

Incidence des fumures sur la fixation symbiotique de l'azote par l'arachide et le niébé en zone guinéenne au Burkina Faso

B. V. BADO^{1,2}, A. BATIONO³, M. P. CESCAS⁴,
M. P. SÉDOGO⁵, F. LOMPO⁵

Résumé

Les capacités de deux légumineuses, l'arachide (*Arachis hypogea*) et le niébé (*Vigna unguiculata*), à fixer l'azote atmosphérique ont été mesurées dans une expérimentation de deux années (2000 et 2001) au champ avec différentes fumures à Farako-Bâ (Burkina Faso). Les mesures ont été effectuées avec la méthode de la dilution isotopique utilisant l'azote marqué ¹⁵N et le niébé non fixateur d'azote comme plante test. Le dispositif expérimental comportait différentes fumures à base d'engrais minéral, de phosphate naturel, de la dolomie et de fumier.

L'arachide fixait 8 à 23 kg N ha⁻¹ soit 38 à 45 % de son azote total dans l'atmosphère. Le niébé prélevait 50 à 115 kg N ha⁻¹ soit 38 à 68 % de son azote dans l'atmosphère. Sur les deux légumineuses, toutes les fumures augmentaient les rendements en graines et fanes et la fixation symbiotique de l'azote. La dolomie et le fumier augmentaient également la fixation symbiotique de l'azote. L'azote total dans la plante est lié à l'azote provenant de la fixation symbiotique par une fonction du type exponentiel.

Mots-clés : Légumineuse, engrais, azote, fixation symbiotique, Burkina Faso.

Abstract

Atmospheric biological nitrogen fixation (BNF) capacities of cowpea (*Vigna unguiculata*) and groundnut (*Arachis hypogea*) have been measured during two years (2000 to 2001) in a field experiment with deferent fertilizer treatments. The ¹⁵N isotopic dilution method with a non-fixing cowpea as test reference crop was used.

Groundnut fixed 8 to 23 kg N ha⁻¹ and the percentage of N derived from the atmosphere varied from 38 to 45 %. Cowpea fixed 50 to 115 kg N ha⁻¹ and the percentage of N derived from the atmosphere varied from 38 to 68 %. Compared to mineral NPK fertilizer alone, legumes fixed more nitrogen from the atmosphere when dolomite or manure was associated with mineral fertilizers. Significant correlation ($p < 0.05$, $R^2 = 0.94$) was observed between total N yields of legumes and total N derived from atmosphere.

Keywords: Legume, Fertilizer, Biological Nitrogen, Fixation, Burkina Faso.

¹ INERA, Centre Régional de Recherche Agronomique de Farako-Bâ, B.P. 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
Vincent.Bado@Coraf.org.

² Auteur pour correspondance : ADRAO, Station Régionale du Sahel, BP 96 Saint Louis Sénégal. E-mail: V.Bado@cgiar.org

³ The Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT, P. O. Box 30677 Nairobi, KENYA

⁴ Département des Sols et Génie Agroalimentaire (FSSA), 2219 Comtois, Université Laval Ste Foy Québec (QC) G1K 7P4 Canada.

⁵ INERA, CREAM de Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou, BURKINA FASO.

