

Fixation symbiotique et nutrition azotée du haricot filet (*Phaseolus vulgaris* L) conduit en plein-champ

Ahmed SKIREDJ¹ & Andrée BOUNIOLS²

(Reçu le 18/03/1993 ; Accepté le 23/09/1993)

التغذية الأزرطية للفاصولياء الخضراء في الحقل العاري

أجريت دراسة التغذية الأزرطية على أصناف مختلفة من الفاصولياء تحت ظروف الحقل العاري. وقد أجاب صنف (إيقيون) ، وهو متفوق على صنف رويانيل ، على عمليات التلقيح الريزوبيومي والجلب الأزرطي المعدني. كما حس تلقيح البذور بباكتيرية CIAT 57 إنتاج كتل النبات التجارية وغيرها ، وإنتاج الدرناات الريزوبيومية ومحتوى النبات من الأزرط العام والأزرط الحيوي. هذا الأخير وصل إلى 38 وحدة للهكتار بالنسبة لصنف الثاني وإلى 49 وحدة بالنسبة لصنف الأول. وقد تحسن إنتاج الدرناات الريزوبيومية كذلك بجلب الأزرط المتقدم (10 رحدات في طور 10 أيام بعد الإنبات) . و بجلب الأزرط بعد الزهري (30 وحدة في طور 60 يوما بعد الإنبات). أما جلب 30 وحدة من الأزرط في طور الإزهار (30 يوما بعد الإنبات) . يضر بإنتاج الدرناات الريزوبيومية. وتعد 60 وحدة أزرطية معدنية هي كمية الجلب المثلى ، تقسم كما يلي : 10 ثم 30 ثم 20 وحدة و 10 و 60 و 80 بالتتابع يوما بعد الإنبات، وكلما ارتفع قدر الجلب إلا وزاد محتوى النبات من الأزرط، وقد جلبت الثمار لوحدها 40 إلى 47 % من الأزرط العام للنبات ، ثة حيوي الأصل ، و ثثاه معدنية ، مما يؤكد ضرورة جلب الأزرط المؤخر في طور 80 يوما بعد الإنبات لإنتاج الثمار.

الكلمات المفتاحية : الفاصولياء الخضراء - الأزرط المعدني - التركيب الحيوي للأزرط - الإنتاج - الحقل العاري.

Fixation symbiotique et nutrition azotée du haricot filet (*Phaseolus vulgaris* L) conduit en plein-champ

La nutrition azotée de différents cultivars de haricot vert a été étudiée en conditions de plein-champ. La variété Aiguillon, plus performante que Royalnel, a mieux répondu à l'inoculation et aux apports de N-combiné. L'inoculation par la souche CIAT 57 a amélioré les biomasses non commercialisables et utiles, la nodulation, la composition azotée et la fixation symbiotique des plantes. Celle-ci a atteint 38 à 49 unités N₂ respectivement pour Royalnel et Aiguillon. Les apports d'azote de démarrage (10 unités (U) au stade 10 jours après levée (JAL)) et post-floral (30 U au stade 60 JAL) ont améliorée la nodulation. Par contre, elle a été inhibée par l'apport de 30 U en début floraison (30 JAL). La dose optimale d'azote combiné a été de 60 U, fractionnées en 10, 30 et 20 U respectivement aux stades 10, 60 et 80 JAL. Les fortes doses d'azote ont donné les bons résultats. Les gousses ont exporté 40 à 47 % de N total des plantes dont 1/3 a été d'origine symbiotique, les 2 autres tiers étant d'origine minérale. L'apport tardif effectué au stade 80 JAL a donc été bénéfique à la production des gousses.

Mots clés: *Phaseolus vulgaris* L.- Azote (N-combiné) - Fixation symbiotique - Plein-champ

Symbiotic fixation and nitrogen nutrition of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L) conducted in the open field

Snap bean nitrogen nutrition was studied on various cultivars in open field conditions. Aiguillon variety, more performant than Royalnel, answered well to inoculation and combined-N. Inoculation by strain CIAT 57 improved dry matter, yield, nodulation, N-composition and symbiotic fixation of plants. The fixation reached 38 to 49 units (U), respectively, in the case of Royalnel and Aiguillon. Nodulation was improved too by starter N (10 U at 10 DAE (days after emergence stage)) and by post-blooming N (30 U at 60 DAE stage). It was reversely inhibited by first-blooming N (30 U at 30 DAE stage). The optimal rate of combined-N was 60 U, fractionned as 10; 30 and 20 U, respectively, at 10; 60 and 80 DAE stages. As N-fertilizer rates increased, plants contained more nitrogen. Pods exported 40 to 47 % of total plant N, with 1/3 from biological fixation and 2/3 from combined-N. Late N-fertilization (80 DAE stage) was beneficiate to pod production.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L.- Nitrogen (Combined-N) - Symbiotic fixation - Open-field

¹ Département d'Horticulture, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II BP 6202-Instituts, 10 101 Rabat, Maroc

² Institut National de la Recherche Agronomique d'Auzeville (France)

♦ Auteur correspondant

INTRODUCTION

La nutrition azotée du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) a fait l'objet d'investigations sur différentes variétés, selon des modes de fertilisation et d'inoculation variés (Skiredj, 1991; Felix *et al.*, 1981; Franco, 1981; Graham *et al.*, 1984).

