

LES BRADYRHIZOBIUM D'ACACIA ALBIDA ET D'AESCHYNOMENE SP. BACTERIES PHOTOSYNTHETIQUES ET NON PHOTOSYNTHETIQUES

N. DUPUY*, J. LORQUIN*, S. N'DIAYE*, D. ALAZARD*,
M. GILLIS** et B. DREYFUS*

*Laboratoire de Microbiologie des Sols, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

**Laboratoire de Microbiologie et de Génétique Microbienne, Rijksuniversiteit,
Ledeganckstratt 35, B-9000 Gent, Belgique

Résumé: Nous avons récemment découvert que d'importantes populations de Bradyrhizobium vivaient sous l'Acacia albida jusqu'à 34 m de profondeur, au niveau de la nappe phréatique. Ces souches de Bradyrhizobium ont été isolées et comparées pour leur capacité à fixer l'azote à d'autres souches isolées en surface. La proportion de souches non fixatrices d'azote (ineffectives) est élevée (environ 60%) et identique chez les souches de surface et de profondeur. Alors qu'à Louga (200 km au nord de Dakar) environ la moitié des souches isolées jusqu'à 34 m sont effectives, à Diokoul dans la région de Bambey (centre Sénégal), environ 90% des souches sont ineffectives. Malgré la présence de ces Bradyrhizobium dans les sols, nous n'avons pu mettre en évidence de nodules sur les Acacia albida adultes poussant dans la zone sahélienne. Par contre, dans la zone soudano-guinéenne, nous avons découvert de nombreux nodules fixateurs d'azote sur les racines des A. albida adultes qui poussent dans les rizières de Casamance (sud Sénégal). La proportion de souches effectives peut atteindre 90% dans les sols de rizières où la profondeur de la nappe d'eau varie entre 1,5 m et 4,5 m. Une étude de la répartition des Bradyrhizobium nous a montré que leur présence dans les sols de rizières dépend de la présence de racines de l'Acacia albida. A Djinaki les populations de Bradyrhizobium sous A. albida sont très élevées (105 bactéries/g de sol) et comparables aux populations de Rhizobium présentes dans les sols des régions tempérées sous légumineuses. Une étude taxonomique a permis de comparer les souches de l'Acacia albida aux souches isolées de nodules de tige de plusieurs espèces d'Aeschynomene. Parmi ces dernières, nous avons montré que les souches d'Aeschynomene indica et Ae. sensitiva isolées au Sénégal étaient photosynthétiques. Les résultats obtenus ont confirmé l'appartenance au grand groupe des Bradyrhizobium des souches d'Acacia albida et d'Aeschynomene. Les souches photosynthétiques d'Aeschynomene et un grand nombre de souches d'Acacia albida sont très proches taxonomiquement puisqu'elles appartiennent à un même sous-groupe génomique de Bradyrhizobium.

Abstract: We recently discovered that large populations of Bradyrhizobium lived under Acacia albida, as deep down as 34 m, at the level of the phreatic zone. These Bradyrhizobium strains have been isolated and their nitrogen-fixing capacity has been compared to that of other strains isolated from the surface. The percentage of non-nitrogen fixing strains (ineffective) is high (around 60%), and is the same for the surface and the depth strains. In Louga (200 km north of Dakar) about half the strains isolated, as deep down as 34 m, are effective, while in Diokoul, in the Bambey region (central Senegal), some 90% of the strains are ineffective. Despite the presence of Bradyrhizobium in the soil, we have not been able to detect nodules on the adult Acacia albida that grow in the Sahel. On the other hand, in the Sudano-Guinean zone, we found large numbers of nitrogen-fixing nodules on the roots of adult A. albida that grew in the Casamance ricefields (southern Senegal), where there were up to 90% effective strains and the depth of the water was between 1.5 m and 4.5 m. A study on the distribution of Bradyrhizobium showed that their presence in the soils of the ricefields depended on the

presence of Acacia albida roots. In Djinaki Bradyrhizobium populations under A. albida were very high (105 bacteria/g of soil), and was comparable to Rhizobium populations in the soils under legumes grown in temperate regions. We made a taxonomic study to compare the Acacia albida strains with strains isolated from stem-nodules of several species of Aeschynomene. Among them, we showed that strains from Aeschynomene indica and Ae. sensitiva isolated in Senegal were photosynthetic. The results confirmed that all Acacia albida and Aeschynomene strains belonged to the Bradyrhizobium genomic cluster. Photosynthetic strains from Aeschynomene and a large number of Acacia albida strains are taxonomically very close and belong to the same sub-cluster of Bradyrhizobium.