Introduction

La pauvreté originelle des sols en éléments nutritifs et la faible utilisation des engrais minéraux et organiques expliquent en partie les faibles niveaux de rendement des cultures. L'efficacité agronomique des engrais minéraux sur les rendements des cultures a été bien démontrée (PICHOT *et al.*, 1981 ; BATIONO et MOKWUNYE, 1991 ; BADO *et al.*, 1997). Cependant, ils sont faiblement utilisés sur les cultures vivrières à cause de leurs coûts élevés comparativement aux faibles revenus des producteurs. L'azote, premier facteur de croissance des végétaux, constitue avec le phosphore les deux premiers éléments limitant les rendements des cultures (BATIONO et MOKWUNYE, 1991). Avec 79 % du volume en gaz N₂, l'atmosphère constitue la principale source d'azote (HAYNES, 1986). Les cultures non fixatrices d'azote comme le sorgho, le maïs ou le cotonnier ne peuvent utiliser que l'azote du sol et des engrais. Cependant, certaines plantes légumineuses comme l'arachide et le niébé sont capables d'utiliser à la fois l'azote du sol, des engrais et celui de l'atmosphère. Certains genres bactériens vivant librement ou en symbiose avec les légumineuses sont capables de réduire l'azote moléculaire de l'atmosphère. Grâce à la symbiose entre les bactéries réductrices de l'azote atmosphérique, une grande partie des légumineuses utilise principalement l'azote provenant de l'atmosphère (PEOPLES et HERRIDGE, 1995). Les bactéries de la famille des *rhizobiacées* en général et celles du genre *Rhizobium* peuvent infester les racines des légumineuses entraînant la formation de nodules. Par ces nodules, la plante hôte (la légumineuse) offre un micro habitat exceptionnellement favorable à la bactérie tout en lui procurant des substrats carbonés provenant de la photosynthèse. En retour, la bactérie fixe l'azote atmosphérique (N₂) et le fournit à la plante hôte sous forme assimilable NH₃ (DOMMERGUES et GANRY, 1986). Les quantités d'azote fixé sont dépendantes des souches bactériennes, de l'espèce végétale et des facteurs du milieu (WANI *et al.*, 1995).

Dans les systèmes de cultures utilisant les rotations culturales comportant des légumineuses fixatrices d'azote comme l'arachide ou le niébé, l'azote fixé peut bénéficier aux plantes non fixatrices succédant aux légumineuses par le recyclage des résidus de récolte. À cause de leur capacité à utiliser l'azote de l'atmosphère, les besoins en éléments nutritifs des légumineuses sont relativement faibles par rapport aux céréales. On peut par exemple utiliser les amendements locaux comme les phosphates naturels, la dolomie ou les amendements organiques pour fertiliser les légumineuses. Ces amendements sont moins chers mais peuvent améliorer la croissance et les capacités des légumineuses à fixer l'azote de l'atmosphère. Ainsi, les légumineuses constituent une opportunité pour améliorer la nutrition azotée et la productivité des systèmes de culture.

Au Burkina Faso, quelques travaux se sont limités à démontrer les effets bénéfiques des rotations à base de légumineuse sur les rendements des cultures (STOOP et STAVEREN, 1983). On a rarement évalué les quantités d'azote fixé par les légumineuses qui peuvent être des indicateurs de leurs contributions éventuelles à l'amélioration de la fertilité des sols. Cette étude avait pour objectif d'évaluer les capacités de l'arachide et du niébé à fixer l'azote de l'air et l'incidence des engrais minéraux, les amendements organiques et agro-minéraux (phosphates naturels et dolomie) sur la fixation symbiotique de l'azote.

Matériel et méthodes

Site et matériel d'étude

L'étude a été conduite pendant deux saisons de culture des années 2000 et 2001 à Farakô Ba dans la zone Nord guinéenne à une longitude de 4° 20' ouest, une latitude de 11° 6' nord et à une altitude de 405 m. Farako-Bâ a une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 800 et 1200 mm. La durée moyenne de la saison des pluies est de 170 jours. Durant la période d'expérimentation, la pluie utile (juin à octobre) était de 1000 mm en 2000 et 650 mm en 2001 indiquant les fortes variations de la pluviométrie d'une saison à l'autre.

Les expérimentations ont été installées sur un sol ferrugineux tropical qui était laissé en jachère depuis sept années. C'est un sol légèrement acide et de texture sablo-limoneuse pauvre en azote et en phosphore (tableau I). Il est pauvre en argile et en matière organique avec comme conséquence une faible capacité d'échange cationique (CEC).

Tableau I. Principales caractéristiques physicochimiques du sol.

Argile (g kg ⁻¹)	70	Matière organique (g kg ⁻¹)	11,0
Sable (g kg ⁻¹)	740	C/N	13,7
Limon (g kg ⁻¹)	190	N total (g kg ⁻¹)	0,409
pH eau	6,5	P Bray I (g kg ⁻¹)	0,006
pH KCl	5,6	P total (g kg ⁻¹)	0,070
Carbone total (g kg ⁻¹)	6,1	K total (g kg ⁻¹)	0,531

Des variétés améliorées d'arachide (RMP 91) et de niébé (KVX-61-1) ont été utilisées. L'engrais minéral complexe NPK dosant 14-11-10-6-1 d'éléments N-P-K-S-B respectivement, l'urée (46 % N), le chlorure de potassium (47 % K), le Burkina phosphate (BF) (tableau II), le fumier (1,8 % N, 18,4 % C, 0,3 % P et 0,16 % K) et la dolomie (tableau II) ont été utilisés.

