

Fixation d'azote par les légumineuses à nodules de tige : approche écologique et utilisation comme engrais vert

G. Rinaudo et A. Moudiongui *

Introduction

L'azote est l'un des principaux facteurs susceptibles de limiter 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.

La fixation biologique de l'azote peut, dans certains cas, apparaître comme une alternative intéressante aux engrais azotés minéraux (15). Cultiver une légumineuse en engrais vert avant le riz est probablement l'un des moyens les plus efficaces d'améliorer la productivité des sols (7, 17, 18, 19). Toutefois, en raison du surcroît de travail qu'elle occasionne, une telle pratique ne peut être envisagée qu'à la condition d'utiliser une légumineuse à croissance rapide dont les potentialités fixatrices d'azote sont élevées et permettent d'augmenter les rendements en riz de façon significative.

C'est précisément le cas avec les légumineuses à nodules de tige *Sesbania rostrata* et *Aeschynomene afraspera*, qui fixent l'azote plus activement que la plupart des autres légumineuses et présentent en outre l'avantage d'être très tolérantes à l'engorgement du sol (14).

Des essais d'utilisation de ces légumineuses en engrais vert ont été effectués dans le cas de la culture irriguée du riz, mais aussi dans le cas d'une culture pluviale, le sorgho.

Potentialités fixatrices d'azote

La première estimation de la fixation d'azote par *Sesbania rostrata*, a consisté en un bilan d'azote effectué en 1980 à la station ORSTOM de Bel Air à Dakar (Sénégal), après une succession *S. rostrata* - riz en microparcelles de 1 m. Les résultats obtenus ont montré que *S. rostrata* avait fixé au moins 26 g N/m en 52 jours, ce qui est considérable (12). Ces premiers résultats ont été confirmés lors d'une autre expérience qui a consisté à estimer l'azote fixé au moyen de deux méthodes différentes, la méthode de dilution isotopique et la méthode par différence, les plantes étant cultivées sur sol engorgé. Par l'une et l'autre méthode la fixation d'azote par *Sesbania rostrata* a été estimée à environ 30 g d'azote/m avec des plantes âgées de 53 jours (13).

Effet de quelques facteurs de l'environnement

Facteurs climatiques

Les légumineuses à nodules de tige *Sesbania rostrata* et *Aeschynomene afraspera* se rencontrent en Afrique de l'Ouest dans des sols temporairement inondés. Il s'agit de plantes annuelles particulièrement sensibles à la photopériode et à la température, qui se développent bien en saison chaude et humide.

Les essais effectués tout au long de l'année 1983 à la station ORSTOM de Dakar, sont une bonne illustration de l'incidence

des conditions climatiques sur le développement et l'activité fixatrice d'azote de *S. rostrata* (13). En particulier:

- ▲ la floraison intervient très rapidement (4 à 5 semaines après le semis) si la durée de l'insolation journalière est inférieure à 12 h.
- ▲ la fixation d'azote caulinaire est particulièrement sensible aux variations de température, la température moyenne optimale étant de 30°C environ.

Voici à titre d'exemple, les résultats des mesures effectuées le 13 Septembre 1983 et le 3 Janvier 1984 sur des plantes âgées de 9 semaines:

Date	13/09/83	3/01/84
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 (μmoles C ₂ H ₄ /plante/h)	171	18

Les conditions climatiques sont donc susceptibles d'avoir une incidence considérable sur le développement et l'activité fixatrice d'azote de *S. rostrata*.

Régime hydrique

Sesbania rostrata et *Aeschynomene afraspera* peuvent se développer et fixer l'azote sur sol engorgé. Nous avons remarqué que dans ces conditions, l'activité fixatrice d'azote de *Sesbania rostrata* était due essentiellement aux nodules de tige (13). La nodulation caulinaire constitue donc un

(*) ORSTOM, Université Claude Bernard-Lyon I, Laboratoire d'Écologie Microbienne, 69622 Villeurbanne Cedex, France.

avantage très important dans le cas d'hydromorphie excessive.

Saint Macary et al. (16) ont fait des observations analogues aux nôtres lors d'une étude concernant deux espèces de *Sesbania*: *S. rostrata* et *S. sesban*, cette dernière ne nodulant que sur les racines: la submersion du sol s'est avérée beaucoup plus préjudiciable à la nodulation de racines qu'à la nodulation de tige.