Comme toutes les légumineuses, le haricot vert dispose de deux voies de nutrition azotée: l'assimilation de N-combiné et la fixation symbiotique (Felix *et al.*, 1981). Celle-ci est gratuite et constitue une économie précieuse des engrais azotés, souvent importés par les pays en voie de développement. Son exploitation réduit, en général, les quantités de N-minéral nécessaires pour obtenir les rendements maxima (Graham *et al.*, 1977; Sundstrum *et al.*, 1982).

Felix *et al.* (1981) ont montré que les deux mécanismes de la nutrition azotée du haricot peuvent être complémentaires dans le temps et sont tous les deux nécessaires pour le maximum de production. La complémentarité entre les activités nitrogénase (qui gouverne la fixation) et nitrate-réductase (qui gouverne l'assimilation de N-combiné) n'est possible qu'avec un bon choix d'inoculum (Graham *et al.*, 1977; 1984) et avec des doses et des moments d'apport de N-combiné adaptés aux conditions de fonctionnement des enzymes et, par conséquent, aux conditions de la culture.

Dans ce travail, on se propose d'analyser les biomasses non commercialisables et utiles, la nodulation, la composition azotée des plantes et leur fixation symbiotique en conditions culturales courantes de plein-champ.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les expérimentations ont eu lieu à Bouknadel en 1988 et 1989, en plein-champ. Le niveau d'intensification culturale adopté est celui utilisé dans la région par la plupart des producteurs (Chbouki, 1988). Ce niveau est caractérisé par une quarantaine d'interventions:

- 14 irrigations gravitaires (Tableau 1);
- 14 cueillettes manuelles (un jour sur deux)
- 11 opérations culturales de préparation de terrain et d'entretien des cultures.

Les cycles culturaux ont duré 103 jours en 1988 et 110 jours en 1989 (Tableau 1). Chaque parcelle élémentaire avait une taille de 20 m² et une densité de peuplement de 30 plantes/m².

Le sol sableux (94 % de sable, pH neutre (6,7 - 7,2), très pauvre en MO (0,3 %) et en potassium échangeable (5-9 ppm)) n'a pas posé de problèmes de salinité (EC = 0,05 mmhos/cm). Il a été moyennement pourvu en P (20-26 ppm P₂O₅). La fumure PK, apportée à la levée, a été de 50 unités P₂O₅ (supertriple) et de 150 unités K₂O (K₂SO₄). Les conditions climatiques ont été favorables à la culture (Tableau 2).

Les semis ont eu lieu le 26 février 1988 et le 6 mars 1989. L'inoculation a consisté en un enrobage des semences par un inoculum solide à base de tourbe et de souche de *Rhizobium* (CIAT 57), avec l'eau sucrée comme adhésif. Au niveau des pots destinés à l'estimation de N₂ fixé, l'inoculation par les souches indigènes a été réalisée par un apport de jus de sol (sol/eau, 1/2).

Deux traitements phytosanitaires ont été effectués d'une manière curative (Décis et Pelt 44) contre les pucerons et la rouille. Les dispositifs expérimentaux figurent au tableau 3.

Tableau 1. Durées des cycles et apports d'eau (pluies + irrigation)

Phases du cycle	Semis - 1ère fleur		1ère fleur - début cueillette		Début - fin de cueillette	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Durée de la phase (jours)	52	58	21	12	30	40
Nombre d'irrigations	6	6	3	2	5	7
Apport d'eau d'irrigation.(mm)	115	70	60	50	120	175
Nombre de jours de pluie	3	12	5	1	3	0
Apport d'eau de pluie(mm)	30	150	40	5	30	0
Apport total d'eau/phase(mm)	145	220	100	55	150	175
Total cumulé apporté (mm)	145	220	245	275	395	450

