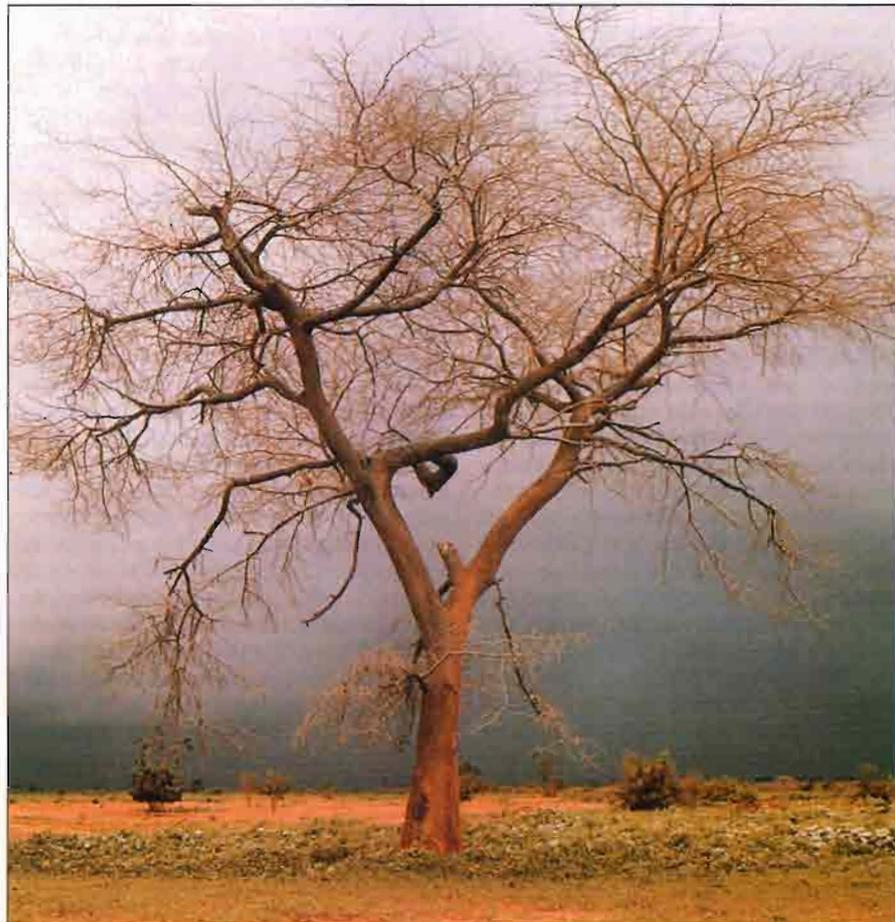


ACACIAS DU SAHEL : UN ESPOIR POUR L'AGRICULTURE

LA COOPÉRATION ENTRE UN ACACIA DU SAHEL
ET DES CHAMPIGNONS SOUTERRAINS EST EN PASSE D'ÊTRE
EXPLOITÉE PAR LES AGRONOMES POUR AMÉLIORER
LA FERTILITÉ DES TERRES AFRICAINES.

La légumineuse arborescente, *Acacia albida*, qualifiée d'« arbre miracle du Sahel » à cause de ses multiples fonctions — elle abrite les cultures vivrières sous son couvert, sert au reboisement et fournit du fourrage — est aussi un outil fascinant pour l'étude des micro-organismes symbiotiques des plantes. En 1991, le laboratoire de microbiologie des sols de l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) de Dakar avait révélé l'existence, autour des racines de cet arbre, d'importantes populations de bactéries symbiotiques fixatrices d'azote (*Bradyrhizobium*), et cela jusqu'à trente-cinq mètres de profondeur (voir « Les acacias fixateurs d'azote du Sahel » dans

La Recherche de juin 1991). Des recherches récentes menées en collaboration avec ce laboratoire, la station d'agronomie de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) de Dijon et le laboratoire de phytonique de l'université d'Angers ont mis en évidence une autre forme de symbiose, connue chez la majorité des plantes agricoles, horticoles et forestières : les mycorhizes⁽¹⁾. Celles-ci résultent de l'association entre des champignons vivant dans le sol et les racines des plantes (voir « Les mycorhizes : une coopération entre plantes et champignons » dans *La Recherche* de mai 1985). Chez l'acacia, cette symbiose existe depuis les horizons superficiels du sol jusqu'aux nappes phréatiques pro-



(Acacia Albida, cliché Lucano)

fondes ; cette extension exceptionnelle est une nouveauté dans l'histoire des symbioses végétales.

