

SEMINAIRES CRDI - FIS - ORSTOM

ARBRES FIXATEURS D'AZOTE

et

AMELIORATION BIOLOGIQUE DE LA FERTILITE DU SOL

( Dakar, Sénégal, 17-25 Mars 1986)

UTILISATION DES LEGUMINEUSES A NODULES CAULINAIRES  
COMME ENGRAIS VERT EN RIZICULTURE

par

G. RINAUDO

---

#### RESUME

Les légumineuses à nodules caulinaires, Sesbania rostrata et diverses espèces appartenant au genre Aeschynomene, ont des potentialités fixatrices d'azote supérieures à la plupart des autres légumineuses. Toutefois de nombreux facteurs (édaphiques, climatiques, biologiques), sont susceptibles de limiter considérablement leur développement.

Une nodulation spontanée des tiges peut avoir lieu. Mais l'inoculation est souhaitable si l'on recherche l'expression optimale des potentialités fixatrices d'azote.

Leur utilisation comme engrais vert en riziculture (irriguée ou pluviale), peut permettre des augmentations de rendements très importantes. Elle doit être précédée d'études préalables afin de déterminer les conditions optimales de croissance de ces légumineuses et d'adapter cette méthodologie aux pratiques culturales locales.

UTILISATION DES LEGUMINEUSES A NODULES CAULINAIRES  
COMME ENGRAIS VERT EN RIZICULTURE

---

G. RINAUDO

Laboratoire de Microbiologie des Sols  
Centre ORSTOM de Dakar, BP. 1386, . Dakar, Sénégal.

1. INTRODUCTION

L'azote est souvent le principal facteur limitant la productivité des sols. La révolution verte en riziculture est due pour l'essentiel à la sélection de variétés de riz répondant bien à la fertilisation minérale. Malheureusement, le coût des engrais, notamment des engrais azotés, limite souvent leur utilisation dans les pays en voie de développement.

L'une des solutions permettant d'améliorer la fertilité des sols sans recourir massivement aux engrais azotés, consiste à utiliser la fixation biologique de l'azote : utilisation d'*azolla* et de légumineuses en engrais vert, pratiques tendant à favoriser le développement des microorganismes fixateurs d'azote, inoculation algales ou bactériennes (cf. Roger et Watanabe, 1985)

L'utilisation des légumineuses en engrais vert pour améliorer la productivité des rizières, est une pratique très ancienne dans des pays comme la Chine et l'Inde (Qi-Xiao Wen, 1984 ; Singh, 1984). De très nombreuses légumineuses ont été utilisées, notamment *Astragalus sinicus*, *Crotalaria juncea* et diverses espèces appartenant aux genres *Sesbania*, *Medicago*, *Cassia* et *Vigna*.

Au cours des cinq dernières années, une attention particulière a été accordée aux légumineuses à nodules caulinaires en particulier *Sesbania rostrata* (Dreyfus et Dommergues, 1981), et certaines espèces du genre *Aeschynomene* (Alazard, 1985). L'aptitude de ces légumineuses à noduler à la fois sur les tiges et sur les racines, leur confère en effet des potentialités fixatrices d'azote exceptionnelles. Ainsi, des essais effectués en microparcelles de 1 m<sup>2</sup>, ont montré que *S. rostrata* peut fixer environ 200 unités d'azote en 50 à 60 jours, et que son utilisation comme engrais vert permet des augmentations de rendements spectaculaires (Rinaudo et al., 1983 ; Rinaudo et Moudiongui, 1985). Des résultats similaires ont été obtenus très récemment avec deux espèces d'*Aeschynomene*, *A. afraspera* et *A. nilotica* (Alazard, communication personnelle).

Toutefois le développement de ces légumineuses est particulièrement sensible à un certain nombre de facteurs de l'environnement. Compte tenu de leur intérêt agronomique, il convient donc de préciser leurs potentialités mais aussi les limites de leur utilisation.

