

Fixation symbiotique et nutrition azotée du haricot filet (*Phaseolus vulgaris* L.) conduit sous abri plastique

Ahmed SKIREDJ¹ & Andrée BOUNIOLS²

(Reçu le 07/06/1993 ; Accepté le 03/02/1994)

التغذية الأزوتية للفاصولياء الخضراء تحت البيوت المغطاة

تمت دراسة التغذية الأزوتية للفاصولياء خلال سنتي 1988 و 1989 تحت ظروف البيوت المغطاة. وشملت المقارنة مواصفات مختلفة : ثلاثة أصناف متسلقة بذورها ملقحة بباكتيرية مختلفة من الريزوبيوم، أو غير ملقحة مزروعة في تربة الأرض أو في محابق اصطناعية و مسمدة بأساليب مختلفة. وعمت التحليلات والشروحات مجموعات الكتل الحيوية وغيرها ونسبة الإنتاج على الكتل الحيوية الكلية وإنتاج الدرنات ومحتوى النبات من الأزوت العام والأزوت الحيوي وأظهرت النتائج أن هناك اختلافا في مفعولات الأصناف والأشكال الريزوبومية ومقادير السماد الأزوتي. فصنف (ديامون) فاق كل الأصناف في الإنتاج. وتبعه صنف (كريسطال) ثم صنف (فورطكس) الذي لايتلام والظروف المغربية وتاثر قليلا إنتاج نوع سيات 57 للأزوت الحيوي سلبيا بوجود باكتيرية الريزوبيوم المحلية في التربة. ويحبذ البحث عن لقاح أفضل لصنفي ديامون وكريسطال. ويعد قدر 60 وحدة أزوتية هو القدر الأمثل للإنتاج واستغلال الأزوت الحيوي إذا كان موزعا بالتتابع 10 ثم 30 ثم 20 وحدة أزوتية على الأطوار 10 و 60 و 80 يوما بعد الإنبات.

الكلمات المفتاحية : الفاصولياء الخضراء - الأزوت المعدني - التركيب الحيوي للأزوت - الإنتاج - البيوت البلاستيكية المغطاة.

Fixation symbiotique et nutrition azotée du haricot filet (*Phaseolus vulgaris* L.) conduit sous abri plastique

La nutrition azotée du haricot vert a été étudiée en 1988 et en 1989 en conditions d'abri-plastiques, en pots et en pleine terre. Trois variétés à rames ont fait l'objet de mesures de biomasses, utiles et non commercialisables, indices de récolte, nodosités, compositions en azote et quantités d'azote biologique. Diamant a été la plus productive des variétés. Elle a été suivie de Cristal. Fortex n'a pas été adaptée aux conditions marocaines. La souche de Rhizobium CIAT 57 a présenté de légers effets antagonistes (non significatifs) avec les souches indigènes sur la nodulation et la quantité d'azote fixé biologiquement par les plantes. Des *inocula* mieux adaptés devraient être recherchés pour Diamant et pour Cristal. La dose d'apport azoté de 60 unités, fractionnées en 10, 30 et 20 unités d'azote, respectivement aux stades 10, 60 et 80 jours après levée, a été optimale pour la production et la fixation symbiotique.

Mots clés : *Phaseolus vulgaris* L. - Azote - Fixation symbiotique - Abri plastique

Symbiotic fixation and nitrogen nutrition of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) conducted under greenhouse conditions

Snap bean nitrogen nutrition was studied in 1988 and 1989 under greenhouse conditions in pots and on field. 3 varieties were object of determinations of biomasses, harvest indexes, nodules, nitrogen compositions and biological fixed nitrogen. Diamant was the most productive of the varieties. It was followed by Cristal. Fortex was not adapted to moroccan conditions. The Rhizobium strain CIAT 57 presented light antagonist (but not significant) effects with indigenous strains on nodulation and plant symbiotic fixation. More adapted inoculum must be found for Diamant and Cristal. The bringing nitrogen rate of 60 units, applied at 3 stages: 10, 60 and 80 days after plantation respectively with the quantities of 10, 30 and 20 nitrogen units, was optimal for yield and fixation.

Key words : *Phaseolus vulgaris* L. - Nitrogen - Symbiotic fixation - Greenhouse

¹ Département d'horticulture, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202-Instituts, 10 101 Rabat

² INRA d'Auzeville, Station d'Agronomie, BP 27, 31326 Castanet - Tolosan, Cedex, France

✦ Auteur correspondant

INTRODUCTION

Comme toutes les légumineuses, le haricot vert dispose de deux voies d'alimentation azotée: l'assimilation des nitrates du sol ou des engrais et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

L'assimilation des nitrates permet, en général, l'obtention de rendements élevés lorsque le mode d'apport de N-combiné est optimal (Chsillon *et al.*, 1986 ; Ethel, 1983 ; Srivastava *et al.*, 1986).

En cas d'excès d'azote, il y a un gaspillage d'énergie (1 tonne d'ammoniaque nécessite pour sa production une tonne de pétrole) (Felix *et al.*, 1981), un gaspillage d'argent (les quantités d'engrais utilisées sont croissantes et leurs prix sont de plus en plus élevés aussi) et une pollution de la nappe phréatique recevant les fortes quantités drainées d'engrais. Ces excès d'azote minéral inhibent aussi la 2ème voie de nutrition azotée, c'est-à-dire la fixation symbiotique (Awonaike *et al.*, 1980 ; Sundstrum *et al.*, 1982).