Les racines d'*Acacia albida*, avec des champignons de la famille des zygomycètes (symbiotes obligatoires), constituent des mycorhizes dites à vésicules et arbuscules, en raison de la formation par le mycélium de renflements et de minuscules ramifications intracellulaires. Ce type de mycorhizes est le plus répandu ; on le trouve dans tous les types de cultures : les formations à graminées et légumineuses des prairies, les cultures en

Des mycorhizes à usage agronomique ?

L'utilisation à grande échelle des champignons mycorrhiziens associés à *Acacia albida* nécessite une production massive de spores. Cet « inoculum » peut en effet induire une mycorhization de plantes cultivées. L'encapsulation de fragments de mycorhizes ou de vésicules isolées dans des billes d'alginate de sodium présente un grand intérêt en ce sens. Pour obtenir cet inoculum, les fragments de racines mycorhizées sont tout d'abord stérilisés par un passage aux ultrasons puis par des bains successifs dans des solutions d'éthanol à 96 °C, d'hypochlorite de calcium, etc. Les vésicules intraracinaires sont, elles, isolées par un traitement enzymatique. Les fragments racinaires stériles et les vésicules isolées sont alors capables de germer et de produire *in vitro* des hyphes et des spores, et ainsi de rétablir la symbiose mycorrhizienne en présence de l'hôte végétal. L'inoculum immobilisé dans les billes garde son potentiel après plusieurs mois de conservation à 4 °C.

serre et de plein champ (haricot, arachide, blé, maïs, tomate, coton, riz, sorgho, etc.), les productions ornementales, fruitières et légumières (rosier, framboisier, fraisier, pommier, poireau, pois, etc.). Seules quelques crucifères (choux, radis) et chénopodiacées agricoles (betteraves, épinards) ne sont pas régulièrement associées à des champignons.

Les champignons mycorrhiziens, qui n'effectuent pas la photosynthèse, utilisent les sucres produits dans la plante pour accomplir leur cycle biologique. En échange, ils fournissent de l'eau et des éléments minéraux à la plante. Le développement du champignon se fait à la fois à l'extérieur et à l'intérieur de la racine (voir la figure). Ses structures typiques se rattachent à celles des champignons mycorrhiziens du genre *Glomus*. Par rapport aux racines non infestées, les associations racinaires comprenant des *Glomus* augmentent la surface d'absorption de l'eau et des sels minéraux ainsi que le volume de sol exploré. De plus, le

réseau externe est capable de collecter des éléments minéraux et de l'eau dans des zones éloignées de plusieurs centimètres de la racine. En raison de cette symbiose, les plantes mycorhizées ont une meilleure nutrition minérale, résistent mieux aux agents pathogènes du sol ainsi qu'aux stress hydrique et thermique^(1,2).

Pour étudier la distribution des mycorhizes à vésicules et arbuscules (MVA) le long des racines d'*Acacia albida*, nous avons prospecté la zone de prédilection de cet arbre au Sénégal. De véritables parcs de cette légumineuse existent au nord de ce pays, à Louga et Diokoul, où la pluviométrie moyenne annuelle varie entre deux cents et six cents millimètres, et au sud, à Djinaki et Kabrousse, où elle fluctue entre huit cents et quinze cents millimètres. Dans chacune de ces quatre localités, des forages effectués à dix mètres du pied des acacias ont permis d'étudier les mycorhizes en profondeur, jusqu'à la nappe phréatique, c'est-à-dire à moins de cinq mètres dans les régions du sud et à plus de seize mètres dans celles du nord.

Les sols prélevés ont été tamisés pour récolter les spores des champignons. Nous avons alors évalué le nombre total de spores viables, ainsi que le degré de colonisation racinaire, en fonction du stade de développement de l'acacia, des saisons et des propriétés physico-chimiques des sols⁽¹⁾. Les horizons superficiels de la rhizosphère de l'acacia sont plus riches en fragments mycorhizés et en spores dans les localités du sud que dans celles du nord, en raison de la teneur du sol en phosphore assimilable, qui est deux à quatre fois plus faible dans les régions du sud.