Les rhizobiums capables de former des nodules fixateurs d'azote sur les racines ou les tiges des légumineuses tropicales appartiennent à trois genres différents, le genre *Rhizobium*, le genre *Bradyrhizobium*, et le genre *Azorhizobium*. Moins étudiées que les *Rhizobium*, les bactéries du genre *Bradyrhizobium* (Jordan 1982), caractérisées par une croissance lente en culture pure (temps de génération supérieur à 6 heures), nodulent pourtant la grande majorité des légumineuses tropicales. En effet, le grand groupe des *Bradyrhizobium* ne comporte aujourd'hui qu'une seule espèce définie, *Bradyrhizobium japonicum*, qui comprend toutes les souches à croissance lente nodulant le Soja (*Glycine max*).

Des études de systématiques fondées sur la taxonomie numérique (t'Mannetje 1967, Abdel Basit 1991), les hybridations ADN-ADN ou ADN-ARNr, et le séquençage de l'ARN 16S (Hollis *et al.* 1981, Jarvis *et al.* 1986, Young *et al.* 1991) ont montré que le groupe des *Bradyrhizobium* était très hétérogène et composé de plusieurs sous groupes qui pourraient constituer des espèces séparées. *Bradyrhizobium japonicum* mais aussi d'autres *Bradyrhizobium*, appelés *Bradyrhizobium* sp. ou "cowpea" sont répartis dans ces différents sous groupes. Cependant aucune nouvelle espèce n'a été définie jusqu'à présent.

Parmi les légumineuses tropicales de l'Afrique de l'Ouest nodulées par les *Bradyrhizobium*, on trouve des légumineuses cultivées ayant une grande importance économique comme l'Arachide (*Arachis hypogaeae*), le Niébé (*Vigna unguiculata*), ou encore le Pois Bambara (*Voandzeia subterrannea*). De nombreuses espèces d'arbres (*Acacia albida*, *Pterocarpus erineaceus*, *Erythrophleum guineensis*, *Prosopis africana*, *Dalbergia melanoxylon*...etc), ainsi que les espèces à nodules de racine et de tige du genre *Aeschynomene* (*Ae. elaphroxylon*, *Ae. afraspera*, *Ae. indica*, *Ae. sensitiva*...etc) sont aussi nodulées par des *Bradyrhizobium* (Alazard 1991, de Lajudie 1991). Parmi ces différentes légumineuses, nous avons choisi d'étudier et de comparer les *Bradyrhizobium* nodulant un arbre, l'*Acacia albida*, aux *Bradyrhizobium* isolés des nodules de tige de plusieurs espèces d'*Aeschynomene*.

LES BRADYRHIZOBIUM DE L'ACACIA ALBIDA

Parmi les arbres du Sahel, l'*Acacia albida* présente la particularité unique d'avoir un cycle végétatif inversé (Monographie CTFT 1988). Il améliore la fertilité des sols et est utilisé par les paysans traditionnellement et empiriquement en association avec les cultures, et notamment avec le mil. En outre, pendant la saison sèche, ses feuilles et ses gousses procurent un

excellent fourrage aérien aux animaux. Contrairement à la majorité des *Acacia* sahéliens qui sont associés au genre *Rhizobium* (voir article de Lajudie *et al.*, ce volume), l'*Acacia albida* ne fixe l'azote qu'en association avec les *Bradyrhizobium* (Dreyfus et Dommergues 1981). Dans la région sahélienne, la croissance de l'*Acacia albida* est étroitement liée à la présence d'une nappe d'eau que les racines profondes de l'arbre peuvent atteindre, le rendant ainsi totalement indépendant du cycle annuel des saisons. La profondeur de la nappe varie entre 15 m et 40 m. Curieusement, l'*Acacia albida* peut aussi se développer beaucoup plus au Sud, en particulier dans les rizières de la zone soudanienne où la profondeur de la nappe d'eau varie entre 0,5 m et 4 m.

Par la diversité de ses biotopes, l'*Acacia albida* nous est donc apparu comme une plante hôte très intéressante. C'est ainsi que nous avons prélevé des échantillons de sol dans les zones sahéliennes et soudanienne en effectuant des forages de la surface jusqu'en profondeur (34 m à Louga). Le tableau 1 donne les résultats du dénombrement des *Bradyrhizobium* en fonction de la profondeur dans quatre sites de prélèvement différents. Dans la zone sahélienne, les *Bradyrhizobium* sont plus nombreux au niveau de la nappe d'eau qu'à la surface. En zone soudanienne, les populations de *Bradyrhizobium* sont réparties tout au long des forages et atteignent des chiffres tout à fait comparables à ceux trouvés pour les *Rhizobium* dans les sols sous légumineuses des régions tempérées. A partir des prélèvements de sols des différents forages, 53 souches de *Bradyrhizobium* ont été isolées et leur capacité à fixer l'azote dans les nodules de l'*Acacia albida* testée.

