

08869

INOCULATION DU SOJA PAR LE *RHIZOBIUM JAPONICUM* AU SENEGAL

Détermination de la dose d'inoculum à appliquer au champ

J. WEY* - H. SAINT MACARY**

avec la collaboration technique de Omar TOURE*

RÉSUMÉ — Les sols du Sénégal ne contiennent pas de souches de *Rhizobium* capables de noduler le soja, et l'inoculation de souches efficaces de *Rhizobium japonicum* est une nécessité pour obtenir une symbiose efficace.

Il a déjà été montré que l'inoculation du sol était à préférer à l'inoculation des graines, qui entraîne souvent des perturbations de la germination des semences. Cependant ce type d'inoculation nécessite des études méthodologiques de manière à pouvoir proposer au paysannat sénégalais une technique d'inoculation compatible avec ses possibilités économiques et technologiques.

Il ressort de deux essais au champ effectués en 1979 et 1980 que l'épandage, par hectare, de cinq litres de culture pure de *Rhizobium japonicum* à 10^9 bactéries par ml, mélangés à un support organique comme de la tourbe, assure une nodulation et des rendements aussi élevés que des doses dix fois supérieures.

Mots-clé : soja, inoculation, *Rhizobium japonicum*, semences, germination, nodulation, Sénégal.

AVANT-PROPOS

Les résultats de la présente note ont été obtenus dans le cadre du programme de rhizobiologie que l'IRAT (1) et l'ISRA (2) conduisent en coopération au Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey.

INTRODUCTION

L'absence de *Rhizobium japonicum* et la spécificité du soja (*Glycine max*) ne permettent pas à cette plante d'installer, dans la plupart des sols du Sénégal, une symbiose suffisante pour répondre aux besoins de la plante en azote.

Il est donc nécessaire d'avoir recours à l'inoculation bactérienne pour bénéficier des capacités fixatrices de l'association plante-bactérie (WEY, 1980).

Les techniques d'inoculation peuvent se résumer à deux modalités essentielles : l'enrobage des semences et l'introduction directe de l'inoculum dans le sol.

Dans les deux cas, la plupart du temps, la culture microbienne obtenue en milieu liquide est mélangée à un support comme de la tourbe ou d'autres matières organiques, des argiles, ou incluse dans un polymère (JUNG et al., 1979; DOMMARGUES et al., 1981).

En ce qui concerne l'inoculation par enrobage des semences, les nombres conseillés de *Rhizobium* à apporter, exprimés par graine, varient beaucoup selon les auteurs. L'échelle s'étend de 100 *Rhizobium* par graine en conditions favorables (DATE, 1970) à 10^6 *Rhizobium* par graine (LAGACHERIE et al., 1973) en passant par 10^5 *Rhizobium* par graine (WEAVER et al., 1972.)

L'apport direct au sol nécessite, pour la même efficacité, des quantités beaucoup plus importantes. Des apports de $1, 3 \cdot 10^{10}$ *Rhizobium* par mètre de ligne de semis, équivalents à plus de 10^8 *Rhizobium* par graine semée, ont été employés dans des sols dépourvus de *Rhizobium* (WEAVER et al., 1974).

Au Sénégal, l'IRAT et l'ISRA ont procédé, depuis 1972, à des tests d'inoculation qui ont montré, dans un premier temps, l'effet favorable de l'enrobage des semences sur la nodulation du soja. Cependant, cette technique provoque des irrégularités dans la germination

* WEY (J.) - TOURE (Omar) — Centre National de Recherches Agronomiques - B.P. 51 BAMBEY - SENEGAL

** SAINT MACARY (H.) — IRAT-GERDAT - Division d'Agronomie - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER CEDEX.

(1) Institut de Recherches Agronomiques et des Cultures Vivrières 110, rue de l'Université 75340 PARIS CEDEX 07 - France

(2) Institut Sénégalais de Recherches Agricoles 3, rue Thioung - Valmy B.P. 3120 DAKAR - SENEGAL

des semences, en particulier lors de conditions climatiques difficiles. Ces contraintes ont conduit, dans plusieurs pays (BROCKWELL et al., 1980; WEY, 1980), à faire préférer l'inoculation du sol.