En cas de faibles apports de N, les rendements obtenus ne sont pas élevés et les potentialités des cultivars ne sont pas atteintes. Il faut donc optimiser l'apport de N-combiné pour améliorer la production (Ssali & Keya, 1980).

Quant à la fixation symbiotique, elle ne permet pas, en général, l'obtention de rendements élevés. Elle est insuffisante pour une production maximale des cultivars tempérés lorsqu'elle est la seule voie de la nutrition azotée (Herath & Wahab, 1979 ; Knowles, 1980). Elle est aussi inhibée par des apports d'azote combiné qui visent l'amélioration de la production (Sundstrum *et al.*, 1982). Voie gratuite de la nutrition azotée, elle constitue un retour à une agriculture moins exigeante en énergie. Elle réduit aussi la dépendance des pays en voie de développement à l'égard des importations des engrais azotés. Une analyse bibliographique approfondie montre que les deux voies de la nutrition azotée, assimilation et fixation, peuvent être complémentaires et non concurrentes si l'on utilise des doses modérées d'azote minéral au début du cycle de la plante et des quantités plus importantes mais fractionnées durant la période post-florale (Felix *et al.*, 1981 ; Franco *et al.*, 1979 ; Skiredj, 1991).

Le présent article vise à exploiter cette complémentarité de ces deux voies de nutrition azotée en conditions marocaines, et à justifier

l'intérêt de la fixation symbiotique dans l'alimentation azotée du haricot vert.

MATÉRIEL ET MÉTHODES:

Les essais ont été installés à l'unité de production de la SODEA à Témara. Le sol, de texture limoneuse, était assez fertile (2,6% MO ; 167 ppm P₂O₅ et 95 ppm K₂O), à pH légèrement alcalin (7,4) sans risque de salinité (0,4 mS/cm).

L'eau d'irrigation n'a présenté aucun risque pour les plantes (pH 7 ; EC 1 mS/cm). Les conditions climatiques ont été favorables à la culture qui a été conduite sous abri plastique (Tableau 1).

Le précédent cultural, tomate, a occupé les tunnels de juillet à décembre 1987 et de juillet 1988 à janvier 1989. Le haricot vert a été mis en place sous ces abris plastiques de janvier 1988 ou février 1989 à juin.

Le sol a été labouré, nivelé et enrichi en fumure phospho-potassique de fond une semaine avant le semis (80 unités de P₂O₅ sous forme de supertriple et 150 unités de K₂O sous forme de sulfate de potasse).

Tableau 1. Températures ambiantes enregistrées en périodes des essais

Mois de culture	Année	T°C moyenne du mois		
		mini	max	moy
Janvier	1988	6,5	18,1	12,3
	1989	8,6	18,4	13,5
Février	1988	8,4	18,5	13,4
	1989	8,5	18,2	13,3
Mars	1988	7,6	21,3	14,4
	1989	9,6	19,9	14,8
Avril	1988	9,5	22,5	16,0
	1989	10,2	20,3	15,2
Mai	1988	11,8	23,6	17,7
	1989	12,9	23,8	18,3
Juin	1988	16,3	24,0	20,2
	1989	16,8	24,6	20,7

Les semences ont été enduites, juste avant le semis, d'un inoculum solide (à base de tourbe), mélangé à un adhésif (eau sucrée). La concentration finale du Rhizobium a été de l'ordre de 10⁹ bactéries par

graine. Au niveau des pots destinés à l'estimation de la fixation par les souches indigènes, l'inoculation a été réalisée en arrosant les plantes par un jus de sol (sol/eau ; 1/2 V/V). Les graines des pots témoins n'ont pas été inoculées. La densité moyenne des plantes après la levée a été de 9 pieds au m².

L'entretien de la culture a été assuré par plus de 120 interventions durant le cycle de la plante : binage, buttage, palissage, fertilisation de couverture (50 unités K₂O à l'apparition de la 1ère fleur et apports d'azote selon les traitements), irrigation localisée (Tableau 2) et traitements phytosanitaires (prévention contre les maladies cryptogamiques, la mouche du haricot et l'araignée rouge). Les pesticides utilisés ont été efficaces et n'ont laissé apparaître aucune anomalie sur les plantes.

Tableau 2. Apports d'eau aux cultures (Irrigation au goutte-à-goutte)

Essais	Phases du cycle	Phase (j)	Irrigations	
			*	**
1988	semis-1ère fleur	52	25	50
	1ère fleur-1ère cueillette	18	12	40
	1ère - fin cueillettes	60	23	110
1989	semis-1ère fleur	44	22	45
	1ère fleur-1ère cueillette	15	10	35
	1ère - fin cueillettes	53	27	120

* nombre

** mm d'eau

Les dispositifs expérimentaux et les traitements étudiés figurent dans les tableaux 3 et 4. Pour les mesures de nodulation, de biomasse et des teneurs azotées, 4 paires de plantes ont été prélevées au hasard, munies des mottes de sol (une paire par répétition et par traitement).

Les racines ont été lavées soigneusement pour sauvegarder les nodosités qui ont été détachées, comptées et pesées à sec (48 heures à l'étuve à 70°C). Les biomasses non commercialisables (BNC) et utiles (récoltes) ont aussi été mesurées au sein de chaque répétition en frais (cueillettes) ou en sec (BNC et échantillons de fruits). En vue de déterminer les teneurs en N-total des gousses et des plantes entières (égoussées), les tissus foliaires secs ont été broyés et bien homogénéisés.