## 2. EVALUATION DES POTENTIALITES FIXATRICES D'AZOTE DE SESBANIA ROSTRATA

Voici à titre d'exemple, les résultats d'une expérimentation effectuée en vases de végétation à la station ORSTOM de Bel-Air, Dakar. Les plantes ont été cultivées 53 jours dans des cylindres en PVC (diamètre 30 cm, hauteur 50 cm) rendus étanches et remplis de sol sur une hauteur de 30 cm (4 plantes par cylindre). A compter du 15<sup>e</sup> jour, le sol a été maintenu sous lame d'eau. L'inoculation a été effectuée aux 21<sup>ème</sup> et 31<sup>ème</sup> jours par pulvérisation des tiges avec une culture de *Rhizobium* ORS571.

Nous avons en premier lieu analysé l'évolution de l'activité réductrice d'acétylène (ARA) en fonction de l'âge de la plante. Rappelons que la mesure d'ARA est une mesure de l'activité de la nitrogénase, le complexe enzymatique responsable de la fixation de l'azote moléculaire. Les résultats obtenus (fig. 1A) montrent qu'en condition d'hydromorphie permanente, la fixation d'azote par *S. rostrata* est due pour l'essentiel aux nodules caulinaires (96 % de l'activité totale).

L'activité réductrice d'acétylène est une mesure indirecte de l'activité fixatrice d'azote. Il est donc possible à partir de la courbe d'ARA caulinaire, d'obtenir par intégration une courbe cumulative permettant d'apprécier l'azote fixé en fonction de l'âge de la plante. Dans le cas présent par exemple, on constate (fig. 1B) qu'en 40 jours *S. rostrata* n'aurait fixé que 35 % de l'azote qu'elle peut fixer en 53 jours.

Nous avons également estimé la quantité d'azote fixée en 53 jours par *S. rostrata* au moyen de deux méthodes : (1) la méthode par différence qui consiste à mesurer la différence entre l'azote total de plantes fixatrices d'azote (inoculées) et l'azote total de plantes non fixatrices (non inoculées) ; (2) la méthode de dilution isotopique directe (Fried et Middleboe, 1977) qui est basée sur le fait que les plantes non fixatrices n'utilisent que l'azote du sol et de l'engrais marqué, alors que les plantes fixatrices utilisent également l'azote de l'air, ce qui se traduit par une dilution de l'azote marqué.

Les résultats obtenus par l'une et l'autre méthode sont très voisins: 2,38 et 2,15 g d'azote par cylindre respectivement (tableau 1). Ces quantités sont très importantes (environ 30 g d'azote fixé par m<sup>2</sup>). Nous avons calculé en outre que 38 % de l'azote de la plante provenaient de la fixation d'azote.

Ces résultats sont en accord avec les estimations antérieures effectuées par bilan d'azote (Rinaudo et al. 1983).

Les légumineuses utilisées en engrais vert, accumulent en moyenne 100 kg d'azote par hectare (Roger et Watanabe, 1985). En raison de sa double nodulation, *S. rostrata* est donc plus performante que la plupart des autres légumineuses.

### 3. PRINCIPAUX FACTEURS SUSCEPTIBLES D'AGIR SUR LE SYSTEME RHIZOBIUM-LEGUMINEUSE.

#### 3.1. Facteurs édaphiques

Peu d'observations ont été faites jusqu'ici sur l'incidence des caractéristiques physico-chimique des sols sur le développement des légumineuses à nodules caulinaires. La texture n'est probablement pas un facteur important : *S. rostrata* et *Aeschynomene* se développent bien sur sol sablonneux et sur sol argileux . Furoc et al. (1985) ont observé que sur sol acide (pH 4), la croissance de *S. rostrata* est faible et la nodulation quasiment nulle.

L'azote combiné est susceptible d'inhiber la formation des nodules et de diminuer l'activité de nodules préexistants. Ces effets sont moins marqués sur les nodules caulinaires que sur les nodules racinaires, notamment dans le cas d'*Aeschynomene scabra* (Eaglesham et Szalay, 1983) et d'*A. afraspera* (Becker et Alazard, communication personnelle). En ce qui concerne *S. rostrata* la différence est moins sensible : en présence de 1,5 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  les taux d'inhibition de l'activité des nodules

par rapport à un témoin sans azote sont de 64 % et 81% respectivement pour les nodules caulinaires et racinaires (Moudiongui, communication personnelle).