Tableau II. Compositions chimiques moyennes du Burkina phosphate et de la dolomie.

*Burkina-phosphate (teneurs en %)			
P ₂ O ₅	25,5	Al soluble HCl	3,1
K ₂ O	0,23	Fe ₂ O ₃ soluble HCl	3,4
CaO	34,5	F	2,5
MgO	0,27	Na ₂ O	0,11
SiO ₂	26,24	S	0,04
Co ₂	1,0		
Dolomie (teneurs en %)			
CaO	27	S _i O ₂	17
MgO	19	Perte au Feu	34
Al ₂ O ₃	1	Granulométrie (mm)	0,001
Fe ₂ O ₃	1		

* McClellan, G. H. and A. J. D. Notholt 1985

Méthodes d'étude

Un dispositif factoriel 2 x 6 en blocs de Fisher avec 4 répétitions a été utilisé. Les parcelles étaient disposées en split plot avec les 2 légumineuses en facteur principal et 6 traitements fumures comme second facteur. Six fumures (témoin non fertilisé, fumures minérales PK, NPK, NPK+fumier, NPK+Dolomie et NK+Phosphate naturel). Les éléments NPK étaient appliqués aux doses respectives de 14-11-10-6-1 d'éléments N-P-K-S-B sous forme d'engrais NPK. L'urée et le chlorure de potassium étaient utilisés comme source d'azote et de potassium pour la fumure NK respectivement. La dolomie et le fumier étaient appliqués respectivement aux doses de 1000 et 3000 kg ha⁻¹. Dans la fumure NK+BP, 11 kg P ha⁻¹ était également appliqué (comme dans la fumure NPK). Toutes les fumures étaient appliquées au semis.

Les parcelles principales mesuraient 12,5 m x 13 m soit 162,5 m². Les deux légumineuses ont été semées aux écartements de 0,4 m x 0,4 m. Le niébé a été démarré à 2 plants par poquet soit 125 000 plants par hectare alors que l'arachide a été semée à un plant par poquet soit 62 500 plants par hectare.

Évaluation de la fixation symbiotique de l'azote

Les quantités d'azote fixé par l'arachide et le niébé ont été mesurées en 2001 par la méthode de la dilution isotopique utilisant le ¹⁵N. La variété de niébé non fixateur d'azote, IC-1 (PEMBERTON, 1990) a été utilisée comme plante témoin pour calculer l'azote provenant de l'atmosphère. Le principe expérimental de la méthode de la dilution isotopique consiste à appliquer l'engrais marqué au ¹⁵N sur les deux plantes fixatrices et non fixatrices et à utiliser les rapports des proportions d'excès atomique en ¹⁵N des deux plantes pour calculer l'azote fixé selon l'équation (1) (FRIED et MIDDLEBOE, 1977).

$$\text{N-fixé (kg ha}^{-1}\text{)} = \left(1 - \frac{\% \text{ excès } ^{15}\text{N plante fixatrice}}{\% \text{ excès } ^{15}\text{N plante non fixatrice}}\right) \times \text{N-total (kg ha}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

L'application d'un minimum d'azote étant exigé par la méthode de la dilution isotopique, nous avons mesuré la fixation symbiotique de l'azote dans les 4 traitements apportant de l'azote (NPK, NPK+Fumier, NPK+Dolomie et NK+BP). Des microparcelles de 1,2 m x 0,8 m (soit 0,96 m²) ont été délimitées au sein des sous-parcelles dans lesquelles l'engrais marqué au ¹⁵N a été appliqué. Les parcelles étaient délimitées par des tôles enfoncées à 15 cm de profondeur dans le sol et ayant une hauteur de 45 cm au-dessus du sol pour bloquer le ruissellement des eaux afin de mieux contrôler l'application du ¹⁵N dans les micro parcelles. Le sulfate d'ammonium marqué à 10 % d'excès atomique ¹⁵N et dosant 21,2 % d'azote a été utilisé à la dose de 9,7 kg N ha⁻¹ en un seul apport quatre jours après le semis. Afin d'assurer une homogénéité d'application et un égal accès des plantes au ¹⁵N, l'engrais marqué a été dissout dans l'eau et appliqué uniformément dans chaque micro parcelle.

