



Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel

Hamidou ZEINABOU^{1*}, Sabiou MAHAMANE¹, Nacro Hassan BISMARCK²,
Boubié Vincent BADO³, François LOMPO⁴ et André BATIONO⁵

¹Institut National de la Recherche Agronomique du Niger BP 429 Niamey, Niger.

²Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol, 01 BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles,

Station de Farakô-Ba BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

⁴Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

⁵TSBF/ CIAT c/o ICRAF, P. O. Box 30677, Nairobi, Kenya.

*Auteur correspondant, E-mail: zeinabou_h@yahoo.fr; Tel: +227 96 98 64 73

RESUME

Peu de données existent sur la contribution en azote des légumineuses, et leurs impacts en présence des fumures sur la nutrition azotée des céréales. Ainsi, pour évaluer les effets du niébé et des fumures organo-minérales sur la nutrition azotée et les rendements du mil subséquent, une expérimentation a été conduite de 2008 à 2009 à Sadoré au Niger. Dans un dispositif en split-plot, trois doses de résidus, de fumier et d'engrais minéraux ont été appliquées dans une rotation niébé-mil. La méthode isotopique de ¹⁵N a été utilisée pour déterminer le coefficient réel d'utilisation d'engrais azoté (CRU). En présence de résidus, le CRU a varié de 16 à 23%. Les doses du fumier ont entraîné sa variation de 16 à 22%. Le CRU du mil subséquent était de 30% contre 22% pour le mil en monoculture. Le mil subséquent a prélevé du sol 54 kg N ha⁻¹ contre 38 kg N ha⁻¹ pour le mil en continu. Les doses des fumures et leur combinaison dans les systèmes de culture, ont augmenté les rendements du mil de 17 à 272%. La nutrition azotée et la productivité des systèmes peuvent donc être améliorées en combinant les fumures organo-minérales et les rotations avec légumineuses.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Céréale, légumineuse, rotation, azote, dilution isotopique, Niger.

INTRODUCTION

L'agriculture des pays sahéliens est caractérisée par sa faible productivité. Dans les zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, les faibles rendements des cultures sont souvent expliqués par les conditions pluviométriques défavorables, la très pauvre

fertilité des sols et la faible utilisation des engrais (FAO, 2003). Du fait de la forte pression démographique, les jachères de longue durée sont moins pratiquées, et l'on assiste à l'utilisation anarchique des terres marginales, impropres à l'agriculture, et dans un mode d'exploitation minière généralisée.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.24>

En effet, dans l'agriculture de subsistance des pays sahéliens comme le Niger, les engrais sont très peu utilisés surtout à cause de leurs coûts élevés par rapport aux faibles revenus des producteurs. L'Afrique au sud du Sahara présente le plus faible taux d'utilisation des engrais minéraux (Autfray et al., 2012 ; Bationo et al., 2012) avec en moyenne 10 kg ha⁻¹ de fertilisants. Le Niger est l'un des pays Sahéliens qui utilise le moins d'engrais minéraux, avec seulement environ 4 kg ha⁻¹ (Pandey et al., 2001). Pourtant, de nombreuses études dans la région ont montré l'importance de l'amélioration de la fertilité des sols pour accroître la production agricole (Bationo et al., 2002 ; FAO, 2003 ; Van Raij et al., 2009 ; Fening et al., 2011 ; Kiba, 2012). L'efficacité des engrais minéraux n'est plus à démontrer, mais de nos jours, il n'est plus question de les tester seuls car de nombreuses études ont démontré leurs effets négatifs à long terme sur la dégradation chimique des sols, entraînant de ce fait une réduction de rendement (Koulibaly et al., 2010; Bationo et al., 2012).

Pour une gestion durable de la fertilité des sols, il est nécessaire de combiner les engrais minéraux, la fumure organique et les systèmes de culture. Les fumures organiques présentent des effets très bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Vanlauwe et Giller, 2006 ; Lompo et al., 2006).

Dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'ouest, les fumures organiques les plus utilisées sont les résidus de culture et le fumier de ferme. Leur application permet d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Bationo et al., 2012 ; Matlas et al., 2012 ; Ouédraogo et al., 2004). Par ailleurs, par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce au processus de la fixation symbiotique, les légumineuses peuvent améliorer le bilan de l'azote dans les systèmes de culture et augmenter le rendement des céréales subséquentes

(Subbarao et al., 2000; Bationo et al., 2002; Bado, 2002; Bado et al., 2006 ; Guillaume et al., 2011 ; Bado et al., 2012). Mais peu de travaux ont été effectués sur les rôles des légumineuses sur la fertilité du sol au Niger; la plupart des études se sont très souvent limitées à montrer les effets bénéfiques des systèmes de culture à base des légumineuses sur les rendements des cultures. Peu de données existent sur la contribution en azote des légumineuses dans les systèmes de culture, et leurs impacts en présence de fumures organiques sur la nutrition azotée. Ces données sont pourtant très utiles pour développer des technologies améliorées de gestion durable de fertilité des sols, permettant d'améliorer la productivité des systèmes traditionnels. L'azote fixé, et les contributions en azote des légumineuses et des fumures peuvent en effet être mesurés par les méthodes isotopiques utilisant l'isotope ¹⁵N (AIEA, 2001; Bado, 2002)

Cette étude est conduite selon l'hypothèse qu'une gestion intégrée des fumures minérales et organiques, associée au potentiel de fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses, permet d'améliorer la nutrition azotée et les rendements de la céréale et la fertilité du sol. Dans cette étude il était question d'évaluer la contribution du niébé et des fumures sur la nutrition azotée du mil ; de déterminer l'impact de la fixation symbiotique de l'azote sur la fertilité du sol ; et d'identifier les stratégies de gestion durable permettant d'améliorer les rendements des cultures et la fertilité des sols.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

Les expérimentations agronomiques se sont déroulées à la station de recherche agronomique du Centre Sahélien de Sadoré de l'Institut International de Recherche sur les Cultures dans les Tropiques Semi-Aride (ICRISAT). Le centre de Sadoré est localisé dans la région Ouest du Niger (Latitude :

13°15'N ; longitude 2°18' E ; altitude 240 m), à 45 km au sud de Niamey la capitale, dans le département de Say. La saison des pluies s'étale de Mai à Octobre, avec de grandes variations de précipitations, y compris au cours des années de l'expérimentation (Tableau 1). Le sol de Sadoré appartient à la classe des Sols ferrugineux tropicaux lessivés ; il est sableux, pauvre en éléments nutritifs, et présente les caractéristiques chimiques et physiques suivantes : pH-H₂O : 5,3 ; pH-KCl : 4,5 ; P-Bray (mg kg⁻¹) : 2,8 ; C.Org (mg kg⁻¹) : 2000 ; Total-N(mg kg⁻¹) : 200 ; Total-P(mg kg⁻¹) : 61 ; CEC-Ag (cmol+ kg⁻¹) : 1,1 ; Sable (g kg⁻¹) : 938 ; Limon (g kg⁻¹) : 33 ; Argile (g kg⁻¹) : 29.

Dispositif expérimental

Les expérimentations ont été réalisées sur un essai de longue durée installé depuis 1994 pour suivre dans un premier temps «l'Interaction matière organique engrais minéraux sur la production du mil» ; les systèmes de culture ont été introduits par la suite en 1997.

Le dispositif expérimental est alors un split-plot en trois répétitions avec 27 parcelles principales (10 m x 20 m) chacune subdivisée en 4 parcelles secondaires (5 m x10 m) correspondant au système de culture. Les parcelles principales correspondent à la combinaison de 3 doses de résidu de récolte, 3 doses d'engrais et 3 doses de fumier. Les traitements suivants ont été appliqués chaque année : Résidu de tige de mil (kg ha⁻¹) (R0=300, R1=900, R2=2700) ; Engrais (kg ha⁻¹) ((E0=0 N; 0 P) ; (E1=15 N; 4,4 P) ; (E2=45 N; 13,2 P)) ; Fumier (kg ha⁻¹) (F0 = 300; F1= 900; F2 = 2700). Le système de culture utilisé est: Mil pur, Mil en rotation avec Niébé, Association Mil – Niébé, et Niébé en rotation avec Mil. La présente étude a été conduite de 2008 à 2009 avec application de l'engrais azoté marqué en ¹⁵N.