Le tableau 2 donne les mesures de fixation d'azote des souches en fonction de leur profondeur d'origine. Dans la zone sahélienne, à Louga, les souches effectives représentent moins de la moitié des souches et sont plus nombreuses en surface. Par contre, à Diokoul, seulement une souche effective a été isolée. Dans la zone sahélienne, nous n'avons jamais pu trouver de nodules sur des arbres adultes. La fixation d'azote par l'*Acacia albida* pourrait donc être négligeable, d'autant plus que dans certains sites (type Diokoul), les souches de *Bradyrhizobium* sont très largement inefficaces. Par contre, dans la zone soudanienne, la majorité des souches sont efficaces (Tableau 2) et nous avons trouvé des nodules fixateurs d'azote dans les sols des rizières. Les résultats rapportés au tableau 3 montrent que la présence des *Bradyrhizobium* dans les sols de rizières est étroitement liée à celle d'un *Acacia albida*. Ainsi, à partir de 20 cm de profondeur, seuls les sols sous couvert de l'*Acacia albida* renferment un nombre significatif de bactéries. Les résultats que nous avons obtenus diffèrent de ceux de Virginia *et al.* (1986) qui n'avaient pas observé de changement de populations de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium* hors et sous couvert de *Prosopis glandulosa*.

LES BRADYRHIZOBIUM DU GENRE AESCHYNOMENE

Plusieurs espèces d'*Aeschynomene* poussent pendant la saison des pluies dans les zones inondées du Sénégal. Comme *Sesbania rostrata*, dont elles partagent le même biotope, ces légumineuses aquatiques sont caractérisées par une nodulation de tige qui leur permet de fixer d'importantes quantités d'azote. Moins sensibles à la photopériode que *S. rostrata*, certaines espèces d'*Aeschynomene* comme *Ae. afraspera* sont utilisées comme engrais vert dans les

rizières et peuvent ainsi augmenter considérablement les rendements en riz (Alazard 1991, Ladha *et al.* 1990).

Les sites de nodulation de tige des *Aeschynomene* correspondent, comme chez *Sesbania rostrata*, à des primordia racinaires présents tout au long de la tige ou localisés sous l'épiderme de la tige. La nodulation de la tige n'a lieu que lorsque le primordium est directement accessible à la bactérie. Ainsi Alazard et Duhoux (1988) distinguent parmi les espèces d'*Aeschynomene* trois groupes de plantes. Le groupe I comprend les espèces (*Ae. elaphroxylon*, *Ae. uniflora*, *Ae. americana*...etc) dont les primordia racinaires demeurent toujours inclus dans la tige sous l'épiderme. Le groupe II comprend deux espèces (*Ae. afraspera*, *Ae. nilotica*) dont les primordia racinaires ont percé l'épiderme de la tige. Le groupe III comprend plusieurs espèces (*Ae. indica*, *Ae. sensitiva*, *Ae. tambacoudensis*...etc) dont les primordia, situés juste sous l'épiderme de la tige, souvent au centre de lenticelles, restent sensibles à l'infection. Ainsi, seules les espèces des groupes II et III portent à la fois des nodules de tige et de racine, les plantes du groupe I n'ayant que des nodules racinaires.

Cette classification des *Aeschynomene* en trois groupes correspond aussi pour les rhizobia à trois groupes d'inoculation croisée (Alazard 1991). Ainsi, les bactéries isolées des nodules racinaires du groupe I ne produisent pas de nodules sur les espèces du groupe III et les bactéries isolées des plantes du groupe III n'induisent de nodules effectifs que dans ce même groupe. Le groupe II constitue un groupe intermédiaire dont les bactéries peuvent former des nodules soit sur les plantes du groupe I soit sur celles du groupe III. Malgré ces différences dans la nodulation, une étude taxonomique basée sur l'analyse des caractères nutritionnels ainsi que sur l'analyse des protéines totales en SDS PAGE, a montré que tous les rhizobia isolés des différents groupes d'*Aeschynomene* appartiennent au genre *Bradyrhizobium* (Alazard 1991). De plus, la plupart des souches isolées des groupes d'inoculation croisée II et III présentent la propriété de fixer l'azote en culture pure et forment un groupe taxonomique très homogène (Alazard 1991).