Tableau 2. Températures et pluviométrie

Mois	Années	T°C moyenne du mois			Pluviométrie mm d'eau	nb de jours
		mini	maxi	moy		
Janvier	1988	8,8	17,1	12,9	100	8
	1989	6,5	18,3	12,4	32,4	4
Février	1988	8,9	20,4	14,6	47,0	4
	1989	8,5	18,2	13,3	46,6	5
Mars	1988	8,3	22,8	15,5	12,0	1
	1989	9,6	19,9	14,7	76,2	5
Avril	1988	8,1	19,1	13,6	39	5
	1989	10,2	20,3	15,25	64,0	7
Mai	1988	11,7	24,9	13,30	40	4
	1989	12,9	23,8	18,35	4,4	1
Juin	1988	12,0	28,9	20,45	0,0	0
	1989	16,8	24,6	20,70	0,0	0

Tableau 3. Protocoles expérimentaux

Années	Dispositifs expérimentaux et traitements
1988 ¹	Blocs aléatoires complets à parcelles divisées 4 répétitions par traitement facteur 1=inoculation à 2 niveaux: plantes inoculées par CIAT 57 ou non inoculées
	Facteur 2=doses de N à 4 niveaux (ammonitrate): 0 N :témoins 10 N :à la levée 60 N :en 3 apports 10;30 et 20 UN respectivement aux stades levée, 30 et 60 JAL. 120 N :en 4 apports 10;30;40 et 40 UN respectivement aux stades levée;30;60 et 70 JAL.
1989 ²	Blocs aléatoires complets pour chaque cultivar ; 4 répétitions par traitement 2 cultivars:Royalnel et Aiguillon. 1 facteur étudié à 4 niveaux: A, B, C et T A : plantes inoculées par CIAT 57 (noté CIAT 57) B : CIAT 57 + SI (souches indigènes) apportées par un jus de sol intact ;le sol des pots étant stérilisé *. C : SI(seules) apportées par un jus de sol intact, sur sol stérilisé. T : témoins, sans Rhizobium, sol stérilisé. Apport de 60 UN (ammonitrate) en 3 apports 10;30 et 20UN respectivement aux stades 10;60 et 80 JAL. 10 pots par m ² (3 plantes par pot);30 plantes au m ² .
	Blocs aléatoires complets par cultivar 4 répétitions par traitement (ou cultivar) 1 facteur étudié à 7 niveaux: Royalnel ;Morgane;Aiguillon Cupidon;Irago;Drakar et Cesar (1 niveau = 1 cultivar). même fertilisation N que pour les plantes en pots(1989) inoculation par CIAT 57 + SI puisque le sol est intact , non stérilisé.
1989 ³	

* : stérilisation par des plaques électriques métalliques inoxydables, pendant 10 heures en 2 étapes espacées de 15 jours
1 et 3 : plantes en pleine-terre . 2 : plantes en pots .

Pour les mesures effectuées, quatre paires de plantes ont été prélevées au hasard avec leurs mottes des parcelles élémentaires (4 répétitions). Les nodosités ont été séparées, comptées, séchées à l'étuve (70°C/48h) et pesées. Les biomasses ont été séchées de la même manière et pesées. Des échantillons d'organes végétaux ont été prélevés au hasard, mélangés, broyés et analysés pour déterminer l'azote N par la méthode Kjeldahl. Les quantités de N₂ fixé ont été mesurées par la méthode des différences au niveau des plantes en pots (Bezdicek *et al.*, 1978 ; Talbot *et al.*, 1982).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Biomasses sèches des plantes

Au cours de l'essai-1988, l'inoculation n'a pas eu d'effet significatif sur les biomasses utile et totale. Quant à l'effet de N, on peut distinguer deux groupes de traitements :

- les faibles doses de N (0 et 10 unités N) ont permis l'obtention des faibles biomasses ;
- les fortes doses de N (60 et 120 unités N) ont été à l'origine des plus fortes biomasses (Tableau 4).

Tableau 4. Biomasses (g MS/plante) et indices de récolte des plantes

Essais	Traitements	BNC	BU	BT	IR (%)
Doses N	Inoculation	8,18	3,38	11,57	28,33
	Non inoculation	7,89	3,23	11,12	28,34
Plein-champ	0 unité N	6,98 b	1,95 b	8,93 b	21,81
	10 unités N	7,68 b	2,60 b	10,28 b	25,29
Royalnel	60 unités N	8,44 a	4,44 a	12,88 a	34,46
	120 unités N	9,07 a	4,23 a	13,30 a	31,79
	Moyenne générale	8,04	3,3	11,34	28,33
	C.V. (%)	10,2	12,3	11,5	-
Inoculation	CIAT 57	11,5 b	5,38	16,88 b	31,87
	CIAT57+SI	14 a	5,76	19,76 a	29,15
1989	Plantes en pots SI	11,62 b	5,09	16,71 b	30,46
	Aiguillon	Témoins	9,5 c	4,83	14,33 c
	Moyenne générale	11,65	5,26	16,91	31,1
	C.V. (%)	12,6	14,7	16,1	-
Inoculation	CIAT 57	10,75 b	4,93	15,68 b	31,44
	CIAT57+SI	13,25 a	5,21	18,46 a	28,22
Plantes en pots	SI	11,75 b	4,85	16,60 b	31,09
	Royalnel	Témoins	9,62 c	4,46	14,08 c
	Moyenne générale	11,34	4,86	16,20	30
	C.V. (%)	8,3	10,2	10,1	-