Des échantillons ont été analysés par la méthode Kjeldahl. Le produit de cette teneur par la biomasse d'un organe de la plante a donné la composition azotée de cet organe.

Tableau 3. Dispositifs expérimentaux de 1988

Essais	Dispositifs expérimentaux	Traitements
Doses d'azote	Blocs aléatoires complets (BAC) ; chaque bloc est répété 4 fois	• 0 N=témoins ; sans N •10 N=10 unités N, apportées (10 JAL).
	Parcelle élémentaire:50 m ² (450 plantes). Variété:Cristal. 1 facteur étudié,avec 5 niveaux:0,10,60,120 et 160 unités d'azote engrais azoté=ammonitrate	•60 N=10, 30 et 20 UN aux stades respectifs levée, 38 et 60 JAL •120 N=10,30,40,40 UN aux stades:levée, 38, 60 et 70 JAL •160 N=idem 120 UN + 40 UN au stade 80JAL
variétés X inoculation	Blocs aléatoires complets Chaque bloc est répété 4 fois	•D+ = Diamant inoculé •D- = Diamant non inoculé
	Parcelle élémentaire:50 m ² Même mode d'apport N qu'en essai "doses d'azote"(60UN) 1 facteur étudié,avec 4 niveaux:D+,D-,C+ et C-.	•C+ = Cristal inoculé •C- = Cristal non inoculé

Tableau 4. Dispositifs expérimentaux de 1989

Essais	Dispositifs expérimentaux	Traitements
Pots(1)	Blocs aléatoires complets pour chaque cultivar à part 4 blocs par cultivar	•57=inocul.* par CIAT57 •57+SI=inocul. par CIAT 57+SI(souches indigènes)
	1 facteur à 4 niveaux: (57) ; (57+SI) ; (SI) et Témoins 3 cultivars:Cristal, Diamant et Fortex	•SI=inocul. par SI seules •Témoins= pas d'inoculation ; sol stérilisé
Pleine terre(2)	Blocs aléatoires complets 4 blocs par cultivar	•D(57+SI)=Diamant inoculé par CIAT57+SI
	1 facteur à 2 niveaux: CV(SI) et CV(57+SI) 3 cultivars (CV): Cristal, Diamant et Fortex	•D(SI)=Diamant inoculé par SI •Idem pour Cristal(C) et pour Fortex(F)

* inocul. : inoculation

(1) = 5 pots par m² ; 2 plantes par pot ; apport de 60 unités N en 3 reprises: 10, 30 et 20 unités N respectivement aux stades:10, 60 et 80 JAL

(2) = 5 poquets de 2 plantes par m² ; même mode de fertilisation N que (1), mais sans pots

L'azote fixé a été estimé par la méthode des différences dont le principe est l'utilisation de plantes non fixatrices (PNF), d'une même variété (plantes en pots, à sol stérilisé, sans inoculation et sans nodulation), conduites de la même manière que les plantes fixatrices à tester (PF). La différence des compositions azotées des plantes (PF - PNF) estime la quantité de l'azote fixé par les plantes (Rushel *et al.*, 1982 ; Williams *et al.*, 1977).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

• Biomasse non commercialisable (BCN)

Il n'y a eu aucun effet d'inoculation sur la BNC. La présence de souches indigènes (SI) dans le sol en pleine terre ou leur utilisation comme inoculum en pots a été suffisante pour la production d'une BNC de même niveau que celle formée en présence de CIAT 57 ou de CIAT 57 + SI (Tableau 5).

Les effets des différentes doses de N ont été significatifs en 1988. Les valeurs des BNC peuvent être réparties en 2 groupes homogènes: un groupe des témoins (0 et 10 unités d'azote) et un groupe des 3 doses (60 ; 120 et 160 unités d'azote). La dose 60 unités d'azote a été optimale.

Au stade début fructification (60 JAL, jours après levée) et à la fin du cycle (104 JAL), les BNC des plantes en pots des 2 variétés Diamant et Cristal

Tableau 5. Effets des traitements sur les biomasses et les indices de récolte (IR) des plantes

Années	TraitementBNC*Rendement cumulé*			IR (%) Fin du cycle
		60JAL	Fin du cycle	60JAL	104JAL	121JAL	
1988	D+	31.26	48.11	11 a	355 a	546 a	49.48
	C+	32.79	50.1	7 b	328 b	487 b	46.12
	D-	31.63	47.32	13 a	363 a	539 a	50.36
	C-	31.15	48.24	8 b	320 b	479 b	45.98
	MG	31.33	48.44	9.75	344.5	512.75	48.01
	%CV	15.72	10.1	15.16	12.13	13.75	-
1988	0N	27.81	38.48b	9	242.3b	293.6b	41.2
	10N	28.25	38.8b	8.57	243.1b	302.2b	41.79
	60N	30.97	46.2a	4.66	287.5a	423.2a	46.52
	120N	31.86	49.55a	5.44	302.5a	444.2a	45.44
	160N	31.67	53.83a	8.77	303.7a	445.4a	43.78
	MG	30.11	45.57	7.31	275.83	364.09	43.91
%CV	9.87	10.25	42.59	11.43	6.7	-	
1989 (1)	57	19.86	25.75	68.7a	252b	-	58.81
	57+SI	21.17	26.9	70.7a	367.5a	-	58.17
	SI	20.92	26.38	69.63a	359 b	-	59.18
	Témoin	20.42	25.07	60.95b	340.75c	-	58.76
	MG	20.6	26.03	67.49	354.81	-	58.73
	% CV	3.9	3.6	2.4	1.4	-	-
1989 (2)	57	21.42	26.8	105.75	374.75	-	61.88
	57+SI	22.3	26.9	106	375	-	61.27
	SI	22.78	27.05	110.5	383	-	62.16
	Témoin	21.45	25.92	100.05	365	-	61.05
	MG	21.99	26.67	105.5	374.44	-	61.59
	% CV	4.5	5.9	4.2	2.5	-	-
1989 (3)	C+	34.87	54.17	67.7	472.25	-	47.6
	C-	36.17	54.55	60.1	457.5	-	47.28
	MG	35.52	54.36	60.4	464.87	-	47.44
	D+	38.95	57.37	102.2	476.5	-	47.04
	D-	38.15	56.72	106.7	483.2	-	48.52
	MG	38.55	57.04	104.5	479.87	-	47.79
1989 (3)	F+	38.37	56.6	27.42	430	-	43.71
	F-	38.25	55.75	33.77	428	-	45.08
	MG	38.31	56.17	30.59	429	-	44.39