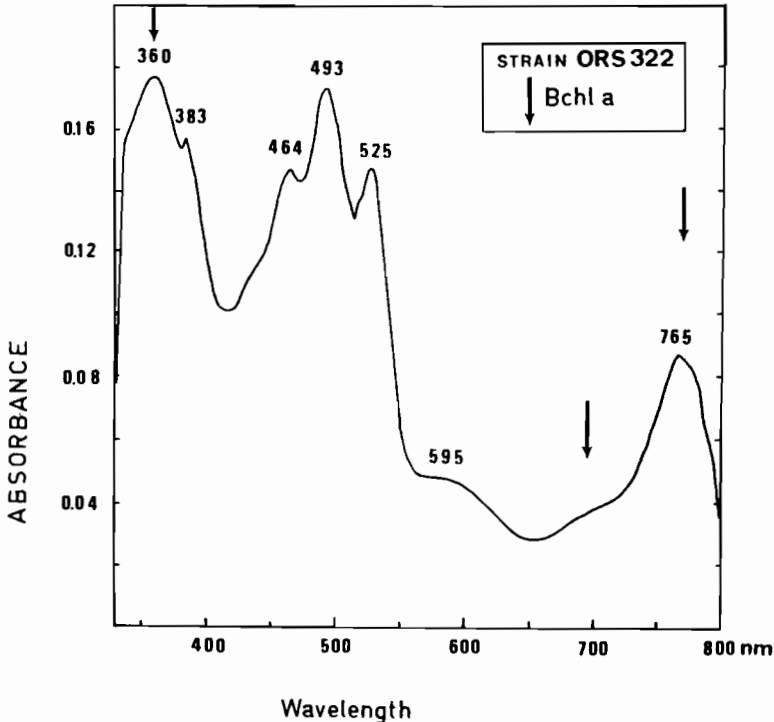
Récemment, Evans *et al.* (1990) ont mis en évidence les propriétés photosynthétiques d'une souche isolée de nodules de tige d'*Aeschynomene indica*, la souche BTAil. Cette souche qui contient de la bactériochlorophylle a ainsi que des centres de réaction de photosynthèse, identiques à ceux des bactéries photosynthétiques pourpres (Pfennig et Trüper 1974). De plus, en présence de lumière, il semble que la photosynthèse soit active, aussi bien en culture pure que dans les nodules de tige (Fleischman *et al.* 1990).

Appelée provisoirement *Photorhizobium thompsonianum*, cette souche appartient en fait au genre *Bradyrhizobium* comme l'ont montré les études de séquençage d'un segment de l'ARNr 16S (Young *et al.* 1991). Bien que totalement nouvelle chez les rhizobia, la capacité de photosynthèse de la souche BTAil n'est pas surprenante du fait de la proximité taxonomique des *Bradyrhizobium* et des bactéries photosynthétiques du genre *Rhodopseudomonas* établie depuis plusieurs années sur la base de comparaisons de séquence de l'ARNr 16S (Hennecke *et al.* 1985) ou d'hybridation ADN-ARNr (Jarvis *et al.* 1986). Cette relation étroite entre *Bradyrhizobium* et *Rhodopseudomonas* a été récemment confirmée par Young *et al.* (1991) qui montrent par analyse de l'ARNr 16S qu'une souche de *Rhodopseudomonas palustris* appartient à un des clusters de *Bradyrhizobium japonicum*.

Nous avons récemment mis en évidence que, comme la souche BTAil, de nombreuses souches isolées de nodules de tige d'*Aeschynomene afraspera*, *Ae. nilotica*, *Ae. indica*, *Ae. sensitiva* sont photosynthétiques. Lorsque ces souches sont cultivées sous un éclairage intermittent riche en rayons infrarouges (14 h de lumière, 8 h d'obscurité) sur un milieu solide ou liquide pauvre en source carbonée, l'induction des pigments qui jouent un rôle dans la photosynthèse (bactériochlorophylle et divers caroténoïdes) se produit en fin de croissance exponentielle. Par contre, aucune coloration des colonies n'apparaît en lumière continue ou à l'obscurité.

Contrairement aux bactéries du genre *Rhodopseudomonas*, ces bactéries symbiotiques et photosynthétiques sont strictement aérobies et jusqu'à présent, aucune croissance en conditions photoautotrophes n'a été obtenue. La Figure 1 montre, après extraction, le spectre d'absorption des pigments de la souche photosynthétique ORS322 isolée de nodules d'*Aeschynomene afraspera*. Ce spectre est très proche de celui observé chez la souche BTAil (Evans *et al.* 1990). On distingue parfaitement la bactériochlorophylle a (765, 700, 595, 383-390 et 360 nm) ainsi que le (ou les) caroténoïde(s) (525, 493 et 464 nm). Les propriétés photosynthétiques des *Bradyrhizobium* d'*Aeschynomene* (40 souches isolées par D. Alazard et 90 souches nouvellement isolées) ont été étudiées. Parmi ces 130 souches, 80 sont photosynthétiques, certaines produisant en abondance des caroténoïdes roses, saumon ou orange vif rappelant ceux produits par plusieurs espèces de *Rhodopseudomonas*. Aucune des souches isolées de l'*Acacia albida* n'est photosynthétique.

