborea* et *Albizia falcataria* considérés comme les arbres ayant les plus fortes vitesses de croissance connues (NAS, 1979). En milieu favorable, des spécimens de *Acacia mangium* atteignent 23 mètres de haut et 23 cm de diamètre après une période de 9 ans seulement, donnant ainsi une production de 413 m³ de grumes à l'ha, soit une production annuelle de 46 m³/ha (NAS, 1979). L'espèce est aussi caractérisée par une très bonne adaptation aux conditions les plus adverses de l'environnement. Selon le même rapport de la NAS, en sol pauvre, *A. mangium* surpasse *Gmelina arborea*, *Albizia falcataria*, *Pinus caribaea* et d'autres espèces testées. Il arrive à produire 20 m³ de grumes/ha même sur des sols latéritiques acides et pauvres en éléments nutritifs.

Cette légumineuse ligneuse de zone humide a un fort potentiel de fixation de N. Elle pourrait fixer entre 100 et 300 kg de N/ha/an (Dommergues, 1987). Ce potentiel peut être certainement amélioré de façon considérable par la sélection tant de la souche de *Rhizobium* que de la plante-hôte elle-même. Très peu de travaux ont été réalisés sur les systèmes symbiotiques chez *Acacia mangium*. Les quelques données existantes proviennent des travaux réalisés au laboratoire de Biotechnologie des Systèmes Symbiotiques Forestiers Tropicaux (BSSFT) de Nogent-sur-Marne (France). Le groupe de chercheurs du BSSFT a étudié plus particulièrement la biologie des symbioses fixatrices de N chez cette espèce en adoptant l'ap-

proche tant microbienne (amélioration du micro symbiote) que végétale (amélioration de la plante hôte). Le matériel végétal a été amélioré à partir de techniques de micropropagation. Dans le même temps, les recherches ont porté sur la sélection et la génétique de souches des *Rhizobium* (BSSFT, 1986). Ainsi a été constituée une collection de 28 souches de *Bradyrhizobium* et de deux souches de *Rhizobium*.

La micro propagation de *A. mangium* en vue de l'obtention de matériel végétal homogène et une technique originale de culture aseptique permettant de tester les souches de *Rhizobium* dans les conditions rigoureuses, ont été mises au point. Cette technique permet de cribler les clones de *A. mangium* les plus performants dans leur aptitude à fixer N en association avec les souches de *Rhizobium* sélectionnées. La symbiose entre les deux organismes a été ainsi réalisée en conditions contrôlées à partir de matériel végétal issu de clones.

L'espèce *Acacia mangium* s'est aussi révélée une plante mycotrophe. Des souches natives de champignons mycorrhiziens appartenant à deux espèces : *Pisolithus sp.* et *Phlebopus sudanensis*, sont apparues les plus agressives et les plus efficaces. La technique d'inoculation avec des champignons ectomycorrhiziens est actuellement complètement applicable (Schenck, 1982). Cette légumineuse a en plus l'avantage d'être semée directement et semble aussi apte à contrôler l'érosion. Sa plantation peut être recommandée dans des aires écologiques appropriées et peut contribuer à la production de bois, de produits de base et de services plus rapidement que les espèces indigènes.

Propositions de recherche

Notre proposition principale consisterait à montrer qu'il est possible, à partir de ces deux espèces *Casuarina equisetifolia* et *Acacia mangium*, de produire du bois de feu (une partie de nos besoins énergétiques) dans les zones de plaine aux conditions édaphiques marginales et de reboiser

les sols des pentes dégradées d'Haïti, recréant ainsi des agrosystèmes fertiles

A cette fin, des essais sur les techniques d'inoculation pour assurer l'établissement des plantations de ces deux espèces vivant en symbiose avec des microorganismes fixateurs de N et de P et à croissance rapide seraient une piste de recherche à explorer.

Références

Akkermans A. D. L., Dijk Van C. 1981. Non-leguminous root nodule symbioses with actinomycetes and *Rhizobium*. In : Broughton W. J. Nitrogen Fixation, Ecology vol. 1. Oxford Univers. Press. New York pp 57 – 103.

Akkermans , A. D. L., Hoovers, H. 1983. Morphology of nitrogen fixer in forest ecosystems. In : Gordon J. C. and Wheeler C. T., eds. Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems. Foundations and Applications. The Hague : Nijhoff/Junk.