Les plants des micro parcelles ont été récoltés à la maturité physiologique. Seule la partie aérienne de la plante a été récoltée. Les échantillons ont été séchés d'abord à l'air pendant 8 jours et à l'étuve à 60 °C pendant 72 heures puis pesés et broyés pour le dosage de l'azote total et des excès atomiques en ¹⁵N. L'azote total et les excès atomiques en ¹⁵N des échantillons ont été déterminés par spectrométrie de masse (FRIED *et al.*, 1983) au laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche).

Résultats

Rendements

Sans apport d'engrais les rendements en fanes de l'arachide ont été faibles. Ils ont augmenté significativement de 9 à 34 % en première année et de 11 à 66 % en deuxième année avec l'apport d'engrais d'azoté (tableau III). Par rapport à la fumure PK sans azote, l'engrais minéral NPK a augmenté les rendements en fanes de l'arachide. La présence de l'azote a augmenté également les rendements en grains de l'arachide. En général, les plus grandes productions de biomasse sont obtenues lorsque l'engrais minéral est associé avec le fumier ou avec la dolomie. Hormis le témoin et la fumure PK, toutes les autres fumures augmentaient significativement les rendements en graines de l'arachide en première année. Par contre, les fumures n'ont pas eu d'effets sur les rendements graines en deuxième année.

Tableau III. Analyse statistique des effets des fumures sur les rendements (kg ha⁻¹) de l'arachide et du niébé en 2000 à Farako-Bâ sur 4 répétitions.

Année	Fumures	Arachide		Niébé	
		Graine	Fane	Graine	Fanes
Première Année (2000)	NPK recommandé	958 ^a	3153 ^a	1139 ^a	2143 ^c
	NPK+Dolomie	994 ^a	2790 ^b	1203 ^a	2930 ^b
	NPK+Fumier	889 ^a	3358 ^a	1307 ^a	3350 ^a
	NK+BP	862 ^a	2892 ^b	835 ^c	1621 ^d
	PK	622 ^b	2723 ^b	1040 ^b	1907 ^d
	Témoin	679 ^b	2502 ^b	777 ^c	1351 ^e
	Moyenne	834	2903	1050	2217
Deuxième Année (2001)	NPK recommandé	1142	3919 ^b	885 ^b	2606 ^b
	NPK+Dolomie	1188	4055 ^b	957 ^a	2982 ^a
	NPK+Fumier	963	4773 ^a	973 ^a	3345 ^a
	NK+BP	994	3186 ^c	601 ^c	1559 ^d
	PK	879	3450 ^c	821 ^b	2325 ^c
	Témoin	900	2874 ^d	407 ^d	1209 ^e
Moyenne	1011	3710	774	2338	

BP : Burkina phosphate

Les chiffres portant une même lettre dans la même colonne et pour la même année ne sont pas significativement différents au seuil de $p < 0.05$, selon le test de Fisher

Les fumures ont influencé significativement à la fois les rendements en graines et en fanes du niébé pendant les deux années de culture (tableau III). Elles ont augmenté les rendements en fanes de 29 à 148 % en première année et de 12 à 177 % en deuxième année. Comparativement au témoin, les fumures ont également influencé les rendements en graines de 8 à 68 % en

première année et de 48 à 140 % en deuxième année. Par rapport à la fumure PK sans azote, l'engrais minéral NPK a augmenté significativement les rendements en graines et en fanes du niébé durant les deux années. Cela indique que la faible dose d'azote apporté par l'engrais NPK (14 kg N ha⁻¹) était nécessaire pour le niébé. Comme pour l'arachide, les plus hauts rendements de niébé ont été obtenus lorsque la fumure minérale est associée avec le fumier ou la dolomie.