* BNC: biomasse non commercialisable (mg MS/plte) ; Rendement cumulé (g matière fraîche des gousses/plante)

MS: matière sèche. Fin du cycle: 121 JAL en 1988 et 104 JAL en 1989.

légende des traitements: voir tableaux 3 et 4. MG: moyenne générale ; % CV: coefficient de variation.

(1): pots Cristal ; (2): pots Diamant ; (3): pleine terre.

ont été similaires. En pleine terre, Diamant et Fortex ont été légèrement plus vigoureuses que Cristal. De même, les biomasses obtenues en 1989 ont été supérieures à celles obtenues en 1988. Les BNC des plantes en pots ont été plus faibles que celles des plantes de pleine terre.

La BNC des plantes en pots a représenté environ 58 % de celle des plantes de pleine terre au stade 60 JAL (1989). Cette part est devenue 47, 3 % par rapport à la moyenne des variétés au stade 104 JAL.

• Rendements en gousses filets

Dans les essais 1988, l'inoculation n'a eu aucun effet sur les rendements. Dans les essais 1989, en fin du cycle, les plus hauts rendements chez Cristal en pots ont été obtenus par l'inoculum CIAT 57 + SI. Chez Diamant, il n'y a pas eu d'effet significatif des souches de *Rhizobium* sur le rendement, mais généralement la production a été légèrement plus élevée avec SI seules qu'avec les autres souches. Au stade avancé (60JAL), les *inocula* n'ont présenté aucune différence significative entre eux. Ils ont dépassé, en général, les témoins (sans *Rhizobium*) qui ont donné les plus faibles rendements (Tableau 5).

Les effets de N ont été significatifs aux stades 104 et 121 JAL. Deux groupes de doses N ont pu être distingués: un groupe des témoins (0 et 10 unités d'azote), avec les rendements relativement faibles et un groupe des doses 60, 120 et 160 unités d'azote, avec des rendements significativement plus élevés. La dose 60 unités d'azote a été optimale, ce qui est en accord avec les résultats d'autres chercheurs (Awonaike *et al.*, 1980 ; Herath & Wahab, 1979). Cependant, la réponse par les plantes aux apports d'azote ne s'est fait sentir que tardivement dans la saison puisque jusqu'au stade 60 JAL, il n'y a pas eu de différence significative de biomasses entre les témoins (0 et 10 unités d'azote) et les autres traitements (60 ; 120 et 160 unités d'azote).

Ceci a témoigné de la fertilité élevée du terrain. En effet, le haricot vert a été mis en place après la tomate qui a été bien alimentée en azote. En général, en terrain peu fertile, la dose optimale d'azote peut atteindre 100 unités (Khachani, 1981; Decau *et al.*, 1980).

Par ailleurs, la production des plantes en pots n'a représenté que 76 à 78 % de celle des plantes de pleine terre en 1989, en fin du cycle (104 JAL). De même, la production précoce, au stade 60 JAL n'a représenté, en pleine terre, en 1988, que 11, 5 %

chez Diamant et 12 % chez Cristal de celle obtenue en 1989. Cette différence de précocité entre les deux années a probablement été due aux minima de températures, plus favorables en 1989 qu'en 1988 (Tableau 1) mais surtout au mode de fertilisation azotée, qui, supprimant l'apport précoce de N au début de la floraison (stade 38 JAL) en 1989, a bien favorisé la précocité.

En ce qui concerne le matériel végétal, Fortex devrait être écarté à cause de sa non compétitivité vis à vis de Diamant et de Cristal. Ces 2 dernières variétés ont été les mieux adaptées aux conditions des tunnels plastiques. Toutefois, Diamant a été légèrement plus précoce et plus productif que Cristal.

• Indices de récolte (IR)

En pleine terre, Diamant a présenté, en fin du cycle, des IR moyens de 47, 8 % en 1989 et de près de 50% en 1988 (Tableau 5). Cristal a présenté des IR variant de 41, 2 (1988) à 47, 4 % (1989). Fortex a eu un IR légèrement inférieur : 44, 4 %. Les plantes en pots ont présenté des IR supérieurs suite à leurs productions relativement faibles de BNC. Diamant a légèrement dépassé Cristal. Des différences variétales ont été signalées par différents chercheurs (Skiredj, 1991 ; Graham & Rosas, 1977; Chui & Nadar, 1984 ; Castineiras *et al.*, 1986).