Azote minéral

L'azote combiné est susceptible d'inhiber la nodulation et de réduire l'activité de nodules préexistants. Ces effets sont moins marqués avec des nodules caulinaires qu'avec des nodules racinaires. Cette propriété a été notamment observée chez *Aeschynomene scabra* (5).

Les effets de l'azote minéral sur la fixation d'azote par *A. afraspera* ont été étudiés par Becker et al. (2), dans le cas de cultures hydroponiques et dans le cas de cultures en pots. Dans l'un et l'autre cas, la nodulation racinaire était fortement inhibée en présence de concentrations croissantes en azote combiné, alors que le développement et l'activité des nodules caulinaires n'étaient pratiquement pas affectés (Tableau 1).

Des résultats sensiblement différents ont été obtenus récemment dans le cas de plants de *S. rostrata* irrigués en continu au moyen d'un système de percolation automatique permettant de maintenir la concentration en azote du milieu à son niveau initial, tout au long de l'expérimentation (10).

Dans ces conditions on observe que le développement et l'activité des nodules caulinaires sont également sensibles à l'azote combiné, mais à des concentrations plus fortes que celles qui inhibent la nodulation racinaire (Tableau 2.)

Dans le cas de plantes cultivées sur sol, le comportement de *S. rostrata* vis à vis de l'azote combiné est analogue à celui d'*A. afraspera* le développement et l'activité des nodules caulinaires ne sont pratiquement pas affectés par un apport de 200 kg N/ha sous forme d'urée (9), en raison très probablement de la nutrition azotée de la

Nitrate de calcium	ARA (moles C ₂ H ₄ /plante/h)	
(mM/l)	tiges	racines
0	1,1 b	1,0 a
3	1,3 b	0,5 b
6	1,2 b	0,3 c
9	1,0 b	0,3 c
12	0,8 c	0,2 c
15	0,7 c	0,1 d

Tableau 1 : Effet de l'azote combiné sur la fixation d'azote (activité réductrice d'acétylène) d'*Aeschynomene afraspera* en culture hydroponique (2).

Les valeurs suivies par la même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, $p=0,05$). Les plantes ont été cultivées dans des tubes en verre de 125 ml et inoculées après 30 jours avec la souche *Rhizobium* ORS 322. La solution nutritive était renouvelée une fois par semaine jusqu'à l'inoculation, puis tous les deux jours. Les mesures ont été effectuées trois semaines après l'inoculation.

Nitrate d'ammonium	ARA (moles C ₂ H ₄ /plante/h)	
(μM/l)	tiges	racines
0	7,72 a	6,35 a
1,5	2,76 b	1,15 b
3,0	1,15 c	-
6,0	-	-

Tableau 2 : Effet de l'azote combiné sur la fixation d'azote (activité réductrice d'acétylène) de *Sesbania rostrata* irrigué en continu au moyen d'un système de percolation (10).

Les valeurs suivies par une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, $p=0,05$). Les plantes ont été inoculées à 30 jours avec la souche *Azorhizobium* ORS 571. Ensuite elles ont été irriguées en continu avec un système de percolation automatique (apport de milieu nutritif à raison de 300 ml/pot/jour). Les mesures ont été effectuées trois semaines après l'inoculation.

plante, qui tend à diminuer rapidement la concentration en azote du milieu jusqu'à des valeurs compatibles avec l'activité des nodules caulinaires. On peut donc dire qu'en présence des doses d'engrais azotés

habituellement utilisées en riziculture (de l'ordre de 100 unités d'azote), il n'y a pas d'effet inhibiteur au niveau caulinaire: *S. rostrata* et *A. afraspera* assimilent à la fois l'azote de l'air et l'azote combiné.

Nématodes

En sol exondé, *S. rostrata* est particulièrement sensible à certains nématodes (*Meloidogyne* en particulier). Leur présence éventuelle dans le sol peut constituer un facteur limitant majeur au développement de cette légumineuse.

Dans le cas de la culture irriguée du riz, par contre, *S. rostrata* peut jouer le rôle de plante piège vis à vis de nématodes appartenant au genre *Hirschmanniella*, *H. oryzae* et *H. spinicaudata* les nématodes phytoparasites du riz irrigué qui prévalent en Afrique de l'Ouest (6): on observe après culture de *S. rostrata* une diminution très significative du nombre de nématodes, ce qui se traduit par une augmentation des rendements en riz.