Saint Macary et al. ont étudié l'effet du régime hydrique sur deux espèces de *Sesbania* : *S. rostrata* et *S. sesban*. Ils ont montré que le régime qui convenait le mieux au développement et à la fixation d'azote de ces deux espèces consistait à maintenir le sol à la capacité au champ, et que la submersion était beaucoup plus préjudiciable aux nodules racinaires qu'aux nodules caulinaires. La nodulation de tige est donc un avantage très important dans le cas d'hydromorphie excessive.

### 3.2. Facteurs climatiques

Des essais effectués à différentes époques de l'année ont montré que le développement et l'activité fixatrice d'azote de *S. rostrata*, sont étroitement dépendants des conditions climatiques (Rinaudo et Moudiongui, 1985). La floraison peut intervenir très rapidement (4 à 5 semaines après le semis) si la durée de l'insolexion est inférieure à 12h/j. Des résultats analogues ont été obtenus aux Philippines (IRRI, 1984) avec 3 variétés de *Sesbania* (*S. aculeata*, *S. rostrata* et *S. "China type"*). La fixation d'azote caulinaire est particulièrement sensible aux variations de température : la température moyenne optimale est de l'ordre de 30°C. Voici à titre d'exemple, les mesures effectuées le 13 septembre 1983 et le 3 janvier 1984 à Dakar, avec des plantes de 9 semaines :

|   | <u>13.09.83</u> | <u>3.01.84</u> |
|---|-----------------|----------------|
| Température moyenne (°C)                            | 29°5            | 25°            |
| Hauteur (cm)  | 213             | 35             |
| Poids sec (g/plante)                                | 94,5            | 3,1            |
| Azote total (g/plante)                              | 1,6             | 0,1            |
| ARA (moles C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /plante/h) | 171             | 18             |

Les conditions climatiques ont donc une incidence considérable sur le développement de *S. rostrata*.

### 3.3. Parasites

Une importance particulière doit être accordée aux nématodes phytoparasites.

En sol exondé, *S. rostrata* est particulièrement sensible à certains nématodes des cultures maraichères (*Meloïdogine* notamment). Leur présence éventuelle peut constituer un facteur limitant majeur au développement de cette légumineuse.

En sol inondé par contre, *S. rostrata* joue le rôle de plante piège vis à vis d'*Hirschanniella oryzae* et *H. spinicaudata* (Germani et al., 1983), nématodes phytoparasites du riz très fréquents en Afrique de l'Ouest : on observe après culture de *S. rostrata* une diminution très spectaculaire du nombre de nématodes. L'utilisation de *S. rostrata* en riziculture irriguée est donc doublement bénéfique (effet engrais vert et effet nématocide).

### 3.4. Inoculation

Des essais effectués aux Philippines à l'IRRI ont montré que *Crotalaria juncea* et diverses espèces de *Sesbania* nodulaient généralement bien sans qu'il soit nécessaire d'inoculer.

Au Sénégal nous avons fréquemment observé une nodulation spontanée des tiges de *S. rostrata* ou *A. afraspera*. Cette nodulation plus ou moins abondante est souvent limitée à la base des tiges. Elle peut être déclenchée par la submersion du sol et progresse d'autant plus vite le long des tiges,

que les pluies sont fréquentes.

L'inoculation est souhaitable chaque fois que la nodulation spontanée des tiges est nulle ou peu abondante. Elle doit être recommandée en particulier dans les périmètres irrigués quand la culture de la légumineuse est effectuée au cours d'une période non pluvieuse, et dans le cas de sols acides peu propices à la survie des *Rhizobium*. On ne peut également exclure la présence dans le sol de populations natives de *Rhizobium* peu efficaces ; dans ce cas l'inoculation permet d'introduire une souche plus compétitive.