Légende : BNC : biomasses non commercialisable
BU : biomasse utile (rendement);moyenne des pots ou des parcelles élémentaires
BT : biomasse totale (BNC+BU)
IR : indice de récolte (BU en % de la BNC)
C.V.: coefficient de variation

La dose 60 unités N a été optimale pour la production des biomasses, ce qui est en accord avec les résultats d'autres chercheurs (Tan *et al.*, 1984 ; Ssali *et al.*, 1980). Cette dose a permis l'obtention d'une biomasse utile et d'un indice de récolte élevés. Il y a eu très peu de différences de biomasse à l'intérieur de chaque groupe ; les différences ont été, par contre, significatives entre les deux groupes.

Pour l'essai-1989, les plantes en pots ont formé des biomasses de l'ordre de 140 à 147 % de celles produites en pleine terre en 1988 chez la même variété Royalnel. Le mode de fertilisation adopté en 1989 a dû être plus favorable à la croissance et à la production que celui utilisé en 1988, les conditions climatiques des deux années étant favorables aux cultures.

Les différences de biomasses entre Royalnel et Aiguillon ont été très faibles. L'inoculation par CIAT 57, en présence des SI (souches indigènes) du sol, a donné les biomasses les plus élevées chez les deux variétés. Les biomasses non commercialisables, utiles et totales, des témoins (sans *Rhizobium*) n'ont représenté, respectivement, que 67, 84 et 72 % de celles du traitement CIAT 57 + SI chez Aiguillon et 72, 85 et 76 % chez Royalnel. L'inoculation a donc été favorable à la production des biomasses. Son effet a été probablement masqué lors de l'essai-1988 à cause du dispositif expérimental "split-plot" pour l'étude du 1er facteur de division des parcelles (l'inoculation) avec moins de précision que le 2ème facteur (doses de N). Les effets favorables de l'inoculation ont été également signalés par d'autres chercheurs (Felix *et al.*, 1981 ; Rennie *et al.*, 1981 et 1983).

Les indices de récolte observés pour les deux années ont été assez proches mais faibles (28 à 31 %). De ce fait, le haricot vert a formé environ 2 fois plus de biomasse non commercialisable que de biomasse utile.

2. Rendements en gousses-filets

En 1988, il n'y a pas eu d'effet d'inoculation sur le rendement en gousses-filets mais l'effet de N s'est traduit par l'apparition de deux groupes, un à faible et un à forte dose en N, sauf au stade 60 JAL où N n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement. Le maximum de production a été obtenu avec la dose 60 unités N (Tableau 5).

En 1989, Royalnel a produit, en fin de cycle, 122 % de sa production en 1988. Aiguillon a été plus

productif que Royalnel. Les productions précoces (60-70 JAL) obtenues en 1989 ont été plus élevées que celles obtenues en 1988. Le mode de fertilisation préconisé en 1989, comme décrit dans matériels et méthodes, a favorisé une bonne production et une meilleure précocité.

Pour les plantes en pots (1989), il n'y a pas eu d'effet significatif de l'inoculation mais le traitement CIAT 57 + SI a donné des rendements légèrement supérieurs. En pleine terre, Royalnel inoculé a donné le même rendement qu'en pot au niveau du traitement CIAT 57 + SI en fin de cycle, mais la production précoce (65 JAL) a été plus élevée en pleine terre qu'en pots. Les plantes ont perdu légèrement de leur précocité lorsqu'elles ont été en pots et ont manifesté un manque d'extension du système racinaire.

Quant à l'essai variétal (1989), les meilleurs rendements ont été obtenus par ordre décroissant chez Morgane, Cupidon, Aiguillon, Irigo et Royalnel (Tableau 5). Cesar et Drakar ont présenté des rendements très faibles. Ces deux dernières variétés n'ont pas répondu aux besoins du marché (filets panachés non acceptables) ni à ceux du producteur (faibles rendements). Les variétés Morgane, Cupidon et Aiguillon ont donné des gousses-filets de très bonne qualité (68-72 % d'extra-fins). Royalnel a aussi donné un produit de très bonne qualité mais n'a produit que 73 % de la production de Morgane. Des différences variétales de production ont aussi été signalées par d'autres chercheurs (Graham *et al.*, 1984 ; Aurag, 1984).