L'effet piège de *S. rostrata* vis à vis d'*Hirschmanniella oryzae* a été confirmé par Pariselle et Rinaudo (11) qui ont observé toutefois que l'augmentation des rendements en riz que l'on peut obtenir après enfouissement de *S. rostrata* est principalement due à l'effet engrais vert. Quoiqu'il en soit, l'utilisation de *S. rostrata* en riziculture est doublement bénéfique (effet engrais vert et effet nématicide).

Inoculation

Dans la nature, quand des symbiotes spécifiques sont présents dans le sol au sein de la microflore native, des nodosités apparaissent fréquemment au bas des tiges de *S. rostrata* et d'*A. afraspera*. Cette nodulation spontanée qui est probablement provoquée par des facteurs très divers (eau de submersion, pluies, insectes, vent, poussières ...) est souvent irrégulière. Il convient donc d'inoculer si l'on souhaite tirer le meilleur profit des potentialités fixatrices d'azote de ces légumineuses.

L'inoculation consiste en une pulvérisation des tiges avec une suspension du symbiote spécifique (10^8 bactéries/ml). Cette suspension peut être: (i) une culture diluée du symbiote, (ii) une suspension colloïdale obtenue en mélangeant de l'inoculum en

poudre (bactéries incluses dans un polymère d'alginate) à du tampon phosphate (0,06 M, pH 6,8), (iii) une suspension obtenue à partir de nodules écrasés dans de l'eau après passage à travers un filtre.

Il convient également de choisir judicieusement la date d'inoculation. Il est généralement conseillé d'inoculer 4 semaines avant la coupe de la légumineuse (14). La coupe est effectuée quand les plantes sont âgées de 8 à 9 semaines. L'inoculation doit donc avoir lieu 4 à 5 semaines après le semis. La taille des plantes est alors comprise entre 50 et 70 cm, et on obtient ainsi un très grand nombre de nodosités.

Utilisation des légumineuses à nodules de tige comme engrais vert

Riziculture irriguée

Les essais effectués à la station ORSTOM de Dakar en microparcelles de 1 m, ont mis en évidence l'intérêt des légumineuses à nodules de tige utilisées comme engrais vert avant une culture de riz au début de la saison des pluies (1, 12, 13).

Nous citerons, à titre d'exemple, les résultats d'expériences réalisées d'une part avec *S. rostrata* cultivé sur un sol Dior de texture sableuse (sol de Bel Air, Dakar). Dans l'un et l'autre cas, les rendements obtenus sur les parcelles témoins; ils sont également significativement plus élevés que les rendements obtenus avec 100 unités d'azote/ha apportées sous forme d'urée (Tableau 3).

Des collaborations ont été développées avec l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO), afin de préciser les possibilités d'utilisation des légumineuses à nodules de tige en riziculture irriguée, dans le cadre d'essais réalisés à plus grande échelle.

Les résultats obtenus à la station ISRA de Djibelor en Casamance, au sud du Sénégal, ont montré que l'engrais vert *S. rostrata* permettait de doubler les rendements

Traitement	Grains (g/m ²)	Azote total (g/m ²)	Talles (nb/m ²)	Augmentation des rendements en grain (%)
<i>Expérience I (S. rostrata sur sol de Tilène)</i>				
Engrais vert	1080 a	17,24 a	402 a	160
Fumure minérale (100 N = urée)	784 b	11,99 b	347 b	89
Témoin	415 c	5,37 c	213 c	-
<i>Expérience II (A. afraspera sur sol de Bel Air)</i>				
Engrais vert	881 a	23,9 a	193 a	82
Fumure minérale (100 N-urée)	612 b	11,4 b	145 b	27
Témoin	483 c	9,0 c	123 b	-

Tableau 3 : Utilisation des légumineuses à nodules caulinaires *Sesbania rostrata* et *Aeschynomene afraspera* comme engrais vert pour le riz. Essais en microparcelles de 1 m.

Traitement	Grains (t/ha)	Pailles (t/ha)	Talles (nb/m ²)	Augmentation des rendements en grain (%)
Engrais vert	4,50 a	12,36 a	465 a	96
Matière organique *	2,92 b	7,68 b	318 b	27
Témoin	2,30 b	5,93 b	301b	-

Tableau 4 : Utilisation de *Sesbania rostrata* comme engrais vert pour la culture irriguée du riz en Casamance, Station ISRA de Djibelor, parcelles de 25 m (4).