Figure 1



RELATIONS ENTRE LES BRADYRHIZOBIUM ISOLES DE L'ACACIA ALBIDA ET LES BACTERIES PHOTOSYNTHETIQUES OU NON PHOTOSYNTHETIQUES DES AESCHYNOMENE

Spécificité de nodulation

Nous avons tout d'abord comparé le spectre d'hôte des *Bradyrhizobium* des *Aeschynomene* et de l'*Acacia albida*. Le tableau 4 donne les résultats simplifiés de nodulation et de fixation de l'azote pour quelques souches isolées des trois groupes d'*Aeschynomene* (voir section précédente) et d'une souche d'*Acacia albida*. Les résultats obtenus avec d'autres souches que la souche ORS101 confirment que la plupart des souches d'*Acacia albida* nodulent le groupe I des *Aeschynomene* et vice-versa. Ainsi, l'*Acacia albida* et les *Aeschynomene* du groupe I font partie du même groupe d'inoculation croisée. Aucune nodulation croisée n'est observée entre le groupe I et le groupe III (Tableau 4). D'autre part, nous avons montré que toutes les souches isolées des *Aeschynomene* du groupe III (*Ae. indica*, *Ae. sensitiva*, *Ae. tambacoundensis*), étaient photosynthétiques. Parmi les souches isolées de *Ae. afraspera* (groupe II) on trouve aussi bien des souches non photosynthétiques nodulant les plantes du groupe I que des souches photosynthétiques nodulant le groupe III. Mais ces souches ne forment de nodules effectifs que dans le groupe II.

Résultats de taxonomie

Les *Bradyrhizobium* de l'*Acacia albida* isolés en surface et en profondeur ainsi qu'une partie des souches d'*Aeschynomene* (Alazard 1990) ont tout d'abord été caractérisés par une étude comparative des protéines totales avec la technique d'électrophorèse en gel de polyacrylamide (SDS-PAGE). Les profils obtenus ont été comparés à la base de données de l'Université de Gand qui contient les profils électrophorétiques de plus de 200 souches de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* et *Azorhizobium*. Les résultats obtenus confirment que toutes les souches isolées de l'*Acacia albida* et des différentes espèces d'*Aeschynomene* appartiennent au grand groupe des *Bradyrhizobium*. Ce grand groupe comprend actuellement cinq sous-groupes (A, B, C, D et E) (Gillis *et al.*, résultats non encore publiés). Les souches d'*Acacia albida* isolées aux différentes profondeurs sont réparties dans les trois sous-groupes A, B et C, principalement dans les sous-groupes B et C.

La grande majorité des souches d'*Aeschynomene* appartient au sous-groupe B. De plus, toutes les souches photosynthétiques appartiennent à un groupe électrophorétique très homogène qui fait partie du sous-groupe B. Ainsi, comme le montre la figure 2, le sous-groupe B contient à la fois des souches d'*Acacia* et d'*Aeschynomene*, les souches photosynthétiques étant toutes regroupées dans le même sous-groupe de B. D'autre part, l'ADN de quelques souches représentatives des souches d'*Acacia* et d'*Aeschynomene* a été utilisé pour les hybridations ADN ARNr avec la sonde ARNr de la souche type de *Bradyrhizobium japonicum*. Les résultats obtenus confirment que toutes les souches photosynthétiques et non photosynthétiques testées jusqu'à présent appartiennent au groupe génomique des *Bradyrhizobium*.

CONCLUSION

Les travaux que nous avons menés au Sénégal nous ont permis de mettre en évidence plusieurs propriétés nouvelles dans le groupe de *Bradyrhizobium*. Les souches de l'*Acacia albida* peuvent vivre en grand nombre jusqu'à 34 m de profondeur sous son couvert. L'étude de taxonomie nous a montré qu'il n'y avait pas de différence entre les souches de profondeur et celles de surface. Ainsi les souches présentes en surface pourraient suivre les racines de l'arbre au cours de leur croissance vers la nappe d'eau.

Ces résultats confirment l'intérêt d'une inoculation en pépinière avec une souche fixatrice d'azote et compétitive, surtout dans les sites comme Diokoul où aucune des souches isolées en profondeur n'est effective. Nous avons d'autre part mis en évidence que l'activité photosynthétique était une propriété commune à de nombreuses souches isolées de nodules de tige des *Aeschynomene*.

Ces souches photosynthétiques et un grand nombre de souches d'*Acacia albida* appartiennent au même sous-groupe génomique de *Bradyrhizobium*, confirmant ainsi la proximité des bactéries symbiotiques et des bactéries photosynthétiques. L'étude des relations entre photosynthèse et fixation d'azote devrait permettre à l'avenir d'améliorer dans les nodules aériens le rendement de la symbiose fixatrice d'azote.