Evaluation de la contribution des fumures organo-minérales et du niébé dans la nutrition azotée du mil

La contribution des fumures organo-minérales et du niébé dans la nutrition azotée du mil a été évaluée en appliquant l'urée marquée ¹⁵N sur les traitements suivants:

- R0E2F0 ; (300 kg ha⁻¹ de tiges de mil + 45 N et 13,2 P + 300 kg ha⁻¹ de fumier) ;
- R1E2F0 ; (900 kg ha⁻¹ de tiges de mil + 45 N et 13,2 P + 300 kg ha⁻¹ de fumier) ;
- R2E2F0 ; (2700 kg ha⁻¹ de tiges de mil + 45 N et 13,2 P + 300 kg ha⁻¹ de fumier);
- R0E2F1 ; (300 kg ha⁻¹ de tiges de mil + 45 N et 13,2 P + 900 kg ha⁻¹ de fumier) ;
- R0E2F2. (300 kg ha⁻¹ de tiges de mil + 45 N et 13,2 P + 2700 kg ha⁻¹ de fumier).

L'engrais phosphaté, le Super Simple Phosphate (18% P₂O₅), les résidus de tige de mil et le fumier ont été apportés à la volée, puis incorporés avant le semis. Le mil (*Penisetum glaucum*) variété local Sadoré, a été semé à la densité de 1m x1m soit 10000 poquets à l'hectare. L'urée marquée ¹⁵N à 10% d'excès atomique au taux de 22,5 N kg ha⁻¹ a été apportée lors du premier sarclage, 21 jours après le semis. L'engrais marqué a été appliqué sous forme de solution sur 4 poquets des micros – parcelles qui sont délimitées par des tôles. Les poquets centraux ont été récoltés à la maturité physiologique. 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 de ¹⁵N. L'analyse isotopique des échantillons de plantes a été effectuée par le Laboratoire de Chimie Physique Appliquée de l'Université de Gand en Belgique la première année et au Laboratoire de Seibersdorf de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique en deuxième année. La quantification de l'azote issu du fertilisant a été mesurée sur la base de la méthode de dilution isotopique à partir du Ndff (la fraction de N qui provient de

l'engrais), et du taux de l'engrais azoté appliqué selon l'équation suivante (AIEA, 2001):

Utilisation du fertilisant N% = $[\text{N récolté venant du fertilisant (kg ha}^{-1})/\text{N apporté par le fertilisant (kg ha}^{-1})] \times 100$

Analyse statistiques

Les effets des doses des fumures organo-minérales, de la rotation et de leur combinaison sur les rendements du mil, les taux de prélèvement, et le recouvrement de N, ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat version Discovery 4. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Duncan au seuil de 5%.

RESULTATS

Les rendements du mil

Effet des doses et des combinaisons des fumures organo-minérales sur les rendements du mil

Les doses des fumures ont eu un effet très significatif ($P < 0.01$) sur les rendements en grain du mil (Tableau 2), indiquant ainsi que, tout comme les engrais minéraux, les doses de résidus de récolte et du fumier permettent d'accroître significativement les rendements du mil. En fonction des doses, l'accroissement du rendement en grain a varié de 5 à 36%, 11 à 25% et 49 à 87% respectivement pour les résidus de récolte, le fumier et les engrais minéraux. Le Tableau 3 présente l'influence de la combinaison des doses des fumures organo-minérales sur les rendements en grain du mil. Certes, l'analyse statistique n'a pas indiqué de différence significative au niveau des interactions matière organique et engrais minéraux qui évoluent d'ailleurs dans le même le sens, mais des accroissements importants ont été observés. Les résultats de 2008 et 2009 (Tableau 3) indiquent que la combinaison de résidus (2700 kg ha^{-1}) et de fumier (2700 kg ha^{-1}) a induit un accroissement de rendement

de 49 à 54% ; celui-ci est toutefois moindre que celui obtenu avec la combinaison de résidus et de fumier avec l'engrais minéral (45N ; 13,2). Par rapport au témoin, les combinaisons résidu-engrais et fumier-engrais ont conduit respectivement à un accroissement des rendements en grain de 103 à 115% et de 100 à 112%. L'effet de la triple combinaison (résidus + fumier + engrais minéral) a permis d'obtenir un accroissement du rendement en grain beaucoup plus intéressant de 134 à 181%.