En ce qui concerne la fertilisation, la dose 60 unités N a été optimale et a permis l'obtention du rendement maximal pour toutes les variétés testées. Cette dose a également donné satisfaction dans diverses situations culturales (Ssali *et al.*, 1980 ; Tan *et al.*, 1984). Le mode de fertilisation adopté en 1989 a été favorable à la culture car les rendements obtenus en 1989 ont dépassé de 22% ceux de 1988 (chez la variété Royalnel). La précocité a aussi été appréciable en 1989.

3. Nodulation

Un apport de 10 unités N au stade 10 JAL des plantes (essai-1988) a légèrement amélioré la nodulation par rapport à une absence complète de N combiné mais sans que les différences aient été significatives, ce qui est en accord avec les résultats de plusieurs chercheurs (Felix *et al.*, 1981 ; Sundstrum *et al.*, 1983 et Vencatasamy

Tableau 5. Rendements cumulés des plantes (g MF/plante) et pourcentage des filets extra-fins

Essais	Traitements	60JAL	65JAL	70JAL	80JAL	90JAL	104JAL
Doses N 1988 plein-champ Royalnel	Inoculation	0,71		11,67	31,57	37,69	
	Pas d'inoculation	0,65		10,86	29,51	35,5	
	0 unité N	0,54		7,77b	20,95b	23,48b	
	10 U N	0,68		11,04b	26,58b	29,69b	
	60 U N	0,91		14,01a	39,43a	48,37a	
	120 U N	0,58		12,25a	35,2a	44,83a	
	Moyenne générale	0,68		11,27	30,54	36,59	
	C.V. (%)	77,51		19,71	13,19	11,7	
Inoculation 1989 pots Royalnel	CIAT57		11,1		27,1		45,4
	CIAT57+SI		12,1		29,4		47,4
	SI		11		27,5		44,6
	Témoins		10,4		25,7		41,5
	Moyenne générale		11,1		27,4		44,7
	C.V. (%)		38,9		14,5		12,7
Inoculation 1989 pots Aiguillon	CIAT57		11,9		29,8		48,4
	CIAT57+SI		12,6		31,1		49,4
	SI		11,7		29,5		47,2
	Témoins		11		27,8		45,9
	Moyenne générale		11,8		29,5		47,7
	C.V. (%)		28,7		16,9		15,3
Variétés 1989 plein-champ CIAT57+SI	Morgane		12,5 (68%) *		40,3 (72%)		64,0 (70%)
	Irago		11,6 (44%)		33,7 (57%)		49,1 (50%)
	Cupidon		11,5 (74%)		41,2 (71%)		61,5 (70%)
	Drakar (panaché)		10,7 (12%)		34,3 (10%)		29,9 (10%)
	Cesar (panaché)		10,6 (11%)		23,9 (12%)		31,3 (10%)
	Royalnel		17,2 (75%)		31,3 (65%)		47,0 (70%)
	Aiguillon		20,9 (72%)		36,5 (70%)		52,9 (70%)

Légende : JAL : jours après levée ; C.V. : coefficient de variation

* les % sont relatifs au poids frais des gousses extra-fines, c'est à dire de bonne qualité commerciale, par rapport au rendement total par plante

et al., 1981). Mais la dose de 60 unités N, fractionnée en 10, 30 et 20 unités N, respectivement, aux stades 10, 60 et 80 JAL, a permis la nodulation maximale (Tableau 6).

Toutefois, plusieurs chercheurs ont trouvé une grande variabilité de nodulation selon les doses de N-combiné, les souches de *Rhizobium*, le stade de la plante et les conditions culturales (Aurag, 1984; Awonaike *et al.*, 1980; Srivastava *et al.*, 1986; Rennie *et al.*, 1981; Sundstrum *et al.*, 1983). Quant à l'effet de l'inoculation sur la nodulation, en 1988, il n'a pas été significatif en présence de souches indigènes (SI) efficaces.

La nodulation en 1989 s'est avérée nettement meilleure. À un même stade 65 JAL, une plante n'a formé, en 1988, que 19% des nodosités par rapport

à la même plante en 1989. Ceci est dû probablement à l'inhibition de la nodulation par l'apport de N au stade 30 JAL.

Dans ces conditions, Royalnel a nodulé mieux qu'Aiguillon. L'inoculation par CIAT 57, en présence de souches indigènes efficaces (SI), a amélioré la nodulation des 2 variétés. Dans les conditions marocaines, Aurag (1984) a obtenu une bonne nodulation de Royalnel par l'inoculum CIAT57, surtout au stade fructification. Des différences de nodulation ont été trouvées par différents chercheurs selon les cultivars et les souches de *Rhizobium* utilisés (Graham *et al.*, 1977 et 1982; Chui *et al.*, 1984; Rennie *et al.*, 1981).