Les valeurs suivies par une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, $p=0,05$).

* Matière organique: mélange fumier + compost.

Traitement				
Urée (kg N/ha)	Engrais vert	Grains (t/ha)	Pailles (t/ha)	Talles (nb/m ²)
0	-	2,3 a	2,5 a	238 a
60	-	4,3 b	5,5 b	310 b
120	-	6,2 bc	7,6 b	363 b
0	+	4,5 b	5,7 b	325 b
30	+	5,9 bc	7,6 b	405 b
60	+	6,8 c	7,7 b	400 b

Tableau 5 : Utilisation de *Sesbania rostrata* comme engrais vert pour la culture irriguée du riz dans la Région du fleuve Sénégal. Station ADRAO de Fanaye, parcelles de 25 m (3).

Les valeurs suivies par les mêmes lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, $p = 0,05$).

Traitement	Grains (g/m ²)	Pailles (g/m ²)	Augmentation des rendements en grain (%)
Engrais vert	525 a	1610 a	79
Fumure minérale (150 N = urée)	522 b	1685 a	87
Témoin	260 b	900 b	-

Tableau 6 : Utilisation de *Sesbania rostrata* comme engrais vert pour la culture du sorgho. Essai en parcelles de 4 m (9).

Les valeurs suivies par une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, $p = 0,05$).

en riz (par rapport au traitement témoin sans azote) et avait un effet plus marqué que l'apport d'un mélange "compost + fumier" (Tableau 4) (4).

De même, l'essai effectué à la station ADRAO de Fanaye, au nord du Sénégal, a montré que l'on pouvait économiser plus de 50% des quantités d'engrais azotés préconisées pour la culture irriguée du riz dans la vallée du fleuve Sénégal, en associant fertilisation azotée minérale et engrais vert (Tableau 5) (3).

Culture du sorgho

L'essai réalisé à la station ORSTOM de Dakar en parcelles de 4 m a montré (Tableau 6) que *S. rostrata* peut également constituer un excellent engrais vert dans le cas d'une culture exondée, la culture du sorgho: les rendements obtenus après enfouissement de 15 kg de matière verte par parcelle (37,5 t/ha), sont équivalents à ceux que l'on obtient avec un apport de 150 unités d'azote sous forme d'urée: les rendements observés sont environ deux fois supérieurs à ceux des parcelles témoin (9).

Les résultats de cet essai préliminaire ont été confirmés dans le cadre d'un essai mis en place à Balandine, village de Casamance au sud du Sénégal, avec la collaboration du groupement des jeunes paysans du village: l'engrais vert *S. rostrata* a provoqué des augmentations de rendements significativement plus fortes qu'un apport de 100 unités d'azote sous forme d'urée (9).

Conclusions

Des résultats extrêmement encourageant ont été obtenus en Afrique de l'Ouest avec les légumineuses à nodules de tige *S. rostrata* et *A. afraspera* utilisées comme engrais vert en riziculture au début de la saison des pluies. Elles peuvent produire environ 10 t/ha de matière sèche en 8 à 9 semaines, ce qui correspond à plus de 200 kg N/ha. Si l'on considère que près de 50% de cet azote provient de la fixation biologique de l'azote, c'est donc environ 100 kg N/ha que ces légumineuses peuvent fournir à une culture de riz. Des résultats analogues aux nôtres ont été obtenus aux Philippines à l'IRRI (International Rice Research Institute) au cours de ces dernières années (8).

Toutefois, la mise en évidence des potentialités de ces légumineuses en tant que source d'azote, aussi exceptionnelle soient-elles, ne peut intéresser la riziculture que si l'on précise au préalable leurs limites. Avant de les utiliser dans une région rizicole donnée, il conviendra en particulier de déterminer l'effet des principaux facteurs de l'environnement sur leur développement et de définir un calendrier cultural qui tienne compte des exigences particulières de la légumineuse et du riz ainsi que des disponibilités en eau (pluviométrie et/ou irrigation).

Les expériences réalisées avec le sorgho, ont montré que les légumineuses à nodules de tige peuvent également constituer un excellent engrais vert dans le cas de plantes de culture pluviale. Il est apparu également que des groupements villageois sont susceptibles d'adopter cette pratique

de l'engrais vert à base de légumineuse, pour accroître la productivité du sorgho ou de tout autre culture céréalière pluviale.