Quantification de l'azote fixé

L'arachide

L'analyse globale des résultats a montré que l'arachide a mobilisé en moyenne 31 kg N ha⁻¹ dont 14 kg N ha⁻¹ provenant de l'atmosphère soit 45 % de l'azote total dans la plante (tableau IV). Autrement dit, l'arachide aurait prélevé 17 kg N ha⁻¹ (ou 55 % de l'azote total) dans le sol. Cependant, cette quantité d'azote provenant de l'air a varié de 38 à 45 % selon les fumures utilisées. Comparativement à l'engrais minéral NPK, l'azote fixé par l'arachide était significativement plus élevé quand la fumure minérale était associée avec le fumier ou la dolomie.

Tableau IV. Azote total et pourcentage d'azote fixé par l'arachide et le niébé selon la méthode de la dilution isotopique sur trois répétitions en 2000.

	Fumures	Azote total		Azote provenant de l'atmosphère
		kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	%
Arachide	NPK	27 ^b	11 ^b	41 ^b
	NPK + Dolomite	34 ^a	15 ^a	44 ^a
	NPK + Fumier	35 ^a	16 ^a	45 ^a
	NK + Burkinaphosphate	26 ^b	10 ^b	38 ^c
	Moyenne	31	14	45
Niébé	NPK	53 ^b	20 ^b	38 ^b
	NPK + Dolomite	63 ^a	40 ^a	63 ^a
	NPK + Fumier	68 ^a	46 ^a	68 ^a
	NK + Burkinaphosphate	50 ^b	22 ^b	44 ^b
	Moyenne	58	32	55

Les chiffres portant une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de $p < 0.05$, selon le test de Fisher

Le niébé

Le niébé a mobilisé en moyenne 58 kg N ha⁻¹. Environ 32 kg ha⁻¹ de cet azote (55 %) provenait de l'atmosphère. Autrement dit le niébé a prélevé environ 26 kg N ha⁻¹ (45 %) dans le sol. Comme l'arachide, la fixation de l'azote variait avec les fumures utilisées. Elle a été relativement faible quand on utilise uniquement l'engrais minéral. Mais l'association de l'engrais avec la dolomie ou le fumier a augmenté les quantités d'azote fixé. La fumure NK+BP a amélioré la fixation symbiotique de l'azote par le niébé par rapport à la fumure NPK seule.

L'analyse globale des résultats des deux légumineuses a montré qu'il existe une relation significative de type exponentielle entre l'azote total mobilisé et l'azote provenant de l'atmosphère (figure 1). Selon cette relation, 94 % des variations de l'azote total mobilisé par la plante s'expliquent par les variations dans l'azote prélevé dans l'atmosphère. Seulement 6 % des variations des teneurs en azote proviennent des facteurs autres que la fixation symbiotique. Par cette relation, on peut estimer la fixation symbiotique de l'azote à partir de l'azote total mesuré dans la légumineuse.

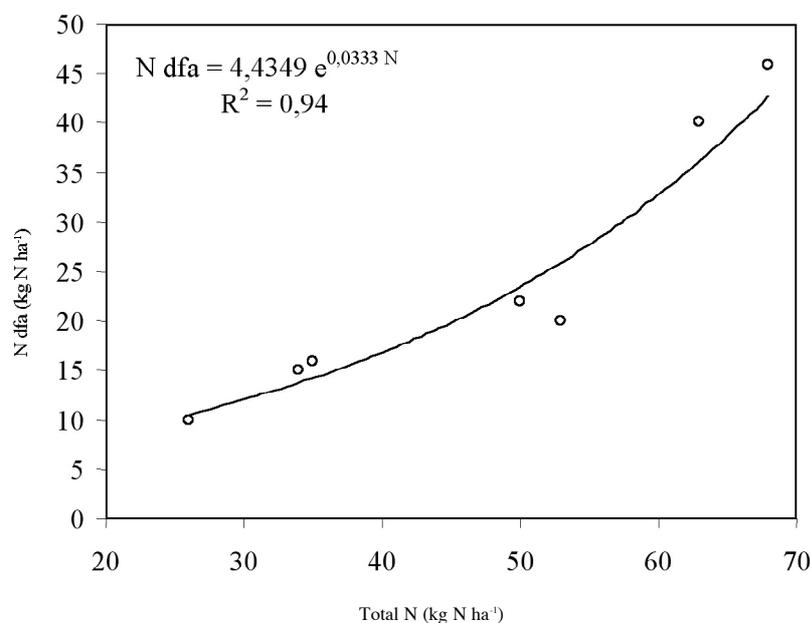


Figure 1. Relation entre l'azote total mobilisé par les légumineuses (arachide et niébé) et l'azote fixé dans l'atmosphère et calculé selon la méthode de la dilution isotopique.