Des expérimentations ont été mises en place au champ pour définir la dose d'inoculum à apporter pour obtenir un symbiose efficace et restant compatible avec un développement en milieu rural de cette technique.

MILIEU EXPERIMENTAL

Les essais ont été menés en Casamance (station de Séfa) en 1979 et 1980. Cette région représente, avec le sud du Sine-Saloum et le Sénégal Oriental, la zone où la culture du soja est possible. Le climat est de type subguinéen avec une pluviométrie annuelle comprise entre 900 et 1600 mm, regroupée en une saison des pluies de quatre mois environ.

Le sol est sableux, de type «ferrugineux tropical peu lessivé» (CHARREAU et al., 1971). Les principales caractéristiques en sont une teneur en argile de 11 % en surface, un pH variant entre 5,5 et 6,2; un taux de carbone moyen de 4,2 ‰. La capacité d'échange, qui se situe aux alentours de 5 meq/100 g de sol, est limitée.

La variété de soja cultivée dans ces expérimentations est ISRA 44A73 un cultivar créé au Sénégal (LARCHER, 1980); elle est bien adaptée aux conditions rencontrées et son cycle est de 105 jours.

TECHNIQUES ET METHODES

Le dispositif statistique adopté est un «essai bloc» à six (en 1979) ou huit (en 1980) répétitions. La surface des parcelles est de 48 m²; deux lignes sont réservées aux prélèvements en cours de cycle, et cinq pour l'évaluation du rendement en grain, soit une surface de 27 m². Une fertilisation phospho-potassique équivalent à 80 unités de P₂O₅ et 120 unités de K₂O a été épandue sur l'ensemble des essais avant la mise en place. Le semis a été réalisé au semoir mécanique, à raison de 65 kg de semences à l'hectare, avec un écartement entre les lignes de 60 cm, soit environ 333 000 pieds à l'hectare.

Les observations sur la nodulation ont été réalisées sur 16 plantes, en 1979, et 40 plantes, en 1980, par pacelle. L'augmentation du nombre de plantes prélevées s'est justifiée par la recherche d'une plus grande précision statistique lors de la deuxième année.

Les doses d'inoculum employées seront toujours rapportées, dans la suite de ce document, à leur équivalent en culture liquide contenant 10⁹ *Rhizobium japonicum*, souche G3 (= USDA 311 B138) par ml.

La dose de 50 litres par ha a été choisie comme maximum à la suite d'essais préliminaires antérieurs.

L'inoculation a été pratiquée de manière différente les deux années :

— En 1979, elle a été effectuée par arrosage avec de l'inoculum liquide dans un sillon tracé à la base des lignes de soja, vingt jours après le semis.

— En 1980, de la tourbe broyée stérile a été utilisée comme support et, après mélange avec la culture de *Rhizobium* plus ou moins diluée selon les doses à apporter dans le rapport 1/3 liquide - 2/3 tourbe, épandue directement dans le sillon de semis lors de la mise en place de l'expérimentation. La même quantité de tourbe a donc été apportée dans toutes les parcelles, y compris dans les témoins non inoculés où la tourbe seule a été épandue.

Les traitements étaient :

en 1979 : témoin non inoculé

5 litres d'inoculum liquide par hectare (L.ha ⁻¹)		
10	«	«
25	«	«
50	«	«

en 1980 : témoin non inoculé

1 litre d'inoculum liquide par hectare		
5	«	«
10	«	«
50	«	«

RESULTATS

Effet de la dose d'inoculum sur les paramètres de la nodulation

Dans les deux essais (figures 1 à 4) les doses 10 et 50 L.ha⁻¹ provoquent la même réponse sur les poids et nombres de nodosités.

Par contre la dose de 5 L.ha⁻¹, qui était significativement moins bonne que la dose 10 L.ha⁻¹ en 1979 donne, en 1980 des résultats équivalents. Ceci peut probablement s'expliquer par la différence de technique d'inoculation entre les deux années. En 1979, l'apport d'inoculum s'est fait sous forme liquide sur des plantes déjà installées, et il est probable que peu de *Rhizobium* ont pu parvenir aux sites d'infection sur les racines. En 1980, la protection procurée aux *Rhizobium* par la tourbe et l'inoculation au moment du semis ont sans doute favorisé la survie des *Rhizobium* dans le sol et leur présence au moment du développement du système racinaire.