Effets combinés de la rotation et des fumures

Le Tableau 4 présente les effets de la rotation associée aux différentes fumures sur les rendements en grain du mil. L'influence de la rotation sur les fumures s'était traduite par une augmentation importante des rendements en grain de 3 à 114%. Les effets de la combinaison matière organique et engrais minéraux associée à la rotation, sont présentés dans le Tableau 5. La combinaison R2E2F2, associée à la rotation, a induit une augmentation du rendement en grain de 214 à 272%, soit plus de 3,5 fois les rendements de la monoculture du mil du système traditionnel.

Contribution des fumures organo-minérales et du niébé à la nutrition azotée du mil

Le coefficient réel d'utilisation de l'engrais azoté par le mil a été évalué par la méthode isotopique en utilisant l'urée marquée (^{15}N) sur le traitement (E2= 45N ; 13,2 P) en présence de différentes doses de résidus et de fumier. Les doses de résidus et de fumier n'ont pas eu un effet significatif sur le coefficient d'utilisation de l'engrais azoté (Tableau 6). Le coefficient réel d'utilisation de l'urée par le mil en présence des doses de résidus de récolte et du fumier a varié respectivement de 15,47 à 22,5%, et de 16,22 à 22,23%. Cependant, les systèmes de culture ont eu un impact sur l'utilisation de l'azote

par le mil. Le précédent niébé a influencé de manière significative l'utilisation de l'azote par le mil (Tableau 6). Le taux de prélèvement de l'azote a atteint 60 kg N ha⁻¹ pour le mil en rotation avec le niébé, alors qu'il était de 43 kg N ha⁻¹ pour la monoculture du mil. Dans le même temps, le CRU a varié de

30% pour le mil en rotation, à 22% pour la culture continue du mil. La rotation avec le niébé a également significativement amélioré le taux de prélèvement de l'azote du sol ; ainsi, le mil en rotation a prélevé 54 kg N ha⁻¹ du sol, contre 39 kg N ha⁻¹ pour le mil en monoculture.

Tableau 1: Pluviosité à Sadoré durant la période d'étude 2008-2009.

Années	Mois							Total
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	
2008		22	72	159	164	45	18	481
2009	3	19	60	142	202	67	22	516

Tableau 2 : Effet des doses des fumures sur le rendement (kg ha⁻¹) du mil à Sadoré.

Année	2008		2009		
	Doses résidu	Grain	Indice (%)	Grain	Indice (%)
	300 kg ha ⁻¹	678 ^c	100	844 ^b	100
	900 kg ha ⁻¹	769 ^b	117	890 ^b	105
	2700 kg ha ⁻¹	921 ^a	136	1071 ^a	127
	Doses	***		***	
Doses Engrais					
	0N 0P	593 ^b	100	656 ^c	100
	15N 4.4P	886 ^a	149	1013 ^b	154
	45N 13.2P	890 ^a	150	1136 ^a	179
	Doses	***		***	
Doses Fumier					
	300 kg ha ⁻¹	705 ^c	100	840 ^c	100
	900 kg ha ⁻¹	781 ^b	111	933 ^b	111
	2700 kg ha ⁻¹	883 ^a	125	1032 ^a	123
	Doses	***		***	

*, **, *** significatif au seuil de probabilité de < 0,05; < 0,01; < 0,001 ; ns non significatif (0,05).

Les chiffres suivis de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de p = 0.05 selon le test de Duncan.

Tableau 3 : Effet de la combinaison des fumures sur rendement du mil à Sadoré.