• Physiologie de la symbiose

Nodulation

En pleine terre, en 1988 ou en 1989, CIAT 57 a amélioré la nodulation de Cristal ou de Fortex en présence de souches indigènes (SI) efficaces. Par contre, Diamant a mieux nodulé par SI seules que par CIAT 57 + SI. En pots, les différences entre les effets des *inocula* sur la nodulation n'ont pas été significatives chez Cristal quoique le maximum de tissu nodulaire ait toujours accompagné CIAT 57 + SI. Par contre, Diamant a été significativement mieux nodulé par SI seules aux stades 60 et 80 JAL. Aux autres stades de développement les *inocula* n'ont présenté aucune différence significative (Tableau 6).

La nodulation des plantes de pleine terre a dépassé celle des plantes en pots (essais 1989). De même, les plantes ont mieux nodulé en 1989 qu'en 1988. Les différences de nodulation entre les variétés, les années et selon les conditions du milieu ont été signalées par plusieurs chercheurs (Felix *et al.*, 1981; Franco *et al.*, 1979; Vencatasamy & Peerally, 1981 ; Rennie & Kemp, 1982).

Tableau 6. Effets des traitements sur la nodulation des plantes

Années	Traitement	Nombre de nodosités par plante au stade				mg MS nodosités par plante au stade			
		38JAL	60JAL	80JAL	104JAL	38JAL	60JAL	80JAL	104JAL
1988	D+	12.75b	29.25c			7.37c	37.54c		
	C+	24.25a	66.75a			10.67b	78.77a		
	D-	27.5a	41 b			19.67a	57.81b		
	C-	6 c	37.9b			1.97d	42.8c		
	MG	17.65	43.62			10	54.23		
	%CV	53.5	39.9			68.3	32.4		
1988	ON	22	56.75			12.98	64.22		
	10N	30	65.1			14.50	70		
	60N	25.5	58			12.68	63.95		
	120N	23.25	51.75			12.83	57.76		
	160N	24.5	57.75			12.15	59.79		
	MG	25.05	57.87			13.02	63.14		
	%CV	32.26	25.44			39.57	23.3		
1989(1)	57		97.25	54.5	33.25		140.5	82.75	54.25
	57+SI		100.5	67.25	33.5		145.5	93.75	55.5
	SI		92	60.25	29.5		141.25	90	48.75
	MG		96.58	60.67	32.08		142.42	88.83	52.83
	% CV		7.8	11	14.8		5.2	11.2	14.3
1989(2)	57		92.5	55.7b	28		144a	88.5	51.75
	57+SI		88.25	53.2b	29.25		127.5b	81	54.75
	SI		97.25	60.2a	31		145a	91.75	55.25
	MG		92.67	56.42	29.42		138.17	87.08	53.92
	% CV		5.4	3.7	10.2		5	6.6	8.4
1989(3)	D(57+SI)		110	128b	83.5b		159.2	189.25	125.75
	D(SI)		114.5	140a	89.5a		167	198.75	132
	MG		112.25	134	86.5		163.1	194	128.87
	C(57+SI)		100.25	136.2a	90.2a		150	198a	128a
	C(SI)		93.75	127b	82.2b		147.5	192.2b	112.2b
	MG		97	131.62	86.25		148.7	195.12	120.12
	F(57+SI)		94a	113.5a	81.5		134.5a	163a	116a
	F(SI)		82.7b	106.2b	77.75		123.2b	127.7b	104.5b
	MG		88.37	109.87	79.62		128.87	145.37	110.25

Traitements : voir tableaux 3 et 4. MG: moyenne générale ; % CV: coefficient de variation; (1): pots Cristal ; (2): pots Diamant ; (3): pleine terre
 Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents

N-tardif n'a pas inhibé la nodulation en 1988. En effet, aucune différence n'a été significative entre les traitements aux différents stades de la plante. Cependant, la nodulation a légèrement été plus élevée avec un apport de 10 unités d'azote qu'avec les autres doses ou sans apport du tout. Ce résultat a été confirmé par d'autres auteurs (Awonaike *et al.*, 1980 ; Sundstrum *et al.*, 1982 ; Ssali & Keya, 1980). Par contre, N-précoce, apporté au stade 38 JAL, en 1988, a sévèrement inhibé la nodulation pendant sa phase active (38-60 JAL). En effet, en 1989, cet apport a été supprimé et la nodulation a dépassé 167 % (en nombre) et 235% (en poids sec) de celle de 1988. La conception d'apporter l'azote de couverture à partir du stade 60 JAL (fin de la phase active de la nodulation et début d'apparition du

nouveau puits "gousses", draineur des photosynthétats) a été justifiée par les résultats satisfaisants sur la nodulation des essais menés en 1989. Afin d'améliorer la nodulation, l'apport de 10 unités d'azote, fait au stade 10 JAL, a aussi été satisfaisant.