Avec une dose de 1 L.ha⁻¹ les paramètres étudiés sont significativement inférieurs à ceux obtenus avec la dose de 5 L.ha⁻¹.

Par rapport au témoin non inoculé, tous les traitements inoculés sont significativement différents.

Nombre de nodosités par
plante

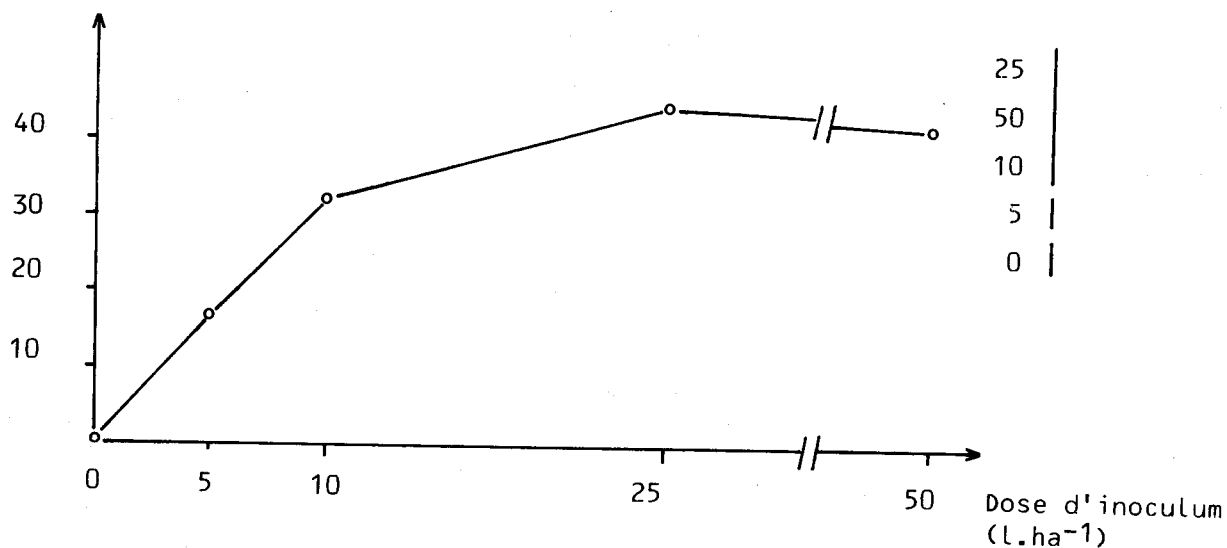


Figure 1 :

Nombre de nodosités par plante en fonction de la dose d'inoculum.
Expérimentation 1979. Stade : remplissage des gousses.
Dans cette figure et les suivantes, les doses reliées par un segment
ne donnent pas, pour le paramètre considéré, de réponses significativement
différentes à $P = 0,05$ (Test de NEWMAN et KEULS).

Poids sec de nodosités
par plante (mg)

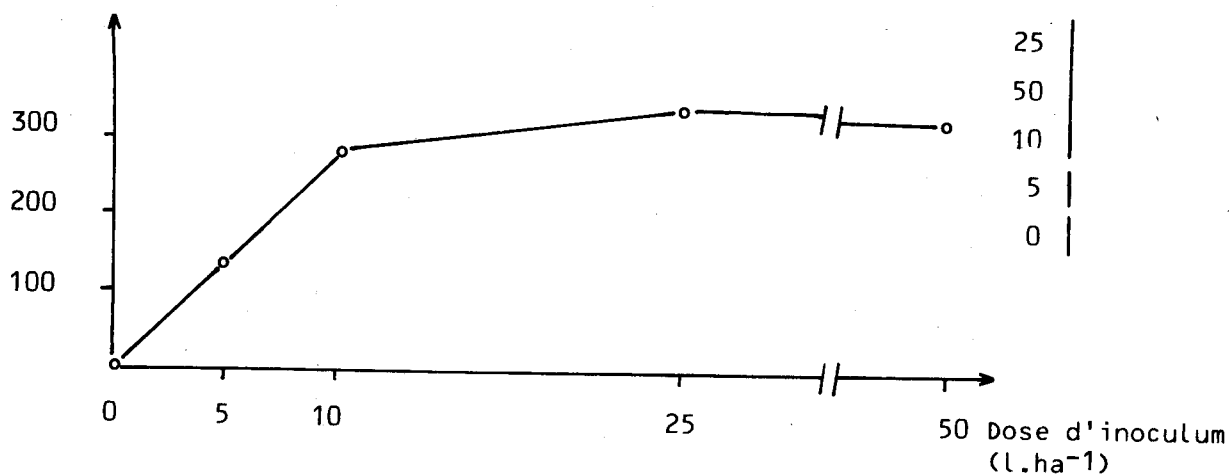
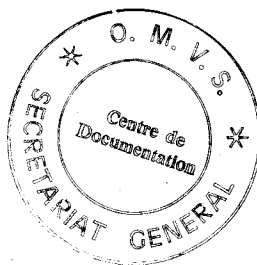