Par ailleurs, le pic de nodulation est apparu durant la phase 55-60 JAL. Le même résultat a été trouvé par Felix *et al.* (1981). Juste après le stade 60 JAL,

Tableau 6. Nombre et poids des nodosités par plante

Essais	Traitements		40JAL	55JAL	60JAL	80JAL	104JAL
Doses N 1988 plein-champ Royalnel	Inoculation	*	11,5		32,5		
	Inoculation	**	10,09		39,19		
	Pas d'inoculation	*	9,37		27,18		
	Pas d'inoculation	**	10,84		34,99		
	0 unité N	*	11,12		23		
	0 unité N	**	10,81		31,13		
	10 unitésN	*	10		31		
	10 unitésN	**	7,92		42,86		
	60 unités N	*	11,12		34,62		
	60 unités N	**	14,24		41,66		
	120 unités N	*	9,5		30,75		
	120 unités N	**	8,89		32,71		
	Moyenne générale	*	10,43		29,84		
	Moyenne générale	**	10,46		37,09		
	C.V. (%)	*	49		32,04		
C.V. (%)	**	71,11		41,16			
Inoculation 1989 Plantes en pots Royalnel	CIAT57	*		41,50	141,25	154,25	54,5 b
	CIAT57	**		197 c	331,25b	331,25b	255,75a
	CIAT57+SI	*		60	176	183,25	79,75a
	CIAT57+SI	**		259,25a	455,25a	430 a	270a
	SI	*		46,25	146,75	154,75	54,25b
	SI	**		235,5b	336,25b	372,5b	234,75b
	Moyenne générale	*		49,25	154,67	164,08	62,83
	Moyenne générale	**		230,58	374,25	377,92	253,5
	C.V. (%)	*		25,2	15,4	15,1	5,9
C.V. (%)	**		5,5	6,7	7,5	4,8	
Inoculation 1989 Plantes en pots Aiguillon	CIAT57	*		40,50	119,5b	119,25b	56,25b
	CIAT57	**		193,75	340b	350b	235
	CIAT57+SI	*		51,25	149,75a	155,25a	71,25a
	CIAT57+SI	**		207,75	442,5a	450a	260,25
	SI	*		45,5	114,25b	118b	51,25b
	SI	**		198,25	320b	322,5a	239,5
	Moyenne générale	*		45,75	127,83	130,83	59,58
	Moyenne générale	**		199,92	367,5	374,17	244,92
	C.V. (%)	*		12	6,8	7,3	9,6
C.V. (%)	**		3,7	9,5	7,1	5,2	

Légende: JAL : jours après levée ; C.V. : coefficient de variation

* : nombre de nodosités/plante ; ** : mg MS des nodosités/plante

le rythme de nodulation a chuté rapidement. Dès le stade 80 JAL, les nodosités sont devenues sénescents. Ainsi, les stades 60 et 80 JAL ont été des repères dans la nodulation. Les apports tardifs de N, réalisés aux stades 60 et 80 JAL dans les essais-1989, ont été faits au bon moment, en période de production, lorsque la nodulation était terminée alors que les besoins en N étaient encore élevés.

4. Composition en azote des plantes

En 1988, les plantes inoculées ont présenté légèrement plus de N que les plantes témoins.

Chez l'haricot soumis aux doses 60 et 120 unités N, il y a eu plus d'azote dans la BNC et dans les gousses que chez la plante soumise à de faibles doses (0 et 10 unités N), ce qui est en accord avec les résultats de Franco (1981) et de Vencatasamy *et al.* (1981) (Tableau 7).

Avec la dose optimale 60 unités N, les gousses ont mobilisé 87.4% des quantités de N prélevées par la BNC et 46.6% de N total de la plante. Autrement dit, les plantes (Royalnel) ont exporté environ 70 kg N par hectare, à la dose de 60 unités N, ce qui est en accord avec les observations de Streeter (1985).

Tableau 7. Compositions en N des plantes en fin de cycle (mg N/plante)

Essais	Traitements	BNC	BU	BT	Ef.(1)	Ex(2)
Doses N 1988 plein-champ Royalnel	Inoculation	134,78	89,75	224,54	37,45	56,14
	Pas d'inoculation	117,75	82,28	200,04	39,48	49,76
	0 unités N	97,61	40,09	137,7	29,18	34,35
	10 unités N	106,83	53,79	160,62	33,94	42,01
	60 unités N	146,91	128,45	275,36	46,61	68,85
	120 unités N	153,73	121,74	275,48	44,14	66,6
	Moyenne générale	126,26	86,02	212,29	38,46	52,95
Inoculation 1989 Plantes en pots Royalnel	CIAT 57	193,5	128,67		322,17	39,93
	CIAT57+SI	251,75	151,61		403,36	37,58
	SI	215,02	129,01		344,03	37,49
Royalnel	Témoins	164,5	111,94		276,44	40,49
	Moyenne générale	205,25	129,7		335,01	38,73
Inoculation 1989 Plantes en pots Aiguillon	CIAT 57	210,45	138,8		349,25	39,74
	CIAT57+SI	270,2	175,68		445,88	39,40
	SI	214,97	135,39		350,36	38,64
Aiguillon	Témoins	162,4	119,78		282,23	42,44
	Moyenne générale	213,19	141,49		354,68	39,89