Aldrich-Blake, F. N. 1932. On the fixation of atmospheric nitrogen by bacteria living symbiotically in root nodule of *C. equisetifolia*. Oxford for Memo. 14.

Becking, J. M. 1977. Endophyte and association establishment in non-leguminous nitrogen fixing plants. In : recent Developments in Nitrogen Fixation. Newton, W., J. R. Postgate and R. Barrueca, eds. Academic Press, London. Pp 551 – 567

Bond , G. 1983. Taxonomy and distribution of non-legume nitrogen fixing system. In : J. C. Gordon and C. T. Wheeler, eds. Biological Nitrogen Fixation Forest Ecosystem : Foundations and Applications. The Hague : Nijhoff/junk

Bond , G. 1957. The development and significance of the root nodules of *Casuarina*. Ann. Bot.(Lond) NS 21, 373-380.

Bourke, R. M. 1985. Food coffee and casuarina : an agroforestry system from the Papua New Guinea highlands. Agroforestry Systems 2 :273

–9.

Bowen, G. D. and P. A. Rosbnook. 1968. The management of nitrogen fixation by *Casuarina*. CSIRO and ACIAR (Mimeo)

Brewbaker, J. L., Van Den Belt and Mac Diken K. 1981. Nitrogen fixing trees resources. In : Proceedings of the International Workshop on Biological Nitrogen Fixation Technology of tropical Agriculture. CIAT. Cali, Colombia.

Callahan, D., P. del Tredici and J. G. Torrey. 1978. Isolation and cultivation in vitro of the actinomycete causing root nodulation in *comptonia*. Science (Washington D. C.) 199 : 899 – 902.

Diem H. G. et D. Gauthier. 1982. Effet de l'infection endomycorrhizienne (*Glomus mossae*) sur la nodulation et la croissance de *Casuarina equisetifolia* C. R. Acad. Sci. Paris t. 294p.

Diem, H. G. and Dommergues, Y. R. . 1983. The nodulation of Frankia from nodules of *Casuarina*. Can J. Bot. Vol 61(11) : 2822 – 2825.

Dommergues, y. R. 1987. The role of biological nitrogen fixation in agroforestry. In : Agroforestry, a Decade of development. Howard A. Steppler and P. K. Ramachandran Nair, pp 245 – 271.

Dommergues, Y. R., Diem D. G. , K. Ben Khalifa, M. Neya. 1989. Recent advances in the inoculant technology with special emphasis on plant symbiotic microorganisms. Basite Law. CNR 0018 – 4.

Ellakany, M. H. and Shepherd, K. R. 1984. Preliminary observations on stump propagation in *Casuarina cunninghamiana*. Australian Forest research, 14 : 243 – 247.

Felker, P. 1986. Forest Ecology and management 16 : 1 – 4. In : Tree Planting in Semi-Arid Regions. Felker P. and Elsevier eds.