Figure 2 :

Poids de nodosités par plante en fonction de la dose d'inoculum.
Expérimentation 1979. Stade : remplissage des gousses.



Nombre de nodosités par plante.

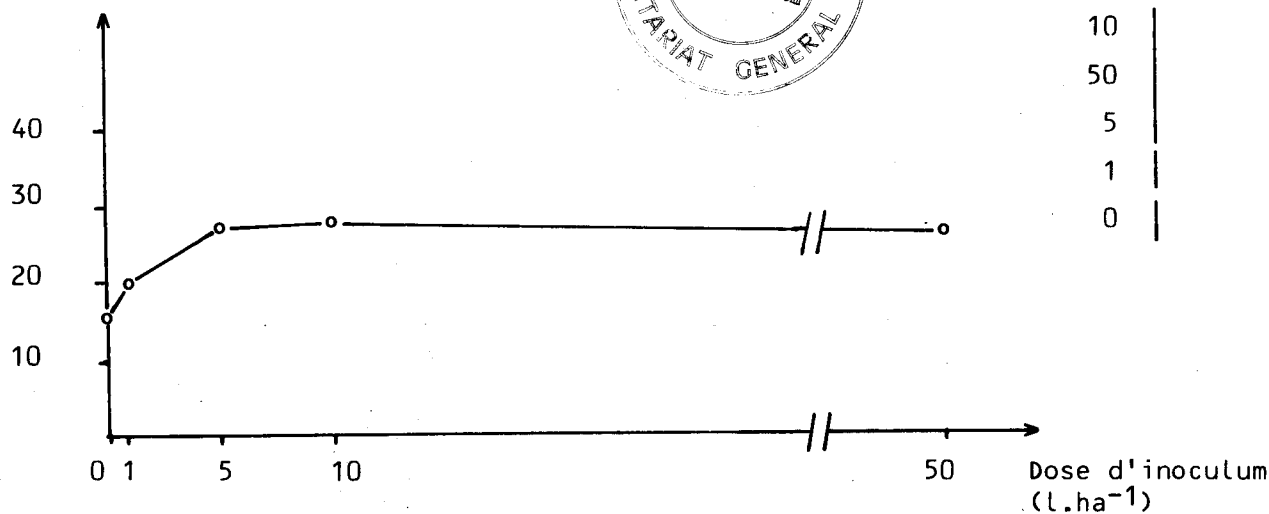


Figure 3 :

Nombre de nodosités par plante en fonction de la dose d'inoculum. Expérimentation 1980. Stade : remplissage des gousses.

Poids sec de nodosité par plante (mg)

