

## INFLUENCE DE L'AZOTE ET DE L'INOCULATION DES SEMENCES PAR UN MELANGE DE SOUCHES DE *RHIZOBIUM JAPONICUM* SUR LE SOJA\*

BOUJGHAGH, M.\*\*

### ملخص

لقد تمت دراسة تأثير تلقيح بذور الصويا بمزيج من عينات ميكروبات الريزوبيوم جابونيكوم *Rhizobium Japonicum* على شكل مسحوق خث مع إضافة الآزوت خلال فترة النمو أو بالاستغناء عن هذه الإضافة.

إن عملية تلقيح البذور وتدعيمها بحصة خمسة وعشرين كيلوغراماً من الآزوت في الهكتار خلال فترة التفريخ حقق أحسن مردودية من الحبوب، (60 قنطاراً في الهكتار)، إذ تفوق هذه الأخيرة بحصة 2.75 مرات المردودية المقارنة الدالة والمحصل عليها بدون تطعيم أو تدعيم بالآزوت.

إن العلاقة المتبادلة لفحوى البروتينات والمضمون الزيتي غير إيجابية. كما نشير كذلك إلى أن عملية التلقيح أو التطعيم تحسن المضمون البروتيني.

\* Recherche réalisée dans le cadre du Programme Oléagineux, support financier INRA  
\*\* INRA. Centre Régional du Saïss et Moyen Atlas. Meknès. Maroc.

## RESUME

L'influence de l'inoculation des semences de soja par un mélange de souches de *Rhizobium japonicum*, sous forme de poudre de tourbe, avec ou sans apport azoté en cours de végétation a été étudié .

L'inoculation associée à l'apport de 25 Kg de N/ha à la levée offre le meilleur rendement en grains (60 qx/ha) . Ce rendement est 2,75 fois supérieur à celui du témoin (non azoté, non inoculé), 1,22 fois à celui du traitement inoculé et non azoté et 1,68 fois à celui du traitement azoté (100 Kg de N/ha) .

La corrélation teneur en protéines-teneur en huiles est négative ( $r=-0.938^{***}$ ) . L'inoculation améliore la teneur en protéines .

---

---

**MOTS CLÉS :** *Glycine max* L., *Rhizobium japonicum*, azote .

## ABSTRACT

The effect of soybean (*Glycine max* L. Merrill) inoculation by a mixture of *Rhizobium japonicum* with different nitrogen applications on the yield has been studied .

The result shows that seed inoculation and the application of 25 Kg of N/ha at emergence gave the best yield (6000 Kg/ha) . This yield is 2.75 times higher than the check, 1.22 times higher than the treatment with 100 Kg/ha of N alone.

Protein content and oil content correlation is negative ( $r= -0.938^{***}$ ) . The inoculation increase the protein content .

---

---

**KEY WORDS :** *Glycine max* L. *Rhizobium japonicum*, nitrogen .

## INTRODUCTION

Etant une légumineuse, le soja peut utiliser en partie pour son alimentation azotée l'azote atmosphérique grâce à la symbiose qu'il réalise avec la bactérie *Rhizobium japonicum*. Il a été rapporté qu'aux Etats-Unis le soja fixe seulement 20 à 25% de l'azote contenu dans la plante (Harper, 1976). Alors qu'en France, il fixe environ 60% de ses besoins azotés (Bouniols et al., 1985).

Dans le cas des sols marocains où le *Rhizobium* est absent, son incorporation doit se faire en "bactérisant" soit la raie de semis soit les semences.

L'objet de cette étude est de voir la réponse du soja à l'inoculation des graines par un mélange de souches de *Rhizobium* en plein champ et de définir le rôle que peut jouer la fixation symbiotique dans l'alimentation de la plante en azote sous nos conditions.

## MATERIEL ET METHODES

### *Conditions culturales*

L'expérimentation a été réalisée en 1984 et 1985 à la Station Expérimentale du Guich de l'INRA à Rabat sur un terrain sablonno-argileux assez profond, ayant eu le blé comme précédent cultural, et ayant reçu, au moment du labour, une fumure de fond de 80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 60 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

Le semis a été effectué le 10 mai en 1984 et le 6 mai en 1985 sur un lit de semences humide à structure fine (un labour profond + 2 covercroppages croisés suivis d'une pré-irrigation). Les graines ont été semées manuellement, une graine tous les 2,5 cm à une profondeur de 5 cm. La première irrigation a été apportée quatre jours après le semis puis selon les besoins. L'éclaircissage a été effectué au stade trois feuilles en laissant un plant tous les 5 cm. Après la levée, des contrôles fréquents d'adventices ont été faits manuellement et la culture est restée propre tout au long de son cycle.