Tableau 1. Distribution des populations de *Bradyrhizobium* dans quatre profils de sol sous le couvert d'un *Acacia albida* de la surface jusqu'à la nappe d'eau

Zone éoclimatique Sahélienne (100 à 500 mm de pluies annuelles)				Zone éoclimatique Soudano-guinéenne (1000 à 1500 mm de pluies annuelles)			
Louga		Diokoul		Djinaki		Kabrousse	
Niveau sol	Nb. de rhizobia par g de sol ^a	Niveau sol	Nb. de rhizobia par g de sol	Niveau sol	Nb. de rhizobia par g de sol	Niveau sol	Nb. de rhizobia par g de sol
0.0 m	70	0.0 m	< 1	0.0 m	13000	0.0 m	230
0.5 m	1270	0.5 m	20	0.5 m	32000	0.5 m	42000
2.5 m	90	2.5 m	20	1.0 m	28000	1.0 m	2300
5.0 m	160	4.0 m	50	1.5 m	28000	1.5 m ^b	9180
7.5 m	< 1	6.0 m	< 1	2.0 m	43000		
11.0 m	< 1	8.0 m	< 1	3.0 m	42400		
14.0 m	< 1	10.0 m	< 1	4.0 m	1500		
17.5 m	90	11.5 m	30	4.5 m ^b	1500		
21.0 m	< 1	14.0 m	80				
24.0 m	40	16.5 m ^b	30				
27.5 m	10						
28.5 m	120						
30.0 m	20						
32.0 m	20						
33.5 m	340						
34.0 m ^b	1320						

a Déterminé par MPN.

b Niveau de la nappe d'eau.

Tableau 2. Répartition des souches de *Bradyrhizobium* d'*Acacia albida* en fonction de leur effectivité

Zone écoclimatique Sahélienne (100 à 500 mm de pluies annuelles)				Zone écoclimatique Soudano-guinéenne (1000 à 1500 mm de pluies annuelles)							
Louga				Diokoul		Djinaki			Kabrousse		
Profondeur	E ^a	I ^b	Profondeur	E	I	Profondeur	E	I	Profondeur	F	I
0.5 m	4	4	0.5 m	1	0	0.0 m	1	0	0.0 m	0	1
2.5 m	3	1	2.5 m	0	1	0.5 m	1	0	0.5 m	1	0
5.0 m	0	2	4.0 m	0	1	1.0 m	2	0	1.0 m	1	0
17.5 m	2	2	11.5 m	0	1	1.5 m	2	0	1.5 m ^c	1	0
24.0 m	1	1	14.0 m	0	2	2.0 m	1	0			
27.5 m	1	0				3.0 m	1	0		3	1
28.5 m	0	2		1	5	4.0 m	2	0			
30.0 m	0	2				4.5 m ^c	2	0			
32.0 m	1	1									
33.5 m	0	2					12	0			
34.0 m ^c	0	2									
	12	19									

^a Effective

^b Ineffective

^c Niveau de la nappe d'eau

Tableau 3. Influence de la présence de l'*Acacia albida* sur la distribution des *Bradyrhizobium* dans les sols

Nombre de *Bradyrhizobium* nodulant *Acacia albida*

Profondeur	Sous couvert		Hors couvert		Sous <i>A. albida</i> mort		Sous <i>P. biglobosa</i>	
	Forage 1	Forage 2	Forage 3	Forage 4	Forage 5	Forage 6	Forage 7	Forage 8
0.1-0.2 m	1481 ^a	850	<1	<1	159	27	382	<1
0.6-0.7 m	6300	12	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1.1-1.2 ^b m	42	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

^a Les résultats sont exprimés en nombre de rhizobia par gramme de sol.

^b Niveau de la nappe d'eau.

Figure 2. Classification des *Bradyrhizobium* isolés d'*Acacia albida* et d'*Aeschynomene* par analyse des profils protéiques