Légende: BNC ; BU ; BT et traitements : voir Tableau 4

Ef(1) : Efficience (N des gousses en % de N total des plantes)

Ex(2) : Exportations d'azote par les plantes (Kg N/ha)

En 1989, avec le traitement CIAT 57+SI, on a obtenu les plus hautes quantités de N (en mg N/plante) chez les variétés Aiguillon et Royalnel, dans l'ordre décroissant. En moyenne générale, environ 40 % de N des plantes ont été prélevés par les gousses.

De grandes différences dans la composition en azote des plantes ont été trouvées dans la bibliographie selon les conditions expérimentales (Rennie *et al.*, 1983 ; Sundstrum *et al.*, 1983 ; Vencatasamy *et al.*, 1981).

5. Azote fixé par les plantes

Les plantes ont fixé, en moyenne générale, 24 à 29 kg de N₂/ha (Tableau 8).

Aiguillon a fixé légèrement plus que Royalnel. Le maximum de fixation a atteint respectivement 38 et 49 unités N pour Royalnel et Aiguillon après traitement au CIAT 57 + SI. La variabilité de la fixation symbiotique a été signalée à plusieurs reprises dans la littérature (Felix *et al.*, 1981 ; Franco, 1981; Graham *et al.*, 1984).

Tableau 8. Azote fixé par les plantes en pots (essai-1989)

Variétés	Traitements	mg N ₂ fixé par plante			Efficiences		N ₂ fixé (kg N/ha)
		BNC	Gousses	Total	E1	E2	
Royalnel	CIAT 57	29,00	16,73	45,73	36,58	13,00	13,72
	CIAT57+SI	87,25	39,67	129,9	31,25	26,16	38,07
	SI	50,52	17,07	67,59	25,25	13,23	20,27
	Moyenne générale	55,59	24,29	80,08	31,02	17,46	24,02
Aiguillon	CIAT 57	48,05	19,02	67,07	28,35	13,70	20,12
	CIAT 57+SI	107,8	55,90	163,7	34,14	31,82	49,11
	SI	52,57	15,61	68,18	22,89	11,53	20,45
	Moyenne générale	69,47	30,17	99,65	28,46	19,01	29,89

Légende: E1 = N₂ fixé des gousses en % de N₂ fixé total ; E2 = N₂ fixé des gousses en % de leur composition en N

Le même traitement a permis aux gousses de fixer 31 à 34 % d'azote par plante. Les 2 autres tiers d'azote fixé par les plantes ont été retrouvés dans leur BNC. Donc, la plus grande partie de l'azote des gousses a eu pour origine l'azote minéral (N-combiné). Les apports tardifs de N ont été justifiés par la production élevée des gousses-filets.

Le mode de fertilisation adopté en 1989 a été satisfaisant :

- forçage des plantes à former leur BNC à partir de l'azote biologique et de l'azote du sol durant les 60 premiers jours de la végétation ;
- apport de N-combiné lors de la production des gousses, lorsque la fixation a été à sa fin.

CONCLUSION

En plein-champ, à un niveau bas d'intensification, la fixation symbiotique du haricot filet a pu être exploitée et a atteint 49 unités d'azote chez le cultivar performant Aiguillon inoculé par la souche "CIAT 57" en présence de souches indigènes efficaces "SI". La biomasse utile de ce cultivar ainsi que celle de Morgane ont dépassé de loin le rendement de Royalnel.

Afin d'obtenir la production et la fixation symbiotique les plus élevées, le meilleur mode de fertilisation azotée a consisté en un apport modéré de N-combiné au début de la végétation et deux apports moyens en période post-florale.