Ainsi, le mode de fertilisation adopté en 1989 a été intéressant. On recommande un apport de 60 unités d'azote (optimum trouvé dans les essais de 1988), fractionnées en 10 ; 30 et 20 unités N, respectivement aux stades 10 ; 60 et 80 JAL. La nodulation trouvée dans les essais de 1989 a nettement été supérieure à celle trouvée en 1988, alors que les techniques d'inoculation employées ainsi que les conditions édaphiques et culturales

ont été comparables. À part les minima de température, plus favorables en 1989 qu'en 1988, seuls les moments d'apport de N ont changé. Mais en considérant que les températures moyennes des mois les plus froids (janvier, février et mars) ont été favorables pendant les 2 années (12, 3-14, 8 °C), il est logique de conclure que le mode de fertilisation adopté en 1989 a été optimal. La dose de 60 unités d'azote a aussi été trouvée optimale pour la nodulation par d'autres chercheurs (Tan *et al.*, 1984 ; Ssali & Keya, 1986).

Composition des plantes en azote

En pleine terre, la composition azotée des plantes conduites en 1988 a été plus faible que celle des plantes conduites en 1989. Le mode de fertilisation adopté en 1989 a donc été plus favorable aux exportations azotées par les plantes que celui adopté en 1988. Les plantes en pots ont exporté moins d'azote que les plantes de pleine terre. En fin de cycle, la composition azotée de Diamant a été la plus élevée. Elle a été suivie de celle de Cristal. Fortex vient en dernier (Tableau 7).

Tableau 7. Effets des traitements sur la composition azotée des plantes (mg N par plante)

Années	TraitementBiomasse non commercialisable.....			Gousses.....		Total.....	
		38JAL	60JAL	104JAL	121JAL	60JAL	104JAL	121JAL	104JAL	121JAL
1988	D+	257a	847.3		877	109.7		1425.5a		2302.5
	C+	256a	891.6		973.9	66.18		1331.1b		2305.0
	D-	279a	822.3		869.9	130.3		1415.4a		2285.2
	C-	145b	862		992.8	59.37		1284.5b		2277.3
	MG	234.2	855.8		928.4	91.51		1364.1		2295.5
	% CV	22.5	17.8		16.7	38.59		5.01		7.08
1988	ON	118.5	416.3b		488.4e	86.4a		794.8b		1285.4e
	10N	199.2	760.9b		705.7d	57.2b		850.8b		1556.5d
	60N	209.3	846.4a		902.7c	56 b		1238 a		2140.7c
	120N	212.3	891.8a		1025b	57.1b		1288.6a		2313.6b
	160N	199.7	880 a		1157.3a	63.5b		1325.5a		2482.8a
	MG	207.8	759.1		856.24	64.06		1099.55		1955.81
	%CV	63.5	14.1		12.36	36.13		4.91		8.73
1989(1)	57		618.1a	649.5b		200.9a	1136.2b			1785.7b
	57+SI		665.9a	701.3a		203.1a	1156.3b			1856.6a
	SI		655.9a	708.7a		207.5a	1189.9a			1898.6a
	Témoin		380.6b	424.9c		177.9b	1104 c			1529 c
	MG		580.14	621.13		197.17	1144.84			1767.48
	% CV		4.9	4.2		2.3	5.34			7.28
1989(2)	57		687.5a	740.3a		307.7b	1336 b			2076.4a
	57+SI		703.6a	746.4a		306 b	1307 b			2053.3a
	SI		644.8a	714.6a		319.4a	1360 a			2074.7a
	Témoin		405.5b	443.9b		289.8c	1243 c			1687.2b
	MG		610.36	661.32		305.6	1309.1			1972.91
	% CV		6.3	5.5		1.75	4.35			6.87
1989(3)	D(57+SI)		1097.2	1226.1		298.5	1569.9a			2796 b
	D(SI)		876.3	1249.1		313.8	1657.6b			2907 a
	MG		986.7	1237.5		306.1	1613.7			2851.3
	% CV		24.71	2.9						
	C(57+SI)		1081.8	1200.9		176.9	1530.4			2731.37
	C(SI)		1097.9	1202.8		176.6	1516.8			2719.63
	MG		1089.9	1201.8		176.8	1523.6			2725.5
	% CV		14.85	15.53						
	F(57+SI)		940.9	1081 b		82.4	1366.8b			2447.9
	F(SI)		867.1	1193 a		100.8	1423.1a			2616.2
MG		904	1137		91.6	1395			2532	
% CV		11.52	22.41							

Traitements: voir Tableaux 3 et 4. (1): pots Cristal ; (2): pots Diamant ; (3): pleine terre
Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents

En ce qui concerne l'effet de l'inoculation, il a été significativement favorable à la composition en azote des plantes, uniquement au stade 38 JAL, en 1988 chez Cristal. En 1989, en pots, les plantes inoculées ont été significativement plus riches en N que les plantes témoins. Chez Cristal, au stade 60 JAL, les *inocula* n'ont pas présenté de différence significative entre eux. En fin de cycle, le maximum de la composition en N des plantes a accompagné les traitements CIAT 57 + SI ou SI seules, sauf au niveau des gousses où ce maximum a été obtenu avec SI seules. Chez Diamant, les compositions en N des plantes entières ou de leurs parties non commercialisables n'ont pas présenté de différences significatives entre les *inocula*. Les gousses ont, par contre, exporté plus de N avec SI seules qu'avec les autres *inocula*.

En pleine terre, aucune différence n'a été significative entre les *inocula* chez Cristal. Par contre, chez Diamant, en fin de cycle, la plante entière a exporté plus de N avec SI seules qu'avec les autres souches de *Rhizobium*. Les gousses ont plutôt exporté le maximum de N avec l'ensemble CIAT 57 + SI. Quant à Fortex, les seules différences significatives ont concerné les exportations azotées

des plantes au niveau de leur BNC ou de leurs gousses en fin de cycle. Il y a eu une supériorité des SI seules par rapport aux autres souches de *Rhizobium*.