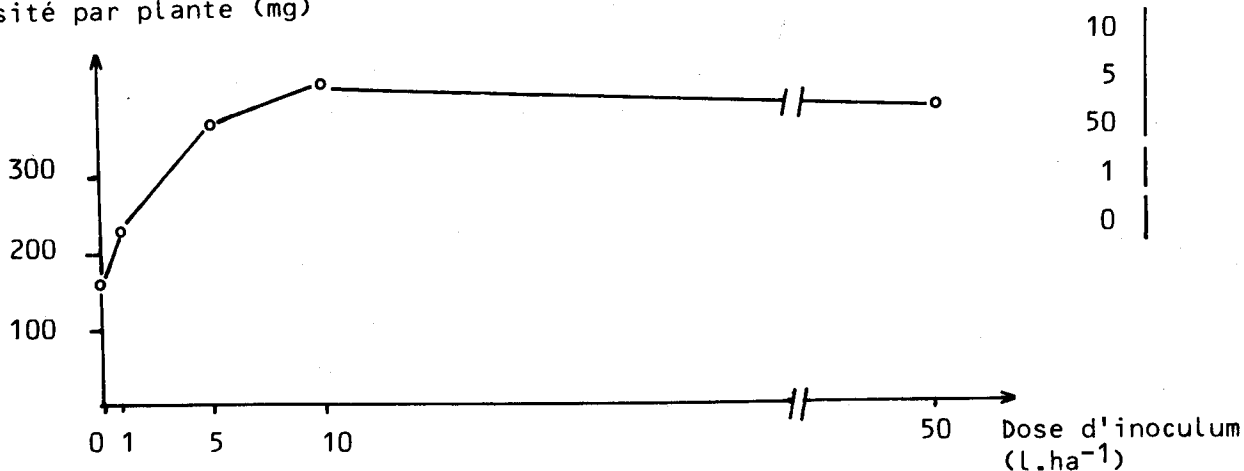


Figure 4 :

Poids de nodosités par plante en fonction de la dose d'inoculum. Expérimentation 1980. Stade : remplissage des gousses.

Effet sur les taux d'azote

Ce paramètre n'a été déterminé qu'en 1980 (figures 5, 6 et 7). Les taux d'azote, que l'on peut considérer comme indicateurs de la nutrition azotée de la plante, ne sont significativement différents qu'à partir du stade «remplissage des gousses».

On peut penser que, à la floraison, les plantes bénéfici-

ciaient encore toutes de l'azote combiné venant des graines et surtout du sol. La fixation symbiotique n'est sans doute devenue la source principale d'alimentation azotée qu'ultérieurement puisque les différences ne se manifestent que tardivement.

Pour ce critère, comme pour la nodulation, les doses 5, 10 et 50 L.ha⁻¹ sont équivalentes.

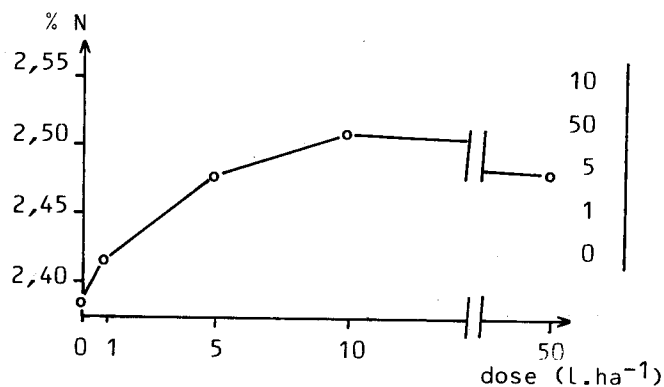


Figure 5 :

Taux d'azote des parties aériennes
1980. Stade : floraison.

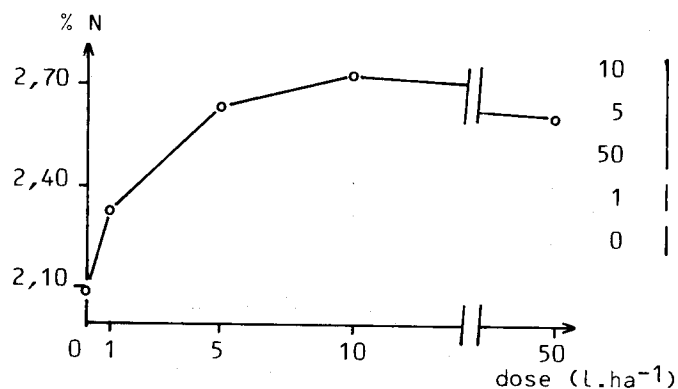


Figure 6 :

Taux d'azote des parties aériennes 1980.
Stade : remplissage des gousses.