Années	2008		2009	
	grains (kg ha ⁻¹)	Indice (%)	grains (kg ha ⁻¹)	indice (%)
R0 E0	485	100	576	100
R2 E2	986	203	1237	215
R0 F0	634	100	759	100
R2 F2	979	154	1129	149
E0 F0	472	100	577	100
E2 F2	945	200	1222	212
R0 E0 F0	426	100	453	100
R2 E2 F2	997	234	1275	281

R0 E0 : 300 kg de résidu ha⁻¹ + 0N et 0P ha⁻¹

R2 E2 : 2700 kg de résidu ha⁻¹ + 45N et 13.2 P ha⁻¹

R0 F0 : 300 kg de résidu ha⁻¹ + 300kg de fumier ha⁻¹

R2 F2 : 2700 kg de résidu ha⁻¹ + 2700 kg de fumier ha⁻¹

E0 F0 : 0N et 0P ha⁻¹ + 300 kg de fumier ha⁻¹

E2 F2 : 45N et 13.2 P ha⁻¹ + 2700 kg de fumier ha⁻¹

R0 E0 F0 : 300 kg de résidu + 0N et 0P + 300kg de fumier ha⁻¹

R2 E2 F2 : 2700 kg de résidu + 45 N et 13.2 P + 2700 kg de fumier ha⁻¹

Tableau 4 : Influence de la rotation et des fumures sur les rendements du mil à Sadoré.

Année	Traitements	Culture	2008		2009	
			Grains (kg ha ⁻¹)	Indice (%)	Grains (kg ha ⁻¹)	Indice (%)
R0 x culture	Continu		611		890	
	Rotation		861	141 a	918	103 a
R2 x Culture	Continu		857	129 b	1079	112 b
	Rotation		1105	181 c	1208	136 c
E0 x culture	Continu		510		667	
	Rotation		758	149 a	768	115 a
E2 x culture	Continu		840	130 b	1131	110 b
	Rotation		1092	214 c	1243	186 c
F0 x culture	Continu		667		854	
	Rotation		873	131 a	913	107 a
F2 x culture	Continu		795	138 b	992	117 b
	Rotation		1097	164 c	1164	136 c

a = effet de la rotation par rapport à la première dose des traitements,

b = effet de la rotation par rapport à la troisième dose des traitements ;

c = effet de la troisième dose et de la rotation par rapport a la première dose des traitements

Tableau 5 : Influence de la rotation et de la combinaison des fumures sur rendement du mil à Sadoré.

Année		2008		2009	
Traitements	culture	Grains (kg ha ⁻¹)	Indice (%)	Grains (kg ha ⁻¹)	Indice (%)
R0 E0	Continu	400		608	
	Rotation	647	162 a	662	109 a
R2 x E 2	Continu	930	124 b	1276	100 b
	Rotation	1157	289 c	1272	209 c
R0 x F0	Continu	560		730	
	Rotation	781	139 a	768	105 a
R2 x F2	Continu	853	139 b	1128	113 b
	Rotation	1185	212 c	1270	174 c
E0 x F0	Continu	424		594	
	Rotation	601	142 a	641	108 a
E2 x F2	Continu	847	134 b	1171	117 b
	Rotation	1136	268 c	1370	231 c
R0 x E0 x F0	Continu	370		357	
	Rotation	470	127 a	457	128 a
R2 x E2 x F2	Continu	832	140 b	1252	106 b
	Rotation	1161	314 c	1327	372 c

a = effet de la rotation par rapport à la première dose des traitements; b = effet de la rotation par rapport à la troisième dose des traitements; c = effet de la troisième dose et de la rotation par rapport à la première dose des traitements.

Tableau 6 : Prélèvement et recouvrement de N par le mil à Sadoré.

Dose	N -total	Ndff	Ndfs	CRU
Résidu (kg ha ⁻¹)	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
300	41,64b	4,65	36,99b	20,67
900	43,50b	5,00	38,43b	22,50
2700	52,61a	5,23	48,25a	22,53
Doses	***		***	
Fumier (kg ha ⁻¹)				
300	41,60	4,58	36,95	20,33
900	44,15	4,65	39,57	20,65
2700	47,02	5,00	42,01	22,23
Doses	*		*	
Type de culture				
Pure	43,53b	2,39b	38,57b	22,05b
Rotation	60,33a	4,96a	53,67a	29,64a
Culture	***		***	***

Ndff = quantité de N provenant de l'engrais, Ndfs = quantité de N provenant du sol, CRU = coefficient réel de l'utilisation de N par la plante ; *, **, *** significatif au seuil de probabilité de < 0,05; < 0,01; < 0,001 ; ns non significatif (0,05). Les chiffres suivis de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de p = 0.05, selon le test de Duncan.