La variété utilisée Calland est une variété du groupe III soumise au maintien variétal et la multiplication des semences par la Station Centrale des plantes Oléagineuses de l'INRA.

### *Traitements*

T1 = Témoin non inoculé et sans apport d'azote

T2 = Semences inoculées et sans apport d'azote.

T3 = Semences inoculées + 25 kg de N/ha à la levée.

T4 = Semences non inoculées + 25 kg de N/ha à la levée + 75 kg de N/ha cinq semaines après la levée.

Ces traitements ont été randomisés en bloc aléatoire complet à quatre répétitions. Chaque parcelle élémentaire (25,2 m<sup>2</sup>) est formée de huit lignes de 6m de long, espacées de 0,6m. Seules les quatre lignes centrales, 5m de long,

ont été utilisées dans l'estimation des rendements, soit une superficie de 9 m<sup>2</sup>.

L'inoculum sous forme de poudre de tourbe utilisé à la dose de 10 g/kg de semences, nous a été préparé par le Laboratoire de Microbiologie de l'IAV Hassan II. L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque (21%).

### ***Observations et mesures***

Les caractères étudiés sont : le nombre de nodules par pied compté au stade début floraison sur 30 plantes prises en bordures, la teneur en huile par rapport à la matière sèche (extraction par l'éther de pétrole), la teneur en protéine par rapport à la matière sèche (méthode Kjeldahl), le poids de mille graines (g) et le rendement en grains en qx/ha.

Les analyses statistiques ont été effectuées au Service de l'Informatique et Biométrie de l'INRA.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

Les résultats obtenus sont portés pour plus de clarté dans les Tableaux I, II, III, IV et V. L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les traitements pour les cinq caractères étudiés.

### ***Nombres de nodules par plant***

Le nombre de nodules (Tableau I) est significativement supérieur chez le traitement T2 relativement à T3. Il y aurait donc un effet négatif de l'azote sur la formation des nodules.

L'effet de l'azote sur la nodulation a été également observé par plusieurs auteurs qui parlent même d'une inhibition. Le mécanisme pouvant expliquer cette inhibition n'est pas encore connu (Stracey et Upchurch, 1984). Harper et Nicholas (1976) ont montré, sur solution nutritive, que l'azote sous forme urée stimule la nodulation et l'activité nitrogénase du soja mais l'inhibe sous forme ammoniac et nitrate à forte concentration. Lie (1974) a constaté que l'inhibition de la nodulation par les nitrates est due à la réduction du nombre des poils absorbants et essentiellement à une réduction de leur déformation, étape nécessaire à l'infection. Selon le même auteur, le degré d'inhibition dépend de la concentration, de la forme des composés azotés, des conditions de croissance de la plante, de l'espèce hôte et de la souche du rhizobium utilisée.

### ***Teneur en huile et en protéine***

La teneur en huile (Tableau II) est la même chez les traitements T1 et T4 et significativement supérieure chez T2 et T3. L'effet inverse a été observé quant à la teneur en protéine (Tableau III). Il y aurait donc une corrélation négative entre ces deux caractères ( $r = -0,938$ ). Ceci confirme les résultats de Weiss et al., (1959), Krivoruchko et al., (1979) et Hafez (1983).

Tableau I : Nombre de nodules par plante .

Campagnes	Traitements					Moy.	Dunnett 5%	C.V%
	T1	T2	T3	T4	T4			
1984	0,31	61,01	39,82	0,46		24,40	6,77	13,42
1985	0,00	109,93	86,86	0,00		49,20	5,59	5,72
Moy.	0,16	85,47	63,34	0,23		-	-	-

Tableau II : Teneur en huile en % de la matière sèche .

Campagnes	Traitements					Moy.	Dunnett 5%	C.V%
	T1	T2	T3	T4	T4			
1984	25,54	21,56	22,35	24,15		23,40	2,13	3,16
1985	24,87	22,09	20,97	23,61		22,88	1,33	2,92
Moy.	25,21	21,83	21,66	23,88		-	-	-

Tableau III : Teneur en protéine en % de la matière sèche .