L'inoculation peut être effectuée au moment du semis si le sol ne renferme pas de *Rhizobium* spécifique ; on pourra utiliser une culture de la bactérie adsorbée sur un support solide (tourbe ou gel de polymère), ou plus simplement une poudre préparée à partir de nodules prélevés au cours d'une culture précédente, séchés à l'air et broyés. L'inoculation des tiges est effectuée 5 à 6 semaines après le semis par pulvérisation d'une suspension renfermant des *Rhizobium*. Dans le cas de *S. rostrata*, l'inoculum peut être préparé très simplement sur le terrain, à partir de nodules prélevés au bas des tiges (il suffit de les broyer, reprendre avec un peu d'eau et filtrer).

#### 4. UTILISATION DES LEGUMINEUSES A NODULES CAULINAIRES COMME ENGRAIS VERT.

Les essais effectués au Sénégal au cours des cinq dernières années ont montré que les légumineuses à nodules caulinaires peuvent constituer un engrais vert d'excellente qualité non seulement en riziculture irriguée mais aussi en culture pluviale.



#### 4.1. Riziculture irriguée

Des essais effectués en microparcelles de 1m<sup>2</sup> à la station ORSTOM de Bel-Air, ont montré que l'utilisation de *S. rostrata* permet des rendements en grains 2,5 à 3 fois supérieurs à ceux des parcelles n'ayant pas reçu d'azote, et améliore leur teneur en azote. Compte tenu de l'effet résiduel sur une seconde culture de riz (augmentation des rendements de l'ordre de 50%), l'effet global de l'engrais vert sur deux cultures de riz consécutives, est de doubler les rendements en grains (Rinaudo et Moudiongui, 1985). Des résultats similaires ont été obtenus sur les deux sols utilisés : le sol de Bel-Air, sol Dior de texture très sableuse, et le sol de Tilène, sol alluvial du delta du Fleuve Sénégal de texture au contraire très lourde.

Les résultats obtenus à la station ISRA de Djibelor sur des parcelles de 25 m<sup>2</sup>, ont confirmé nos résultats (Diack, communication personnelle.)

Enfin des résultats tout aussi intéressants ont été obtenus au cours de l'hivernage 1985 en microparcelles avec *Aeschynomene* (Alazard, communication personnelle).

#### 4.2. Riziculture pluviale

Un essai engrais vert a été mis en place par Moudiongui en 1984, à proximité d'un village de Casamance, Affiniam. Coupe et enfouissement ont été effectués à deux mois. L'effet de l'enfouissement s'est traduit par une augmentation des rendements en riz d'environ 70 %.

### 5. CONCLUSIONS

Les légumineuses à nodules caulinaires, *S. rostrata* et certaines espèces appartenant au genre *Aeschynomene*, ont des

potentialités fixatrices d'azote supérieures à la plupart des autres légumineuses. Elles sont capables d'accumuler en peu de temps des quantités d'azote très importantes (de l'ordre de 200 kg ha en 2 mois).

Leur aptitude à noduler à la fois sur les racines et sur les tiges constitue un avantage indéniable. En particulier :

- le nombre et le poids des nodules de tige peuvent être beaucoup plus importants que chez la plupart des autres espèces légumineuses,

- l'activité des nodules de tige n'est pas affectée par une hydromorphie excessive comme c'est le cas pour les nodules de racines,

- les sites caulinaires de nodulation sont visibles et aisément accessibles ; on peut donc corriger une nodulation insuffisante en pluvérissant les tiges avec une suspension renfermant du *Rhizobium*.

Toutefois la mise en évidence des potentialités de ces légumineuses en tant que source d'azote, aussi exceptionnelles soient-elles, est de peu d'intérêt pour l'agriculture, si l'on ne précise pas les limites de leur utilisation, notamment l'effet des principaux facteurs de l'environnement sur leur développement et la fixation caulinaire d'azote.