* Chaque point représente la valeur moyenne de quatre chiffres.

Discussion

Les effets positifs des éléments nutritifs sur les rendements des légumineuses ont été observés dans plusieurs travaux (BATIONO et NTARE, 2000 ; BAGAYOKO *et al.*, 2000). Comme toutes les cultures, les légumineuses ont des besoins en éléments nutritifs qui, selon leur disponibilité, influencent leurs rendements. BUERKERT *et al.* (2001) ont montré que le phosphore augmentait les rendements de l'arachide de 28 à 72 %. Les amendements minéraux et organiques comme la dolomie et le fumier apportent des éléments nutritifs et neutralisent l'acidité du sol, expliquant leurs effets positifs sur les rendements des légumineuses.

L'engrais azoté est nécessaire pour améliorer les rendements des légumineuses. Conformément à nos résultats et à ceux obtenus par d'autres recherches (BATIONO et NTARE, 2000), un minimum d'engrais azoté est nécessaire dans les sols pauvres pour améliorer les rendements des légumineuses. En début de cycle, la légumineuse a certainement besoin d'un minimum d'azote, en particulier dans les sols pauvres, pour amorcer son développement. Un apport supplémentaire

d'engrais azoté peut être bénéfique pour l'initiation du processus de nodulation (DOMMERGUES *et al.*, 1999) de la plante.

En influençant les rendements des légumineuses, les éléments nutritifs influencent aussi les capacités des légumineuses à fixer l'azote atmosphérique par leurs contributions à la nutrition des rhizobia.

Sur l'arachide, nos résultats sont comparables à ceux obtenus par RUSLI *et al.* (1998) qui, en utilisant la même méthode de la dilution isotopique avec le ^{15}N sur 30 variétés d'arachide, ont trouvé que l'arachide fixait entre 5 et 61 kg N ha⁻¹ correspondant à 19 à 39% de ses besoins en azote. De nombreux travaux de recherche situent le potentiel de fixation de l'arachide entre 30 à 130 kg N ha⁻¹, correspondant à 39 à 95 % de son azote total (PEOPLES et HERRIDGE, 1990) lorsque l'arachide n'est pas inoculée avec des souches sélectionnées de rhizobiums.

Chez le niébé, nos résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs ayant utilisé la même méthode, montrant que cette plante satisfait 42 à 76 % de ses besoins à partir de l'azote de l'air (DOMMERGUES et GANRY, 1986 ; SENARATNE *et al.*, 1998).

Chez les deux légumineuses, nos résultats montrent que les éléments nutritifs apportés par les fumures influencent les capacités des légumineuses à fixer l'azote de l'atmosphère. Ils sont similaires à ceux obtenus sur les rendements en grains et en fanes des légumineuses. La croissance, la production de biomasse et les rendements sont les premiers indicateurs de l'état nutritionnel des plantes. Ce sont des indicateurs de la disponibilité des éléments nutritifs et leur utilisation par la plante. En fait, la disponibilité des éléments nutritifs et la capacité d'une légumineuse à fixer l'azote sont deux facteurs liés. Dans un sol, les rhizobia et la plante hôte disposent des éléments nutritifs qui leur sont nécessaires pour amorcer et entretenir l'activité symbiotique conduisant à la fixation de l'azote. Une déficience quelconque en éléments nutritifs peut diminuer le développement de la plante, des rhizobia et de l'activité symbiotique, conduisant ainsi à une faible fixation de l'azote. À l'inverse dans les conditions favorables d'un sol riche, la croissance de la plante et des rhizobia sera meilleure, permettant une grande fixation de l'azote. KHAN et YOSHIDA (1994) ont mis en évidence la grande variabilité dans la fixation de l'azote par l'arachide en montrant que les teneurs en éléments nutritifs faisaient varier les pourcentages d'azote fixé dans l'atmosphère de 41 à 63 %.