Campagnes	Traitements				Moy.	Dunnell 5%	C.V%
	T1	T2	T3	T4			
1984	32,01	41,89	43,34	39,46	39,17	2,46	3,16
1985	34,64	41,06	45,98	39,76	40,36	2,02	2,52
Moy.	33,33	41,48	44,66	39,61	-	-	-

Tableau IV : Poids de mille grains (g) .

Campagnes	Traitements				Moy.	Dunnell 5%	C.V%
	T1	T2	T3	T4			
1984	194,28	271,26	284,20	240,80	247,63	24,08	4,89
1985	192,22	270,46	291,14	234,11	246,98	5,70	1,16
Moy.	193,25	270,86	287,67	237,46	-	-	-

L'inoculation a contribué à accroître la teneur en protéine, ce qui a été également constaté par Chamber (1983) et Bouniols et al. (1986) et à diminuer la teneur en huile .

### ***Poids de mille grains***

Le poids de mille grains (Tableau IV) est significativement élevé chez la T3 relativement aux autres traitements . L'inoculation plus 25 kg de N/ha à la levée a donc permis à la variété utilisée d'exprimer son potentiel génétique . Ce caractère est lié positivement au rendement en grains ( $r = 0,990$ ) .

### ***Rendement en grains***

Le traitement T3 a enregistré le rendement en grains le plus élevé (Tableau V), 60 qx/ha représentant une augmentation de 275% par rapport au témoin (T1), de 168% par rapport au traitement T4 et de 122% par rapport au traitement T2 . Le traitement T2, avec 49 qx/ha, est significativement supérieur à T1 et à T4, soit respectivement une augmentation de 224% et 137% .

Ainsi, quoique l'apport de 25 kg de N/ha à la levée a entraîné une baisse de la nodulation chez le traitement T3 relativement à T2, ce premier est classé meilleur quant au rendement en grains. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que cet apport assure une bonne alimentation azotée et évite le stress que peut subir cette culture à son stade jeune en attendant que les nodules soient fonctionnelles. Cette "hypothèse", meilleure croissance des plantes durant la phase végétative précédant le début de la fixation symbiotique, a été également formulée par Bouniols et al., (1986). Selon Hashimoto (1971) Harper (1974) et Nelson et al., (1984), l'apport d'azote à n'importe quel stade de la culture entraîne une augmentation du rendement . Tout déficit intervenant pendant la phase de mise en place des fleurs et des fruits entraîne une baisse irréversible de la production des gousses et des graines (Mingeau, 1974 ; Bouniols et al., 1981) et un taux élevé d'avortement (Nelson et al., 1984) .

## **CONCLUSION**

Cette étude nous permet de souligner les points fondamentaux suivants :

- L'inoculation des grains présente un avantage incontestable pour le soja puisqu'elle a permis de compenser 100 kg de N/ha . Une augmentation du rendement en grains de 168% et 137% a été constatée respectivement dans les traitements T3 (inoculé + 25 kg/ha à la levée) et T2 (inoculé et sans azote) par rapport au traitement T4 (non inoculé + 25 kg de N/ha à la levée + 75kg de N/ha cinq semaines après la levée) .

- Un apport de 25 kg de N/ha, en plus de l'inoculation, est nécessaire au début de la vie de la plante puisqu'il permet de lui assurer une bonne alimentation en azote et de lui éviter le stress qu'elle peut subir à son stade jeune en attendant que les nodules soient fonctionnelles .

- L'inoculation des semences a enregistré un accroissement du rendement de 224% par rapport au témoin T1 et de 137% par rapport au traitement T4 .

Enfin, si on se limite à la nutrition minérale, c'est l'azote qui pose le plus de problèmes au soja (Bouniols et al., 1986) . Dans ce cas pour quelle nutrition azotée faut-il opter ? Il va de soi que l'économie d'azote obtenue par la fixation symbiotique est à maintenir, mais il serait mal jugé de priver l'agriculteur de rendements beaucoup meilleurs si celui-ci souhaitait mieux ajuster sa fumure . En effet, selon Hashimoto (1971), Harper (1974) et Nelson et al., (1984), l'apport d'azote à n'importe quel stade de la culture entraîne une augmentation du rendement . Ainsi les recherches ultérieures, dans le même sens, doivent être orientées vers des apports plus tardifs d'engrais azotés, au moment où les besoins de la plante sont plus élevés et où la fixation symbiotique décline. Ces essais ont été tentés par plusieurs auteurs et ont amené des résultats encourageants (Decau et al., 1975) .