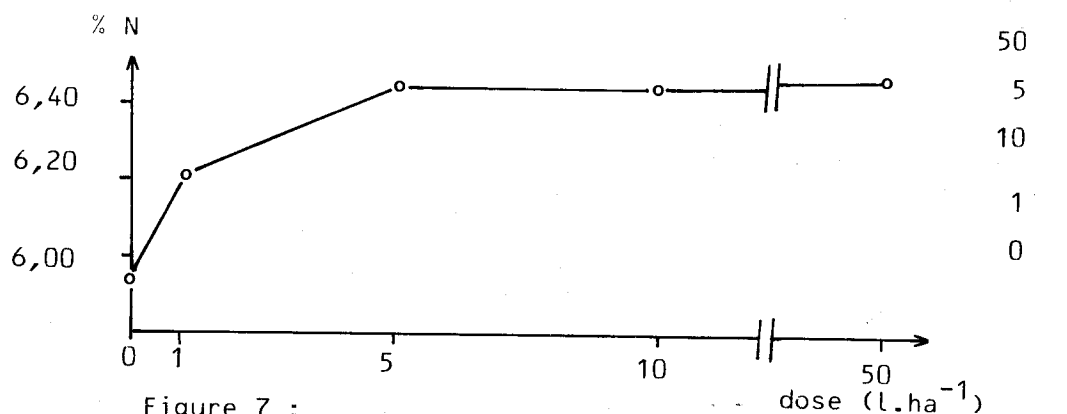


Figure 7 :

Taux d'azote des graines. 1980
Stade : maturité (récolte)

Rendements

En 1979, les rendements obtenus (figure 8) ne montrent aucun effet significatif de l'inoculation. La pluviométrie très irrégulière de cette année a vraisemblable-

ment favorisé, par l'alternance de phases d'humidification et de dessiccation du sol, une minéralisation intense et donc une mise à disposition des plantes d'importantes quantités d'azote minéral, ce qui a sans doute nivelé les résultats.

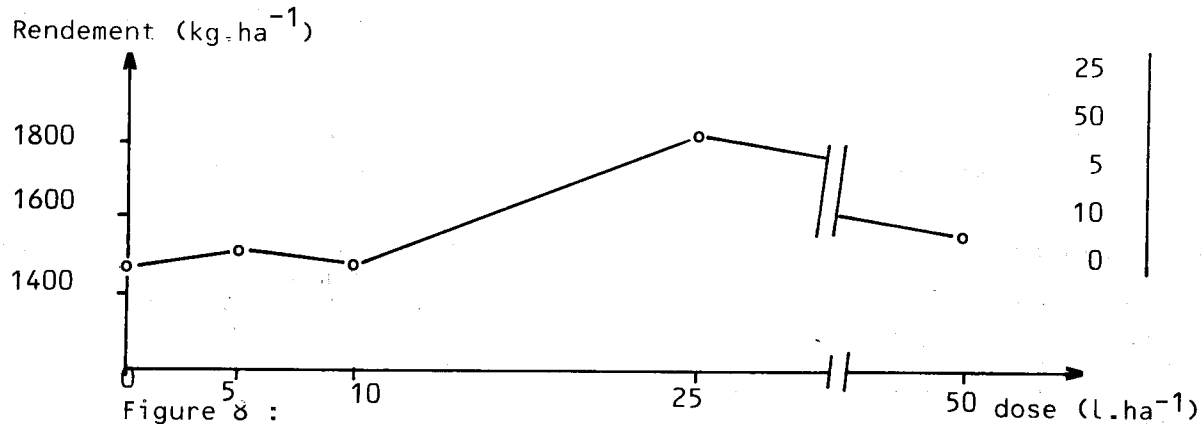


Figure 8 :

Rendements en graines de récolte. Expérimentation 1979

En 1980, l'effet de l'inoculation par rapport au témoin est significatif; les différences entre les doses sont faibles et ne permettent pas de tirer de conclusions définitives.

Cependant on est assuré avec une dose de 5L.ha⁻¹, d'obtenir un rendement proche de l'optimum.