Références

1. Alazard, D., and M. Becker. 1987. *Aeschynomene* as green manure for rice. Plant Soil **101**: 141-143.
2. Becker, M., D. Alazard, and J.C.G. Ottow. 1985. Mineral nitrogen effect on nodulation and nitrogen fixation of the stem nodulating legume *Aeschynomene afraspera* Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **149**: 485-491.
3. Camara, I., and H. Diara. 1987. Evaluation de la valeur agronomique de *Sesbania rostrata* comme source d'azote en riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. In: Les arbres fixateurs d'azote - L'amélioration biologique de la fertilité des sols. ORSTOM, Paris, p. 343-355.
4. Diack, M. 1987. Multiplication de *Sesbania rostrata* et son effet sur la production du riz. In: Les arbres fixateurs d'azote - L'amélioration biologique de la fertilité des sols. ORSTOM, Paris, p. 357-365.
5. Eaglesham, A.R.J., and A.A. Szallay. 1983. Aerial stem nodules on *Aeschynomene spp.* Plant Sci. Lett. **29**: 265-272.
6. Germani, G., G. Reversat, and M. Luc. 1983. Effect of *Sesbania rostrata* on *Hirschmanniella orizae* in flooded rice. J. Nematol. **15**: 269-271.
7. Jiao Bin. 1983. Utilization of green manure for raising soil fertility in China. Soil Sci. **135**: 65-69.
8. Ladha, J.K., I. Watanabe, and S. Saono. 1987. Nitrogen fixation by leguminous green manures and practices for its enhancement in tropical lowland rice. In: Sustainable agriculture: the role of green manure crops in rice farming systems. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines (à paraître).
9. Moudiongui, A. 1987. *Sesbania rostrata*, légumineuse à nodules caulinaires: fixation symbiotique d'azote et utilisation comme engrais vert. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon-I.
10. Moudiongui, A., and G. Rinaudo. 1987. Effect of ammonium nitrate on nodulation and nitrogen fixation (acetylene reduction) of the tropical legume *Sesbania rostrata*. MIR-CEN J. **3**: 235-241.

11. **Pariselle, A., and G. Rinaudo.** 1987. Etude des interrelations entre *Sesbania rostrata*, *Hirschmanniella orizae* et les rendements du riz. *Rev. Nématol.* (à paraître).
12. **Rinaudo, G., B. Dreyfus, and Y. Dommergues.** 1983. *Sesbania rostrata* green manure and the nitrogen content of rice crop and soil. *Soil Biol. Biochem.* **15**: 111-113.
13. **Rinaudo, G., and A. Moudiongui.** 1985. Fixation d'azote par *Sesbania rostrata*: son utilisation comme engrais vert. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **20**: 833-849.
14. **Rinaudo, G., D. Alazard, and A. Moudiongui.** 1987. Stem nodulated legumes as green manure for rice in West Africa. In: Sustainable agriculture: The role of green manure crops in rice farming systems. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines (à paraître).
15. **Roger, P.A., and I. Watanabe.** 1986. Technologies for utilizing nitrogen fixation in wetland rice: potentialities, current usage, and limiting factors. *Fert. Res.* **9**: 39-77.
16. **Saint Macary, H., E.A. Marqueses, R.O. Torres, and R.A. Morris.** 1985. Effect of flooding on growth and nitrogen fixation of two *Sesbania* species. *Phil. J. Crop. Sci.* **10**: 17-20.
17. **Singh, N.T.** 1984. Green manures as sources of nutrients in rice. In: Organic matter and rice. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, p. 217-228.
18. **Watanabe, I.** 1984. Use of green manures in Northeast Asia. In: Organic matter and rice. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, p. 229-234.
19. **Wen, Q. - X.** 1984. Utilization of organic materials in rice production in China. In: Organic matter and rice. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, p. 45-56.

Rinaudo Gérard, Moudiongui Adako.

Fixation d'azote par les légumineuses à nodules de tige
: approche écologique et utilisation comme engrais
vert.

In : *Sesbania rostrata*.

Wageningen (NLD), Dakar : CTA, ORSTOM, 1989, p.
105-109.

Sesbania rostrata : Congrès International, 1989, Dakar