Les spécialistes admettent généralement que le nombre de spores et de mycorhizes diminue avec la profondeur⁽²⁾. Cette réduction de la symbiose serait liée à des modifications physico-chimiques du sol (moindre quantité de matière organique, diminution de la porosité et de l'aération notamment). Nos observations corroborent aussi ces données⁽³⁾. Il existe en outre des variations locales : si à Kabrousse et à Djinaki, les mycorhizes sont présentes jusqu'à 1,5 et 4,5 mètres de profondeur, elles existent encore en petit nombre jusqu'à seize et trente-quatre mètres à Diokoul et à Louga, dans les régions du nord. Compte tenu des possibilités de dissémination de fragments mycéliens (propagules), nous pensons que, pour atteindre de telles profondeurs, les hyphes suivent la racine pivotante de l'acacia jusqu'au niveau de la nappe phréatique. En conséquence, la croissance des filaments jusqu'à la nappe dépend fortement de la vitesse de croissance racinaire. Cette dernière peut atteindre, en profondeur, plus de cinq mètres la première année de la vie de l'arbre alors que la croissance de la partie

aérienne atteint à peine vingt centimètres.

La colonisation des sols par les hyphes peut donc être rapide et cela a un impact non seulement sur l'acacia mais sur tout l'écosystème. Nous avons observé que la croissance des plantes cultivées (arachide, mil, riz) est plus importante sous la frondaison des acacias. On peut supposer qu'à cet endroit le sol est plus riche en éléments minéraux et donc plus fertile. En effet, les mycorhizes, en puisant les éléments minéraux en profondeur, augmentent la teneur minérale des acacia,



ciens, en particulier en phosphore, en cuivre et en zinc. La décomposition des feuilles tombées sur le sol pendant la saison des pluies fournit alors ces éléments aux niveaux superficiels du sol. Par ailleurs, les plantes annuelles qui sont cultivées à cet endroit bénéficient elles-mêmes directement de la présence des champignons symbiotiques, car ceux-ci, ayant une large gamme d'hôtes, peuvent coloniser leurs racines. Nous avons pu vérifier, dans la zone traditionnellement agricole de Diokoul, que la densité de propagules est plus élevée dans le sol où est implanté l'acacia que dans le sol du champ environnant.

Ainsi, les mycorhizes associées à l'acacia possèdent une grande aptitude à restaurer la végétation des sols appauvris en éléments minéraux. Les mycorhizes et les bactéries fixatrices d'azote vivant librement dans le sol (*Azotobacter*) établissent aussi une interaction, qui s'avère positive pour le développement des plantes. Cependant, malgré une grande densité

de bactéries symbiotiques fixatrices d'azote (*Bradyrhizobium*) en profondeur, sous les acacias⁽⁴⁾, les nodosités, organes qui caractérisent la symbiose entre bactéries et légumineuses, n'ont jamais été observées sur les racines de cet arbre dans la zone typiquement sahélienne. En revanche, elles se forment sur les jeunes racines d'acacia mises en contact avec des prélèvements de sol de la nappe phréatique. Il est donc probable qu'une synergie existe entre les mycorhizes et les *Bradyrhizobium* libres et qu'elle permet à la plante de mieux exploiter les élé-

est établie sur les plantes pièges, la multiplication accélérée des spores (inoculum) est assurée à partir de fragments de racines colonisées et de vésicules intraracinaires isolées selon une technique mise au point et maintenant bien maîtrisée par notre groupe⁽⁷⁾.

Les spores produites devraient servir à l'identification des souches de champignons symbiotiques selon les critères morphologiques en vigueur en taxonomie classique (couleur, taille, forme, etc.). Les outils de la biologie moléculaire compléteront ces données. Ainsi,

de ces protéines facilitera celle des mécanismes mis en jeu lors de la formation et du fonctionnement de la mycorhize. On peut penser qu'une sélection raisonnée des souches de champignons mycorhiziens les plus efficaces pourra alors être réalisée.

L'étude de la symbiose mycorhizienne d'*Acacia albida* s'inscrit dans le cadre des études de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (oss). Cet organisme de lutte contre la désertification, fondé en juillet 1989 à Paris, associe vingt pays africains et diverses organisations régionales et



L'arbre sahélien *Acacia albida* est associé à la fois à des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote et à des champignons du sol formant avec ses racines des mycorhizes. Celles-ci améliorent la nutrition minérale de l'acacia. A la suite de la décomposition sur le sol des feuilles de l'acacia, riches en éléments minéraux, les rendements des cultures effectuées sous cet arbre se révèlent supérieurs à ceux obtenus loin de l'arbre.

La photographie A montre une racine d'*A. albida* colonisée extérieurement et intérieurement par un champignon (à droite) et une autre qui n'est pas colonisée. Les structures externes du champignon sont constituées d'un réseau plus ou moins dense de filaments souterrains, les hyphes mycéliens, qui portent les organes de reproduction et de survie, les spores. Les structures internes sont représentées par des hyphes, par des renflements plus ou moins sphériques, ou vésicules (que l'on voit en B), et par des arbuscules, minuscules arborescences produites par le champignon dans les cellules racinaires. Ces arbuscules représentent les sites d'échange des éléments nutritifs entre les deux partenaires.