En ce qui concerne les effets des doses de N (1988), en fin de cycle, toutes les compositions en N des plantes des divers traitements ont été différentes. Plus la dose d'apport d'azote augmente, plus la plante contient une quantité significativement supérieure en azote. Par ailleurs, pour la BNC au stade 60 JAL et pour les gousses à la fin du cycle, les effets des deux groupes de doses d'azote (0 ; 10 unités d'azote) et (60 ; 120 ; 160 unités d'azote), ont été significatifs sur les compositions azotées des plantes. Quant à la production précoce des gousses (60 JAL), elle a été significativement réduite avec les apports d'azote, même les plus faibles. Cependant, aucune différence n'a été significative entre les traitements au stade 38 JAL.

• Fixation de l'azote atmosphérique

Les effets des *inocula* sur l'azote fixé, contenu dans les biomasses utiles et non commercialisables, ont été significatifs (Tableau 8).

Tableau 8. Quantités d'azote fixé (mg) par plante en pot

Variété	Expression	Stade (JAL)	57	57+SI	SI	MG	%CV
Cristal	BNC	60	237.49b	285.23a	285.21a	269.31	6.2
		80	236.24b	270.49a	275.65a	260.79	4.1
		104	224.59c	276.4 b	283.78a	261.59	5.3
	Gousses	60	23.01b	25.19b	29.63a	25.94	7.1
		80	19.07b	24.78b	67.52a	37.12	9.2
		104	32.14c	52.22b	85.83a	56.73	15.4
	Total	60	260.50b	310.42a	314.84a	295.25	13.4
		80	255.31c	295.27b	343.17a	297.91	13.3
		104	256.73c	328.62b	369.61a	318.32	20.7
Diamant	BNC	60	282.06a	298.13a	239.37b	273.18	3.1
		80	287.99a	284.92a	268.17b	280.36	5.2
		104	296.41a	302.44a	270.63b	289.82	5.3
Gousses	60	17.94b	16.20b	29.60a	21.20	6.4	
	80	16.70b	15.39b	60.70a	30.90	9.6	
	104	92.80b	63.70c	116.90a	91.13	16.0	
Total	60	300.00b	314.33a	268.97c	294.38	9.6	
	80	304.69b	300.31b	328.87a	311.26	14.9	
	104	389.21a	366.14b	387.53a	380.95	21.4	

Ils ont différé selon les variétés et les stades de développement des plantes. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par différents chercheurs (Rushel *et al.*, 1982 ; Graham & Rosas, 1977 ; Chui & Nadar, 1984).

Pour Cristal, l'azote fixé de la BNC a été maximal avec SI seules à tous les stades ou avec SI+CIAT57 aux stades 60 et 80 JAL. Pour Diamant, l'azote fixé contenu dans la BNC a plutôt été maximal à tous les stades de développement avec CIAT 57 seule ou avec CIAT 57 + SI. Chez les 2 variétés, au niveau des gousses, les quantités fixées d'azote par SI seules ont dépassé celles fixées par les autres *inocula*.

Au niveau de la plante entière, chez Cristal, l'azote fixé par SI seules a été le plus élevé. La fixation symbiotique ne peut donc pas être prévue par le tissu nodulaire qui a été plus élevé avec CIAT 57 + SI qu'avec SI (Tableau 6).

Chez Diamant, par contre, les maxima de la fixation et de la nodulation ont été obtenus par SI seules à la fin du cycle et au stade 80 JAL. Cependant, au stade 60 JAL, le maximum de la fixation a accompagné l'inoculum CIAT57 + SI. À la fin du cycle, CIAT 57 seule n'a pas présenté de différence significative avec SI (Tableau 8).

En ce qui concerne la répartition des quantités fixées d'azote dans les organes de la plante (Tableau 9), en fin de cycle, 82 % de l'azote fixé se sont trouvés dans la BNC chez Cristal et 18% dans ses gousses. Chez Diamant, ces chiffres ont été respectivement de 76 et de 24 %.

Les 76 à 82 % de l'azote des gousses ont alors eu une origine minérale ; un apport d'azote combiné durant la période de production a donc été justifié et a surtout été bénéfique aux gousses. Les apports tardifs de N aux stades 60 JAL (début de la senescence des nodosités) et 80 JAL (pleine production des gousses) ont amélioré les rendements et n'ont pas inhibé la fixation biologique d'azote. Un apport précoce de 10 unités d'azote au stade 10 JAL l'a plutôt favorisée. Nous recommandons alors ce mode de fertilisation pour le haricot vert sous abri plastique.

Par ailleurs, les résultats de la fixation obtenus dans notre étude sont du même ordre de grandeur que ceux d'autres chercheurs (Felix *et al.*, 1981 ; Franco *et al.*, 1979) qui ont travaillé sur des cycles relativement longs visant la production des graines.

Tableau 9. Quantités d'azote fixé (kg) par ha (moyenne générale)

Stade (JAL)	Cristal			Diamant		
	BNC	Gousses	Total	BNC	Gousses	Total
60	24.23	2.33	26.56	24.58	1.90	26.48
80	23.47	3.34	26.81	25.23	2.78	28.01
104	23.54	5.10	28.64	26.08	8.20	34.28

Traitements (57=CIAT 57 ; 57+SI=CIAT57+SI ; SI); voir Tableaux 3 et 4. MG: moyenne générale. % CV : coefficient de variation.