RÉFÉRENCES

- Aurag J. (1984) Compétition pour la nodulation du haricot (*Phaseolus vulgaris* L) entre les souches de *Rhizobium phaseoli* introduites par inoculation, et les souches indigènes d'un sol sableux du Maroc (Loukkos). Thèse de Doctorat de 3^e cycle - Université Mohammed V - Fac. Sci. Rabat
- Awonaike K.Q., Lea P.J., Day J.M., Roughley R.J. & Miflin B.J. (1980) Effects of combined nitrogen on nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris*. *Expl. Agric.* 16 : 303-311
- Bezdicsek D.F., Evans D.W., Abede B. & Witters R.E. (1978) Evaluation of peat and granulated inoculum for soybean yield and N fixation under irrigation. *Agron. J.* 70:865-868
- Chbouki B. (1988) Nodulation et fixation symbiotique du haricot vert de plein champ dans la région de Bouknadel. Mémoire de 2^eme cycle Horticulture, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc
- Chui J.N. & Nadar (1984) Evaluation of effects of *Rhizobium phaseoli* strains on nodulation, dryin matter and grain yield of two bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties. *East-African Agri. & Forest. Journal* 44:109-112
- Felix J.F.M., Obaton C.M., Messiaen & Salsac L. (1981) Nitrate reductase and nitrogenase activities of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from different geographic locations. *Plant & Soil* 63: 427-438
- Franco A.A. (1981) Activity factors limiting nodulation, N₂ fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* L. PH.D. Univ. CA., Davis- Dissertations abstracts intern B
- Graham P.H. & Temple S.R. (1984) Selection for improved N₂- fixation in *Glycine max* (L) Merrill and *Phaseolus vulgaris* L. *Plant & soil* 82 : 315-327
- Graham P.H. & Halliday J. (1977) Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus* in Vincent J.M., Whitney A.S. & Bose J. (Ed) Exploiting the legume- *Rhizobium* symbiosis in tropical agriculture, Univ. of Hawaii, College of Tropical agri. *Misc. Pub.* 145 : 313-334
- Huntington T.G., Smith M.S., Thomes G.W., Blevins R.L. & Petez A. (1986) Response of *Phaseolus vulgaris* to inoculation with rhizobium phaseoli under two tillage systems in the Dominican Republic. *Plant & Soil* 95:77-85
- Rennie R.J. & Kemp G.A. (1981) Dinitrogen fixation in peabean (*Phaseolus vulgaris*) as affected by growth stage and temperature regime. *Canad. Journ. Bot.* 59:1181-1188
- Rennie R.J. & Kemp G.A. (1983) N₂-fixation in field beans quantified by ¹⁵N Isotope dilution. I-Effect of strains of *Rhizobium phaseoli*. *Agro. J.* 75:640-649
- Rushel A.P., Vose P.B., Matsui E., Victoria R.K., Tsai Saito S.M. (1982) Field evaluation of N₂-fixation and N-utilization by *Phaseolus* bean varieties determined by ¹⁵N isotope dilution. *Plant & Soil* 65:397-407
- Skiredj A. (1991) Contribution à l'amélioration de la production et de la fixation symbiotique du haricot filet au Maroc. Thèse de Doctorat d'état ès-Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc
- Srivastava H.S. & Ormrod D.P. (1986) Effects of NO₂ and NO₃- nutrition on nodulation, nitrogenase activity, growth and N- content of bean plants. *Plant Physiol.* 81:737-741

- Ssali H. & Keya S.O. (1980) Nitrogen level and cultivar effects on nodulation, N₂-fixation and yield of grain legumes : II - Common bean cultivars. *East-African Agri. & Forest. Journal* 45(4):277-283
- Streeter J.G. (1985) Nitrate inhibition for legume nodule growth and activity. *Plant Physiol.* 77:321-328
- Sundstrom F.J., Morse R.D. & Neal J.L. (1982) Nodulation and N₂-fixation of *Phaseolus vulgaris* L. grown in Minesoil as affected by soil compaction and N fertilisation. *Soil Sci. Plant Anal.* 13(3): 231-242
- Sundstrom F.J., Neal J.L., Morse R.D. & Bender D.A. (1983) The effect of delayed inoculation on N₂-fixation by *Phaseolus vulgaris* L. grown in Minesoil. *Soil Sci. Plant Anal.* 14(1):15-27
- Talbot H.J., Kenworthy W.J. & Legg J.O. (1982) Field comparison of the nitrogen-15 and difference methods of measuring nitrogen fixation. *Agron. J.* 74: 779-804
- Tan J.L., Arraras E.A., Ertola R.J. (1984) Inoculation of alubia beans (*Phaseolus vulgaris* L) with *Rhizobium* at two sites. *Salta Revista de la Facultad de Agron. Univ. Nacional de la Plata* 60 (1-2): 121-125
- Vencatasamy D.R. & Peerally M.A. (1981) Effects of certain environmental factors on nodulation and N₂-fixation in *Phaseolus vulgaris* L. *Revue agricole et sucrière de l'île de Maurice* 60 (2):61-70
- Vencatasamy D.R. & Peerally M.A. (1981) Seasonal changes in the N₂ fixing activity of *Phaseolus vulgaris* CV Long Tom. *Revue agricole et sucrière de l'île de Maurice* 60(1):5-9