(Clichés A : T.A. Diop, B : D.G. Strullu et C. Romand)



ments nutritifs présents en profondeur. Cependant, la plupart des travaux réalisés dans le Sahel sur la mycorhization l'ont été avec des souches d'origines tempérées, en particulier le *Glomus mosseae*^(5,6). On ignore tout de la valeur relative des souches indigènes. Il est nécessaire avant tout de bien cerner la nature des mycorhizes de l'acacia et de préciser les analogies et les différences par rapport aux cas bien connus chez les arbres des régions tempérées.

Dans ce but, des cultures de différentes souches de champignons prélevées sous les acacias sont réalisées à l'INRA de Dijon et à l'université d'Angers soit sous serres, en association avec des semis d'*A. albida* et de poireaux, qui servent de plantes pièges, soit en conditions axéniques (milieu de culture stérile), en présence de racines isolées de tomate et de carotte transformées ou non par la bactérie *Agrobacterium rhizogenes* pour obtenir une croissance plus rapide et homogène. Lorsque la mycorhization

en 1992, L. Simon et ses collaborateurs, au Centre de recherche en biologie forestière (CRFB) de l'université Laval, au Québec^(8,9), ont montré que la technique de PCR (*Polymerase Chain Reaction*, amplification enzymatique de l'ADN *in vitro*) permet d'identifier les gènes des champignons zygomycètes et même de redéfinir leur généalogie. En liaison avec F. Martin, de l'INRA de Nancy, nous allons tenter d'établir une carte d'identité moléculaire des souches de champignons mycorhiziens isolés de l'acacia. Elles devraient notamment faciliter, lors d'essais sur le terrain, le suivi de l'installation des souches les plus efficaces pour l'acacia.

Un autre défi est d'expliquer les qualités agronomiques des plantes mycorhizées, en particulier leur meilleure résistance aux pathogènes et au stress hydrique. Il est vraisemblable que, chez les acacias, comme cela a été montré pour d'autres plantes mycorhizées^(10,11), la synthèse de protéines spécifiques est induite lors de la vie en symbiose. L'élucidation du rôle

internationales. Dans des régions aux économies très fragiles, l'utilisation d'engrais très coûteux ne peut perdurer en regard des multiples défis de développement. Nous pensons que des champignons mycorhiziens performants constituent un allié sûr pour l'agriculture de demain dans ces régions d'Afrique. Leur utilisation passe par la production massive de spores servant d'inoculum, sous une forme facile à manipuler, telle que les billes d'alginate (voir l'encadré). Les champignons récoltés dans des sites écologiques très contrastés permettront la création de banques d'inoculum maintenues *in vitro* ou en serre. Ces travaux viendront compléter les dispositifs qui sont d'ores et déjà suivis par le Microbial Resource Center (MIRCEN) dirigé par l'un d'entre nous (M.G.) à l'Institut sénégalais de recherche agricole (ISRA), à Dakar.

TAHIR A. DIOP, CHRISTIAN PLENCHETTE, DESIRÉ G. STRULLU, MAMADOU GUEYE ET BERNARD L. DREYFUS

- (1) D.G. Strullu et al., *Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées*, Tech. et Doc.-Lavoisier, 1991.
 (2) E. Sieverding, *Vesicular-arbuscular mycorrhiza in tropical agrosystems*, Technical cooperation, Allemagne fédérale, 1991.
 (3) T.A. Diop et al., *Applied and Envi. Microbiol.*, 60, 3433, 1994.
 (4) N. Dupuy et B.L. Dreyfus, *Applied and Envi. Microbiol.*, 58, 8, 1992.
 (5) F. Cornet et al., *INRA Publ. Dijon (ed)*, 73, 1982.
 (6) J.P. Colonna et al., *Mycorrhiza*, 1, 1, 1992.
 (7) D.G. Strullu et al., *World J. Microbiol. and Biotech.*, 7, 292, 1991.
 (8) L. Simon et al., *Applied and Envi. Microbiol.*, 58, 1, 1992.
 (9) L. Simon et al., *Nature Letters*, 363, 67, 1993.
 (10) P. Simoneau et al., *New Phytol.*, 124, 4, 1993.
 (11) P. Simoneau et al., *Applied and Envi. Microbiol.*, 60, 1810, 1994.