Il convient donc quand on veut utiliser ces légumineuses en engrais vert dans une région rizicole donnée, de faire des études préalables afin de déterminer notamment :

- le système rhizobium-légumineuse le mieux adapté,

- un calendrier cultural qui tienne compte des exigences particulières de la légumineuse et du riz, et des disponibilités en eau,

- la technique d'enfouissement la plus appropriée.

Ces recherches impliquent la création d'équipes pluri-disciplinaires. On peut également souhaiter que se mette en place un réseau destiné à faciliter les échanges d'informations et de matériel (semences et souches), entre les utilisateurs potentiels de légumineuses à nodules caulinaires.

REFERENCES

- ALAZARD, D. - 1985. Stem and root nodulation<sup>in</sup> *Aeschynomene* spp.  
Appl. Environm. Microbiol. 50 : 732-734.
- DREYFUS, B.L. & DOMMERGUES, Y.R. - 1981. Nitrogen-fixing nodules  
induced by *Rhizobium* on the stem of the  
tropical legume *Sesbania rostrata*. FEMS  
Microbiol. Lett. 10 : 313-317.
- EAGLESHAM, A.R.J. & SZALAY, A.A. - 1983. Aerial stem nodules on  
*Aeschynomene* spp. Plant Sci. Lett. 29 :  
265-272.
- FRIED, M. & MIDDLEBOE, V. - 1977. Measurement of amount of nitrogen  
fixed by a crop legume. Plant & Soil 47 :  
713-715.
- FUROC, R.E., DIZON, M.A., MORRIS, R.A. & MARQUESES, E.P. - 1985  
Effects of flooding regimes and planting dates  
to N accumulation of three *Sesbania* species  
and consequently to transplanted rice. 16 th  
Annual Scientific Convention of the Crop  
Science Society of the Philippines. Central  
Luzon State University, Philippines, May 8-10  
1985.
- GERMANI, G. ; REVERSAT, G. & LUC, M. - 1983. Effect of *Sesbania*  
*rostrata* on *Hirschmanniella oryzae* in  
flooded rice. J. Nematol. 15 : 269-271.
- IRRI, Annual Report for 1984.

- QI-XIAO WEN, - 1984. Utilization of organic materials in rice production in China. In " Organic Matter and Rice ", pp 45-56. The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- RINAUDO, G., DREYFUS, B. & DOMERGUES, Y.R. - 1983. *Sesbania rostrata* green manure and the nitrogen content of rice crop and soil. Soil Biol. Biochem. 15 : 111-113.
- RINAUDO, G. & MOUDIONGUÏ, A. - 1985. Fixation d'azote par *Sesbania rostrata* : son utilisation comme engrais vert. In " Developpement Agricole et Conservation du Patrimoine Naturel dans les Pays du Tiers-Monde ". Gembloux, Belgique, 9-11 Octobre 1985.
- ROGER, P.A. & WATANABE, I. - 1985. Technologies for utilizing biological nitrogen fixation in wetland rice : potentialities, current usage, and limiting factors. Fertil. Rev. (sous presse).
- SINGH, N.T. - 1984. Green manures as source of nutrients in rice production. In " Organic Matter and Rice ", pp. 57-70. The International Rice Research Institute, Los Banos , Philippines.
- SAINT MACARY, H. ; MARQUESES, E.P. ; TORRES, R.O. & MORRIS, K.A. - 1985. Effect of flooding on growth and nitrogen fixation of two *Sesbania* species. Philipp. J. Crop Sci. 10: 17-20.