Felker, P., Clark, P. R.k, Laag, A. E. and Pralt, P. F. 1981. Salinity tol-

- erance of threellegumes mesquite (*Prosopis glandulosa* var *torreya*, *P. veludina*, *P. articulata* and *P. tamarugo*) growing in sand culture on nitrogen free media. *Plant and Soil*, 61 : 311 – 317.
- Gauthier D., Diem, H. G., Dommergues Y. R., Garry F. 1985. Assessment of N₂ fixation by *Casuarina equisetifolia* inoculated with *Frankia* ORS 21001 using 15N methods. *Soil Biology and Biochemistry* 17 : 375 – 379.
- Gauthier D., Diem, H. G., Dommergues Y. R. 1984. Tropical and Subtropical Actinorhizal plants. *Presq. Agropec. Bras.* 19 : 119 – 136.
- Husain, A. M. M., P. K. Ponnuswamy. 1980. Propagation of *Casuarina junghuhniana* by planting shoots and roots suckers. *Indian Forest*. 106 : 298 – 299.
- Janse, J. M. 1987. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. *Ann. Jard. Bot. Buitenzorg* 14, 53 – 201.
- Janos, D. P. 1980. Vesicular Arbuscular Mycorrhizae affect lowland of tropical rain forest plant growth. *Ecology* 61 : 151 – 162.
- Kondas S. 1981. *Casuarina equisetifolia*. A multipurpose cash crop in India. In : S. J. Midgley, J. W. Turnbull and R. D. Johnson eds. *Casuarin : Ecology management and utilisation*. Melbourne CSIRO.
- Le Chevalier M. P. 1983. Cataloguing frankia strains. *Can. J. Bot.* 61 : 2964 – 2967.
- Lundquist, R., J. G. Torrey. 1984. Propagation of *Casuarina* species from rooted stem cuttings. *Botanical gazette*. 145 : 378 – 384.
- Martin. 1948. *Soil Con. Ser. Regional Bull.* 107 Plant Studies Series N0 4. USDA.
- Nielsen, E. T., Sharifi, M. R., Rendel P. W., Jarrel W. M. and Virginia R. A. 1983. Diurnal and seasonal water relations of the desert phreatophyte *Prosopis glandulosa* (honey Mesquite) in the sonoran desert of California. *Ecol.* 64 : 1381 – 1393.
- N.A.S. (National Academy of Science). 1977. *Leucaena. Promising Forage and Tree crop for the Tropics*. Washington D. C. 115 pp.
- N.A.S. (National Academy of Science). 1979. *Tropical Legumes: resources for the future*. Washington D. C. 331 pp.
- N.A.S. (National Academy of Science). 1980. *Firewood crops. Shrub and tree species for energy production*. Washington D. C. 237 pp.
- Phillips, W. S. 1963. Depth of root in soil. *Ecol.* 44 : 424 – 430.
- Possingham, J. V., Obbink, G. J., Jones, R. K. 1971. Tropical Legumes and vesicular-arbuscular mycorrhizae. *J. Aust. Agr. Sce.*, 160 – 171.
- Rapport BSSTF 1986. Laboratoire de Biotechnologie des Systèmes Symbiotiques Forestiers Tropicaux de Nogent-sur-Marne. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* no 213.
- Rapport OEA. 1972. *Mission d'Assistance Technique Intégrée*. Secrétariat Général Organisation des Etats Américains. 656pp.
- Redhead, J. F. 1968. Mycorrhizal association of some nigerian forest trees. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 51 : 377 – 387.
- Reddell, P., Bown G. D. 1985. *Frankia* source affects growth nodulation and nitrogen fixation in *Casuarina* species. *Nes Phytol* 1000 : 115 – 122.
- Reddell, P., Bown G. D., Robson, A. D. 1986. Nodulation of *Casuarinaceae* in relation to host species and soil properties. *Aust. Journal Biol.* 34 : 435 – 444.
- Richards, P. W. 1952. *The tropical rain forest : An ecological study*. Cambridge University Press. London 450 pp.
- Rose, S. L. 1980. Mycorrhizal associations of some actinomycete nodulated nitrogen fixing plants. *Can. J. Bot.* 58 : 1449 – 1454.
- Rose, S. L., Younberg C. T. 1981. Tripartite association in snowbush (*Ceanothus velutinus*) : effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth, nodulation and nitrogen fixation. *Can. J. Bot.* 59 : 33 – 43.
- Roskoski, J. P., I. Pepper, E. Pardo. 1986. Inoculation of leguminous trees with *Rhizobia* VAM fungi. In : *tree Planting in Semi-Arid Regions*. Ed. Felker pp 57 – 68.
- Schenck, N. C. 1982. *Methods and Principles of Mycorrhiza Research*. American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota.
- Sellstedt, A. 1988. Nitrogenase activity, hydrogenase evolution and biomass production in different *Casuarina* symbiosis. *Plant and Soil* 105 : 33 – 40.
- Sougoufara, B., E. Duhoux, M. Corbasson, Y. Dommergues. 1986. Amélioration de la fixation biologique d'azote chez le Filao (*Casuarina equisetifolia*) par selection clonale. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 211 : 47 – 51.
- Somasundaran, T. R. and Jagadees, S. S. 1977. Propagation of *Casuarina equisetifolia* Forst. By planting shoots. *Indian Forester*, 103 : 734 – 738.
- Thiagalingam, K. 1983. Role of *Casuarina* in agroforestry. In : S. J. Midgley, J. W. Turnbull and R. D. Johnson eds. *Casuarina ecology, management and utilization*. Melbourne CSIRO.
- Torrey, J. G. 1976. Initiation and development of root nodules of *Casuarina* (*Casuarinaceae*). *Ann. J. Bot.*, 63 : 335 – 344.