Le phosphore améliore en particulier la fixation symbiotique de l'azote et beaucoup de travaux indiquent que l'efficacité du phosphore sur la fixation de l'azote réside dans sa capacité à augmenter la nodulation et l'activité de la symbiose (GILLER *et al.*, 1995). Les effets positifs de la dolomie et du Burkina phosphate peuvent s'expliquer par les apports de calcium et de magnésium qui stimulent la fixation symbiotique de l'azote. Ainsi, les effets bénéfiques de la dolomie, du fumier et du phosphate naturel sont dus à leur double rôle sur la fertilité du sol en apportant à la fois des éléments nutritifs pour les rhizobia et les légumineuses.

Leurs effets remarquables sur la fixation symbiotique de l'azote méritent une attention particulière. Certains travaux ont en effet montré que les éléments P, Ca, Mg et Mo sont les principaux éléments nutritifs limitant la productivité des légumineuses dans la zone tropicale semi-aride de l'Afrique de l'Ouest (BATIONO et MOKWUNYE, 1991 ; BATIONO et NTARE, 2000). L'efficacité du chaulage sur l'amélioration de la nodulation de l'arachide a été également

observée par GILLER *et al.*, (1995). L'efficacité du fumier s'explique par son triple rôle sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, l'apport d'éléments nutritifs et l'augmentation de la disponibilité du Phosphore du sol.

L'efficacité du phosphate naturel sur la fixation symbiotique de l'azote chez le niébé peut se justifier par le phosphore et le calcium apportés. Si à dose égale de phosphore, le phosphate naturel augmente significativement la fixation symbiotique de l'azote par rapport au phosphate soluble, cela est dû probablement au rôle du calcium apporté par le phosphate naturel dans la symbiose légumineuse/rhizobium et l'efficacité des légumineuses à utiliser le phosphore des phosphates naturels (SINGH *et al.*, 1985).

Ces résultats montrent des perspectives intéressantes dans l'utilisation des systèmes de culture pour une gestion intégrée de la fertilité des sols. L'utilisation de l'arachide ou du niébé en rotation ou en association avec les cultures non fixatrices d'azote peut permettre d'améliorer la fertilité des sols, les rendements et la productivité des systèmes de culture. Dans de tels systèmes on peut fertiliser les légumineuses à faible coût en utilisant les phosphates naturels, la dolomie ou les amendements organiques qui améliorent leurs capacités à prendre plus d'azote dans l'atmosphère. Cet azote sera recyclé en partie par les résidus des légumineuses (feuilles et racines) qui peuvent être une source d'azote organique utilisable par les cultures non fixatrices succédant aux légumineuses. Par minéralisation, l'azote fixé par les légumineuses peut contribuer à améliorer la disponibilité en azote et les rendements des autres cultures du système.

Conclusion

La méthode d'étude que nous avons utilisée a permis de quantifier chez les deux légumineuses (l'arachide et le niébé) la part de l'azote provenant de l'atmosphère. Cependant, les techniques de fertilisation influencent leurs capacités à fixer l'azote qui varient de 38 à 68 % de l'azote total dans la plante en fonction des fumures utilisées. Le Burkina phosphate, la dolomie et les amendements organiques comme le fumier améliorent les rendements et la fixation symbiotique de l'azote. Ces amendements sont une opportunité pour élaborer des fumures à faibles coûts en y associant une faible quantité d'engrais azoté (14 kg N ha⁻¹) pour fertiliser l'arachide et le niébé. Une fumure NK + BP serait par exemple moins chère mais aussi efficace que la fumure NPK. Dans un système de rotations culturales ces amendements seraient probablement mieux valorisés par les légumineuses fixatrices d'azote dans la perspective d'une fertilisation intégrée des systèmes de culture. Dans les systèmes de rotation céréales / légumineuses, il serait plus indiqué et plus économique d'utiliser par exemple une fumure peu coûteuse à base de phosphate naturel sur la légumineuse. Bien fertilisée et à faible coût elle fixera plus d'azote de l'atmosphère, contribuant ainsi à enrichir le sol en azote par les résidus (feuilles et racines) partiellement recyclés.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence internationale pour l'énergie atomique (division FAO/AIEA) qui a financé cette étude, le Dr F. ZAPATA, le personnel du laboratoire de l'AIEA pour les analyses et les techniciens T. TRAORÉ et A. OUATTARA pour le traitement des échantillons.