Tableau 1 - Estimation de la fixation d'azote par S.rostrata:  
 méthode par différence et méthode de dilution isotopique.  
 ( Plantes de 53 jours, 4 plantes / cylindre )

| Méthode             | Fixation de N <sub>2</sub><br>( g / cylindre ) |
|---------------------|--|
| différence          | 2,38 ± 0,20 <sup>a</sup>                       |
| dilution isotopique | 2,15 ± 0,52 <sup>b</sup>                       |

soit en g/m<sup>2</sup> : (a) 33,5 ± 2,8

(b) 30,3 ± 7,3

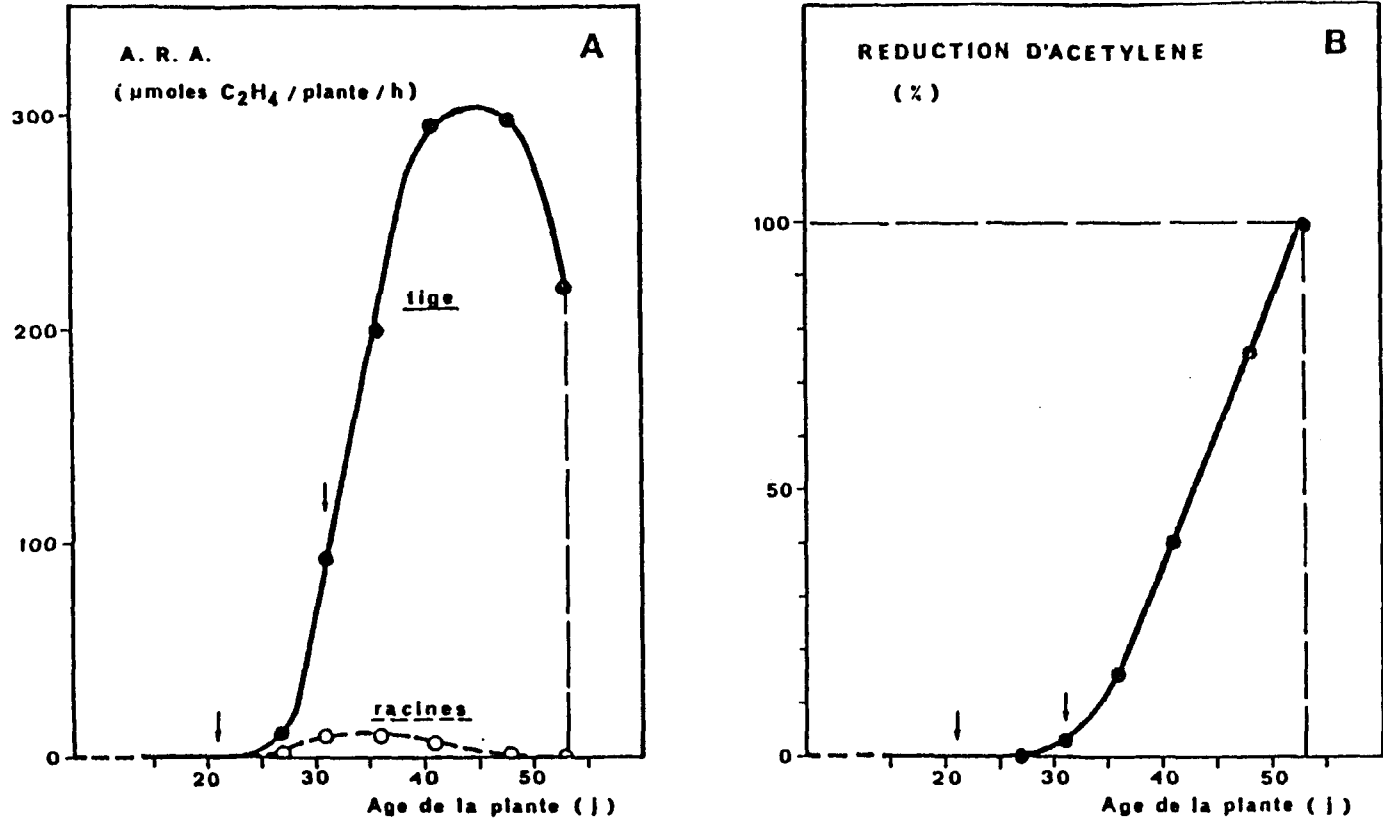


Figure 1. Activité réductrice d'acétylène de *S. rostrata* en fonction de l'âge de la plante ( les plantes ont été inoculées 21 et 31 jours après le semis )