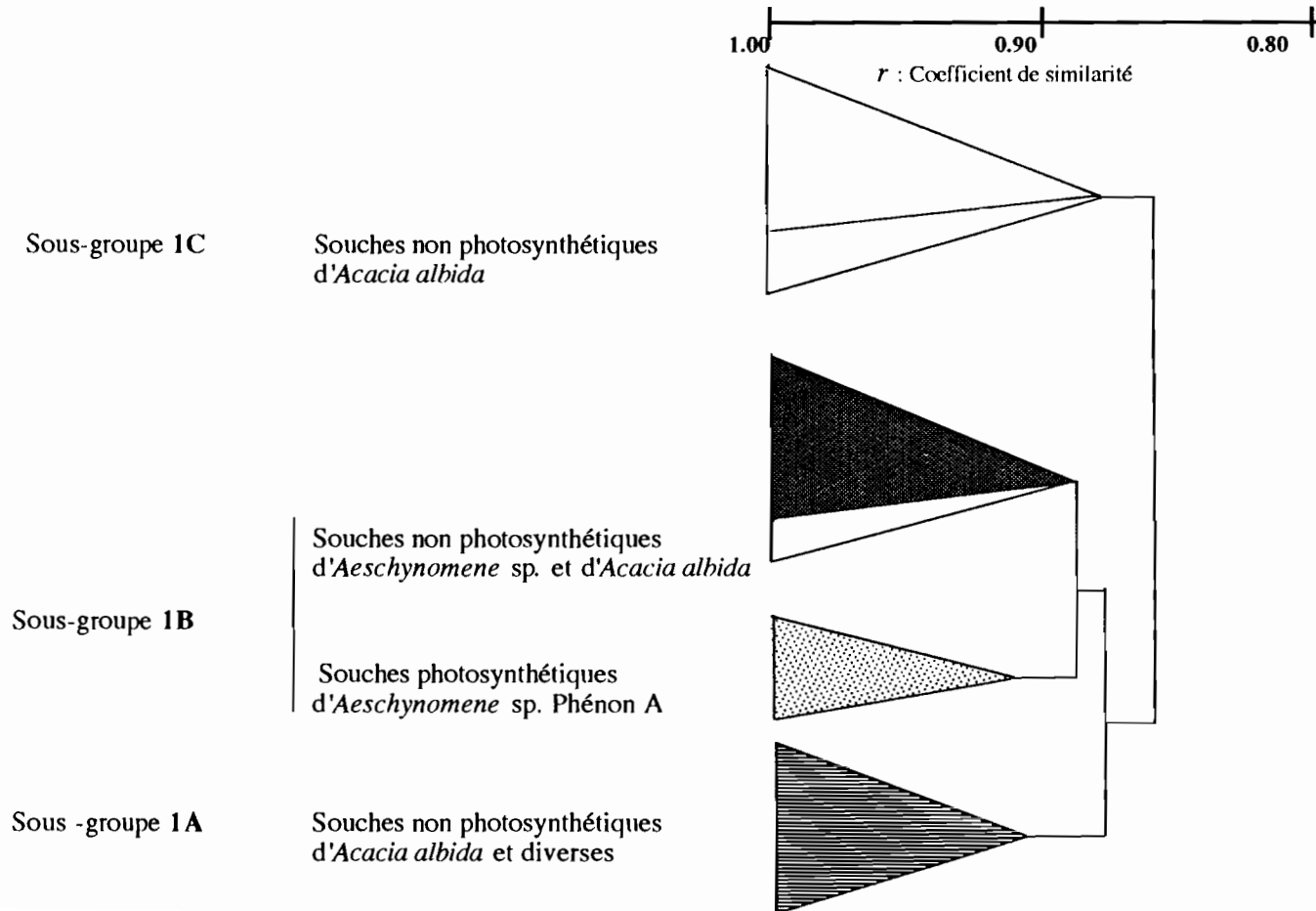


Tableau 4. Infectivité et Effectivité de quelques souches de *Bradyrhizobium* photosynthétiques et non photosynthétiques.

Plante hôte	Souches					
	Non photosynthétiques			Photosynthétiques		
	<i>A. albida</i>	<i>A. elaphrocydon</i>	<i>A. afraspera</i>	<i>A. afraspera</i>	<i>A. indica</i>	<i>A. sensitiva</i>
	ORS101	ORS304	ORS336	ORS322	ORS371	ORS295
Groupe I						
<i>Acacia albida</i>	E	E	I	I	0	0
<i>Aeschynomene elaphrocydon</i>	E	E	I	0	0	0
Groupe II						
<i>Aeschynomene afraspera</i>	I	I	E	E	0	0
Groupe III						
<i>Aeschynomene indica</i>	0	0	0	e	E	E
<i>Aeschynomene sensitiva</i>	0	0	0	e	E	E

E effective, e peu effective, I ineffective, 0 non nodulé

REFERENCES

Abdel Basit H., Angle J.S., Salem S., Gewaily E.M., Kotob S.I. and van Berkum P. (1991). Phenotypic diversities among strains of *Bradyrhizobium japonicum* belonging to serogroup 110. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 1570-1572.

Alazard D. (1990). Nitrogen fixation in pure culture by rhizobia isolated from stem nodules of tropical *Aeschynomene* species. *FEMS Microbiol. Letters* 68: 177-182.

Alazard D. (1991). La nodulation caulinaire dans le genre *Aeschynomene*. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard-Lyon I. 176 pp.