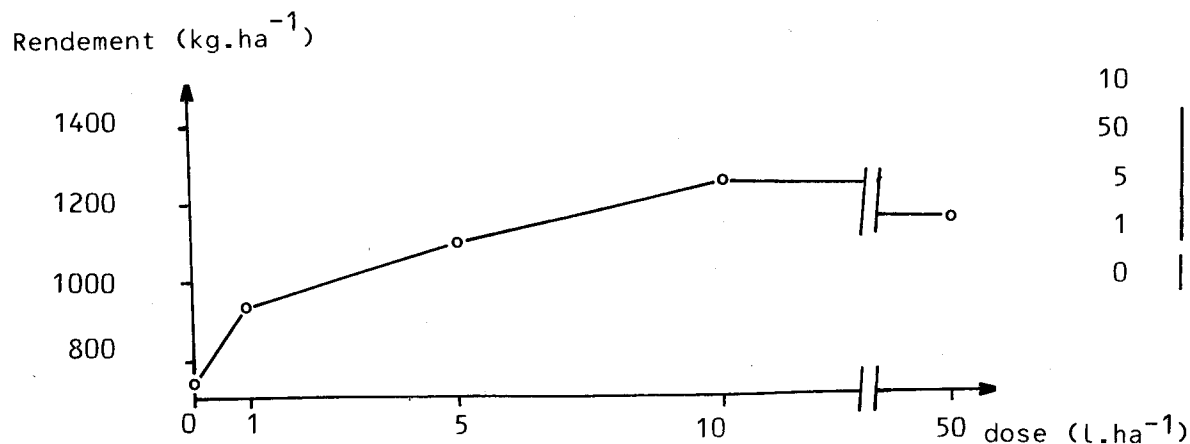


Figure 9 :

Rendements en graines de récolte. Expérimentation 1980

CONCLUSION

Ces deux essais au champ ont permis de montrer l'importance du mode d'apport de l'inoculum, et en particulier l'économie qui peut être réalisée dans l'épandage du produit en assurant au *Rhizobium* un environnement favorable lors de sa conservation et de son apport dans le milieu naturel.

La dose pour l'instant retenue, équivalente à 5 litres de culture liquide de *Rhizobium* par hectare, est donc sans doute susceptible d'être encore diminuée, par amélioration des conditions de survie de la bactérie dans l'inoculum et dans le sol.

Mais il reste encore à définir le mode d'application de l'inoculum à l'aide du matériel agricole simple des paysans; si l'inoculation «manuelle» ne pose aucun problème majeur, il en est autrement de l'épandage mécanique de l'inoculum. Des études sont en cours pour adapter le conditionnement de celui-ci à une incorporation au même moment que le semis.

Bibliographie

- BROCKWELL J., GAULT R. R., CHASE D. L., HELY F. W., ZORIN M., CORBIN E. J. (1980) — An appraisal of practical alternatives to legume seed inoculation : field experiments on seed bed inoculation with solid and liquid inoculants. *Austr. Journ. of Agr. Res.* **31**. (1). 47-60.
- CHARREAU C., NICOU R. (1971) — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine, et incidences agronomiques. IRAT. Bulletin Agronomique n° 23.
- DATE R. A. (1970) — Microbiological problems in the inoculation and nodulation of legumes. *Plant and Soil.* **32**. 703-25.
- DOMMARGUES Y., DIEM H. G., DIVIES C. (1979) — Polyacrylamide-entrapped rhizobium as an inoculant for legumes. *Applied and environmental microbiology.* **37**. (4). 779-81.
- JUNG J., MUGNIER J., DIEM H. G., DOMMARGUES Y. (1981) — Polymer entrapped microorganisms as inoculants for legumes and non-legumes. *Plant and soil*, (in press).
- LAGACHERIE B., OBATON M. (1973) — L'inoculation du soja. Résultats d'essais et orientation du travail. *C. R. Acad. Agric.* **59**. (1). 67-9.
- LARCHER J. (1980) — L'amélioration variétale du soja au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale.* **35**. (2). 148-56.
- WEAVER R. W., FREDERICK L. R. (1972) — Effect of inoculation on nodulation of *Glycine max*, variety Ford. *Agronomy Journal.* **64**. 597-99.
- WEAVER R. W., FREDERICK L. R. (1974) — Effect of inoculation rate on competitive nodulation of *Glycine max* (L.) Merr. 2. *Field Experiment. Agronomy Journal.* **66**. 233-36.
- WEY J. (1980) — Premiers résultats concernant l'inoculation du soja au Sénégal. In «Nitrogen cycling in West African Ecosystems». T. Rosswall and N. O. Adepide Eds. University of Ibadan Press.