Références citées

- BADO B. V., SEDOGO M. P., CESCAS M. P., LOMPO F., BATIONO A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*. Vol. 6 (6) : 571 – 575.
- BAGAYOKO M., BUERKERT A., LUNG G., BATIONO A., RÖMHELD V., 2000.** Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Sahelian West Africa: soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. *Plant and Soil* 218 : 103-116.
- BATIONO A., MOKWUNYE A. U., 1991.** Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa: The experience of the Sahel. In A. Mokwunye (Ed) *Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 195-215.
- BATIONO A., NTARE B. R., 2000.** Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics, West Africa. *Journal of Agricultural Sciences* 134 : 277-284.
- BUERKERT A., BATIONO A., PIEPHO H. P., 2001.** Efficient phosphorus application strategies for increase crop production in Sub-Saharan West Africa. *Field Crop Research* 72: 1-15.
- DOMMERGUES Y. R., GANRY F., 1986.** Biological nitrogen fixation and soil fertility maintenance. In A. Uzo Mokwunye and Paul L. G. Vlek (Eds) *Management of nitrogen and phosphorous fertilizers in sub-Saharan Africa*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands : 33-57.
- FRIED M., DANSO S. K. A., ZAPATA F., 1983.** The methodology of measurement of N₂ fixation by nonlegumes as inferred from field experiments with legumes. *Canadian Journal of Microbiology*. 19 : 8, 1053-1062.
- FRIED M., MIDDLEBOE V., 1977.** Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and soil* 47: 713-715.
- GILLER K. E., MCDONAGH J. F., TOOMSAN B., LIMPINUNTANA V., COOK H. F., LEE H. C., 1995.** Legumes in the cropping systems of North-East Thailand. University of London, UK. *Third International Conference on Sustainable Agriculture*, Wye College Press, Ashford. 214 p.
- HAYNES R. J., 1986.** Origin, distribution and cycling of nitrogen in terrestrial ecosystems. In: *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. R. J. Haynes ,1-15, Academic Press, Orlando.
- KHAN M. K., YOSHIDA T. 1994.** Nitrogen fixation in peanut determined by acetylene reduction method and ¹⁵N-isotope dilution technique. *Soil Science and Plant Nutrition* 40(2): 283-291.
- PEMBERTON I. J., 1990.** Inheritance of ineffective nodulation in cowpea. *Crop Science* 30 : 568-571.
- PEOPLES M. B., HERRIDGE D. F., 1995.** Nitrogen fixation by legumes in tropical agriculture. *Advances in Agronomy* 44: 155-223.
- PICHOT J., SEDOGO M. P., POULAIN J. F., 1981.** Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques. *Agronomie Tropicale* No 36(1981): 122-133.
- RUSLI I., HARUN A. R., RAHMAN K. A., SHAMSUDDIN S., RAHIM K. A., 1998.** Evaluation of yield and N₂ fixation of mutant lines of groundnut in Malaysia. In: *Improving yield and nitrogen fixation of grain legumes in the tropics and sub-tropics of Asia*. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1027. Vienna : 87-94.
- SENARATNE R., DAYATILAKE D. A., SUBASINGHE S., 1998.** Study in Sri Lanka on cowpea: N₂ fixation, growth, yield and effects on cereals. In: *Improving yield and nitrogen fixation of grain legumes in the tropics and sub-tropics of Asia*. PP: 87-94. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1027. Vienna. PP 117-129.
- SINGH L., ADEOYE K. B., BALASUBRAMANIAN D. V., 1985.** Crop response to lime and tillage depth in an acid soil at Kano. *Samaru Journal of Agricultural Research* 3 (1-2): 87-94.
- STOOP W. A., STAVEREN J. P. V., 1983.** Effects of cowpea in cereal rotations on subsequent crop yields under semi-arid conditions in Upper-Volta. In P.C. Graham & S.C. Harris (Eds) *Biological Nitrogen Fixation Technology for Tropical Agriculture*, Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- WANI S. P., RUPELA O. P., LEE K. K., 1995.** Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil* 174: 29-49.