Tableau V : Rendement en grains .

Campagnes	Traitements						
	T1	T2	T3	T4	Moy.	Dunnnett 5%	C.V%
1984	23,05	49,93	59,90	36,13	39,00	5,29	6,83
1985	20,28	47,29	59,13	34,84	40,38	2,10	2,62
Moy.	21,67	48,61	59,52	35,49	-	-	-



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUNIOLS, A., PUECH J., MONDIES M., et HERNANDEZ M. 1981 . Effet de privation d'azote à différents stades du développement du soja (*Glycine max* L. Merrill) : conséquences sur la mise à fleurs, sur la production fruitière et sur la teneur en protéine des graines récoltées . C. R. Acad. Sci., 293: 97-102 .
- BOUNIOLS, A., PUECH J., CHALAMET A., et MONDIES M. 1985 . Influence des conditions d'alimentation hydrique ou (et) azotée à différents stades du développement sur la production de grains et la nutrition azotée du soja . (Cité par Bouniols et al., 1986).
- BOUNIOLS, A., CHALAMET A., LAGHACHERIE B., MERRIEN A., et OBATON M. 1986 . Nutrition azotée du soja : Limites et améliorations de la fixation aux conditions françaises . Edité par CETIOM Supl. Inf. Tech. (1986) : 73-77 .
- CHAMBER, M. A. 1983 . Influence of several methods for rhizobial inoculation on nodulation and yield of soybeans . Plant and Soil 74 : 203-209 .
- DECAU, J., BOUNIOLS A., LENGRENOT P., et PUECH J. 1975 . Concurrence ou complémentarité de l'alimentation azotée non symbiotique et de la fixation bactérienne chez le soja (*Glycine max* L. Merrill) . C. R. Acad. Sci.: 535-538 .
- HAFEZ, Y. S. 1983 . Nutrient composition of different varieties and strains of soybean . Nutr. Rep. Int. Vol. 28 (6) : 1197-1206 .
- HARPER, J. E. 1974 . Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production . Cro. Sci. 14 : 255-260 .
- HARPER, J. E. 1976 . Contribution of dinitrogen and soil or fertilizer nitrogen to soybean production . In World Soy. Res. L. D. Hill Ed., 101-107 . The interstate Publ. Danville, III .
- HARPER, J. E. et NICHOLAS J. C. 1976 . Control of nutrient solution pH with anion exchange system . Effect on soybean nodulation . Physiol . Plant., 38 : 24-28 .
- HASHIMOTO, K. 1971 . The significance of combined and symbiotically fixed nitrogen on soybeans at successive stages of growth . Hokkaido Natl . Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 99 : 17-29 .
- KRIVORUCHKO, D., KABA H., SAMBUCETTI M. E., et SANAHUJA J. C., 1979 . Maturation time and some seed composition characters affecting nutritive value in soybean varieties . Cereal . Chem. 56 : 217-232.
- LIE, A. T. 1974 . Environmental effects on nodulation and symbiotic nitrogen fixation . In A ., Quespel ed . The Biological Nitrogen Fixation . 555-582.
- MINGEAU, M. 1974 . Etude de la sensibilité du soja à la sécheresse . B.T.I. 74: 1-14 .
- NELSON, D. R., BELLVILLE R. J., et PORTER C. R. 1984 . Role of nitrogen

assimilation in seed development of soybean . Plant Physiol . 74 : 128-133 .

PUECH, J., BONNAL J. M., et HERNANDEZ M. 1977. Observations sur l'importance de l'avortement des organes fructifères du soja (*Glycine max L. Merrill*) placé dans différentes conditions écologiques .

C. R. Acad. Sci., D, 284 : 2343-2346 .

STRACEY, G., et UPCHURCH R. G. 1984 . Rhizobium inoculation of legumes. Trends in Biotech . Vol. 2 (3) : 66-70 .

WEISS, M. G., WEBER C. R., WILLIAMS L. E., et PROBST A. H. 1959 . Correlation of agronomic characters and temperature with seed compositional characters in soybeans as influenced by variety and time of planting .

Agron. J. 44 : 289-292 .