Dans notre cas, l'égooussage résultant des cueillettes fréquentes a allongé le cycle de la plante et a favorisé, par conséquent, la symbiose comme observé par Felix *et al.* (1981) et Graham & Rosas (1977).

CONCLUSION

La dose moyenne de 60 unités d'azote, fractionnée en 3 apports: 10, 30 et 20 unités, respectivement aux stades 10, 60 et 80 JAL a favorisé la nodulation et la fixation symbiotique du haricot vert ainsi que la production des biomasses.

La complémentarité entre les 2 voies de nutrition azotée du haricot filet a donc été obtenue grâce à ce mode de fertilisation. La fixation symbiotique favorise la formation de la BNC alors que l'assimilation de N-combiné favorise la production des gousses-filets.

La quantité moyenne fixée d'azote (28, 6 kg N/ha pour Cristal et 34, 2 kg N/ha pour Diamant, en fin de cycle) a complété les apports de N-combiné et a constitué, en conséquence, une économie d'azote, intéressante à exploiter.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Awonaike K. Q., Lea P. J., Day J. M., Roughley R. J. & Mifflin B. J. (1980) Effects of combined nitrogen on nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris*. *Expl. Agric.* 16:303-311
- Castineiras L., Rivero N. & Moreno V. (1986) Characterization of 17 bean (*Phaseolus vulgaris*L) cultivars in Cuba. *Reporte de Investigation del Institute de Investig. Fundam. en agricul. Tropic.* 28:1-14
- Chsillon S., Morot G. J. F., Salsac L., Le Saint C. & Jolivet E. (1986) Compared effects of nitrate and ammonium on growth and metabolism of french bean. *Physiol. Veg.* 24(6):679-687

- Chui J. N. & Nadar M. (1984) Evaluation of effects of Rhizobium phaseoli strains on nodulation, drying matter and grain yield of two bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties. *East-African Agri. and forest. Journal* 44:109-112
- Decau J., Bouniols A., Pujol B. & Rellier J. P. (1980) Influence de la fumure azotée et du calendrier de récolte sur la production et la teneur en nitrates des gousses vertes d'un haricot (*Phaseolus vulgaris* L., var. coco nain). *Ann. Nutr. Alim.* 34:947-954
- Ethel T. E. (1983) Nitrate uptake, assimilation and the expression of nitrate reductase activities under various forms of N- nutrition in *Phaseolus vulgaris* L. Phd. Dissert. *Abstr. inter.* B(43)11:143 p.
- Felix J. F. M., Obaton C. M., Messiaen J. & 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., Preira J. C. & Neyra C. A. (1979) Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.* 63:421-424
- Graham P. H. & Rosas J. C. (1977) Growth and development of indeterminate bush and Climbing cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. inoculated with Rhizobium. *J. Agric. Camb.* 88: 503-508
- Herath H. M. E. & Wahab M. N. J. (1979) Effect of N and plant population on growth and yield of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) var. cherokee Wax. *Tropic. Agricul.* 135:83-98
- Khachani M. (1981) *Contribution à l'étude de la réponse du haricot vert à l'inoculation.* Mémoire de 3ème cycle agro. de l'IAV Hassan II, Rabat, Maroc.
- Knowles R. (1980) Nitrogen fixation in natural plant communities soils. In F. J. Bergersen (ed.) *Methods for evaluating biological nitrogen fixation.* John Wiley and Sons, Inc. (NY):557-582
- Rennie R. J. & Kemp G. A. (1982) Dinitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* at low temperatures: interaction of temperature, growth stage and time of inoculation. *Canad. Journ. Bot.* 60:1423-1427.
- Rushel A. P., Vose P. B., Matsui E., Victoria R. K. & Tsai S. M. (1982) Field evaluation of nitrogen fixation and nitrogen utilization by Phaseolus bean varieties determined by ¹⁵N isotope dilution. *Plant and 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 d'État Ès Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 252 p.
- Srivastava H. S. & Ormrod D. P. (1986) Effects of nitrite and nitrate 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, nitrogen fixation and yield of grain legumes. II. Common bean cultivars. *E. Afr. Agric. For. J.* 45 (4):277-283.
- Ssali H. & Keya S. O. (1986) The effects of P and nitrogen fertilizer level on nodulation, growth and dinitrogen fixation of 3 bean cultivars. *Tropical Agr. (Trinidad)* 63(2):105-109.
- Sundstrom F. J., Morse R. D. & Neal J. L. (1982) Nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. grown in Minesoil as affected by soil compaction and N fertilisation. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 13(3):231-242.
- Tan J. L., Arraras E. A., Ertola R. J. (1984) Inoculation of Alubia beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with rhizobium at two sites in salta *Revista de Facultad de Agron. Univ. Nacional de Plata* 60:121-125.
- Vencatasamy D. R. & Peerally M. A. (1981) Seasonal changes in the nitrogen fixing activity of *Phaseolus vulgaris*, cultivar Long Tom. *Revue Agricole et Sucrière de l'Île de Maurice* 60(1):5-9.
- Williams W. A., Jones M. B. & Delwiche C. C. (1977) Clover nitrogen fixation measurement by total nitrogen difference and ¹⁵N. A- Values in lysimeters. *Agron. J.* 69: 1023-1024.