Alazard D. and Duhoux E. (1988). Diversity of stem nodulation sites in *Aeschynomene* sp. *J. Plant Physiol.* 132: 123-125.

C.T.F.T. (1988). *Faidherbia albida*. Monographie. Centre Technique Forestier Tropical, CIRAD, Eds. Nogent sur Marne, France. 72 pp.

Dreyfus B. and Dommergues Y.R. (1981). Nodulation of *Acacia* species by fast- and slow-growing tropical strains of *Rhizobium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 41: 97-99.

Evans W.R., Fleischman D.E., Calvert H.E., Pyati R.V., Alter G.M. and Subba Rao N.S. (1990). Bacteriochlorophyll and photosynthetic reaction centers in *Rhizobium* strain BTAi1. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3445-3449.

Fleischman D., Evans W.R., Eaglesham A.R.J., Calvert H.E., Dolan Jr. E., Subba Rao N.S. and Shanmugasundaram S. (1990). Photosynthetic properties of stem nodule *Rhizobia*. In *BNF associated with rice production*. S.K. Dutta and C. Sloger Eds. Oxford & IBH Publishing Co. PVT. LTD., New Delhi. pp. 39-46.

- Hennecke H., Kaluza K., Thöny B., Fuhrmann M., Ludwig W. and Stackebrandt E. (1985). Concurrent evolution of nitrogenase genes and 16S rRNA in *Rhizobium* species and other nitrogen fixing bacteria. *Arch. Microbiol.* 142: 342-348.
- Hollis A.B., Kloos W.E. and Elkan G.H. (1981). DNA DNA hybridization studies of *Rhizobium japonicum* and related Rhizobiaceae. *J. Gen. Microbiol.* 123: 215-222.
- Jarvis B.D.W., Gillis M., and De Ley J. (1986). Intra- and intergeneric similarities between the ribosomal ribonucleic acid citrons of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species and some related bacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 36: 129-138.
- Jordan D.C. (1982). Transfer of *Rhizobium japonicum* to *Bradyrhizobium*. A slow-growing root nodule bacterium from leguminous plants. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 32: 136-139.
- Ladha J.K., Pareek R.P., So R., and Becker M. (1990). Stem nodule symbiosis and its unusual properties. In: *Nitrogen Fixation Achievements and Objectives*. P.M. Gresshoff, L.E. Roth, G. Stacey and W.L. Newton Eds. Chapman and Hall New York, London. pp. 1-8.
- de Lajudie P., Neyra M., Dupuy N., Alazard D., Gillis M. (1991). Diversité des *Rhizobium*, spécificité de nodulation et aptitude à fixer l'azote chez les *Acacias* sahéliens. *Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe d'Etudes de l'Arbre. Paris. France. (sous presse).
- Pfennig N., and Trüper H.G. (1974). Part I. The phototrophic bacteria, In: *Bergey's manual of determinative bacteriology*, 8th ed. R.E. Buchanan and E. Gibbons Eds. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, USA. pp. 25-75.
- t'Mannetje, L. (1967). A re-examination of the taxonomy of the genus *Rhizobium* and related genera using numerical analysis. *Antonie van Leeuwenhoek. J. Microb. Serol.* 33: 478-491.
- Virginia R.A., Jenkins M.B. and Jarrel W.M. (1986). Depth of root symbiont occurrence in soil. *Biol. Fertility Soils* 2: 127-130.
- Young J.P.W., Downer H.L. and Eardly B.D. (1991). Phylogeny of the phototrophic *Rhizobium* strain BTAi1 by polymerase chain reaction-based sequencing of a 16S rRNA gene segment. *J. Bacteriol.* 173: 2271-2277.

**INTERACTIONS PLANTES
MICROORGANISMES**

**SENEGAL
FEBRUARY 1992**

ifs

Fondation Internationale pour la Science

INTERACTIONS PLANTES MICROORGANISMES

INTERACTIONS BETWEEN PLANTS AND MICROORGANISMS

**Compte rendu du séminaire régional organisé par
la Fondation Internationale pour la Science (IFS)
et l'Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)**

**Dakar, Sénégal
17-22 février 1992**

Organisateurs:

Fondation Internationale pour la Science (IFS)
Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

Co-financé par:

Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)
Islamic Educational, Scientific and Cultural Organization (ISESCO)
Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA)

Publié par:

Fondation Internationale pour la Science (IFS)
Grev Turegatan 19, 114 38 Stockholm, Sweden

Rédaction:

Judith N. Wolf

Les communications qui figurent dans cette publication ont été reproduites telles que soumises et n'ont pas été revues par des pairs, ni révisées du point de vue scientifique par la Fondation Internationale pour la Science (IFS). Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs et pas la Fondation Internationale pour la Science (IFS).

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN: 91 85798 31 2