DISCUSSION

Les rendements du mil

Effet des doses et des combinaisons des fumures organiques et minérales sur les rendements du mil

L'application des doses de résidu de culture a augmenté significativement les rendements du mil. Des résultats similaires ont été obtenus par Bationo et al. (2001). Buerkert et al. (2000) ont estimé l'augmentation de la matière sèche totale à plus de 73% pour le Sahel. Ces auteurs ont attribué l'augmentation du rendement du mil suite à l'apport de résidu de récolte, à une amélioration de la nutrition en P, qui se fait à la fois par un accroissement de la disponibilité en phosphore suite à une chélation de l'Al et du Fe, et à une stimulation de la croissance des racines. L'apport de résidus de récolte permet de réduire l'Al échangeable, d'améliorer la saturation en base et la capacité d'échange cationique (CEC) du sol, et de maintenir le niveau de carbone du sol. Il a été aussi mentionné, une meilleure pénétration des racines, une augmentation de l'humidité du sol et une amélioration de l'activité biologique du sol suite à l'application de résidu (Bationo et al., 2001). L'apport des doses du fumier a également conduit à un accroissement significatif des rendements du mil. L'amélioration des rendements des céréales par l'application du fumier a également été rapporté par plusieurs études (Ding et al., 2010 ; Bationo et al., 2012 ; Kiba, 2012 ; Gomgnimbou et al., 2014), il a été rapporté qu'un apport de 5t ha⁻¹ de fumier a permis de doubler le rendement du mil. Il a été souligné que l'apport du fumier joue un rôle très important sur le recyclage des éléments nutritifs, la fertilité du sol, et l'amélioration de la production agricole. En neutralisant la faible acidité des sols et en

apportant des éléments nutritifs aux plantes, le fumier améliore la nutrition minérale entraînant une augmentation des rendements des cultures (Pallo et al., 2006 ; Ouattara, 2009).

Les doses d'engrais minéraux ont, comme il fallait s'y attendre, également eu un effet significatif sur les rendements en grain du mil. En général, les engrais minéraux produisent un effet spectaculaire sur les rendements du mil. De nos jours, il n'est plus utile de tester l'efficacité agronomique des engrais minéraux utilisés seuls car de nombreuses études ont montré leur effet positif à court terme, mais également leur effet négatif à long terme sur la dégradation chimique des sols (baisse du pH et augmentation d'Al échangeable notamment) entraînant de ce fait une réduction de rendement (Bado, 2002 ; Mills et al., 2003). Compte tenu des effets limités des fumures organiques et minérales prises séparément, il est mieux indiqué de procéder à leur combinaison en vue d'accroître durablement la production agricole. Les interactions entre engrais minéraux et matière organique observées ici, n'étaient pas statistiquement significatives, indiquant que ces facteurs influencent de la même façon les rendements. On note néanmoins, une augmentation importante des rendements avec ces combinaisons. Un accroissement de rendement de l'ordre 49 à 54% a été obtenu avec la combinaison de résidus (2700 kg ha⁻¹) et de fumier (2700 kg ha⁻¹); mais cet accroissement était moins important que celui obtenu avec la combinaison de résidus ou de fumier avec l'engrais minéral (45 N ; 13,2 P). Les augmentations des rendements en grain des combinaisons résidu-engrais et fumier-engrais, étaient respectivement de 103 à 115%, et de 100 à 112%. L'effet de la triple

combinaison de ces fumures (résidus + fumier + engrais minéral), était encore plus consistant : de l'ordre de 134 à 181%. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Bationo et al. (2004), Achieng et al. (2010), Fening et al. (2011), et Bationo et al. (2012). Bationo et al. (2001) ont rapporté que le rendement en grain du mil du témoin était de 160 kg ha⁻¹ pendant que les rendements du résidu de récolte et de l'engrais minéral étaient respectivement de 770 et 1030 kg ha⁻¹. Au même moment, la combinaison du résidu de récolte et de la fumure minérale a donné un rendement de 1940 kg ha⁻¹.

Effets combinés de la rotation et des fumures

L'effet de la rotation avec la légumineuse a significativement amélioré les rendements des traitements. L'accroissement des rendements de la céréale suite à la rotation avec des légumineuses, a été rapporté par plusieurs auteurs dont entre autres Subbarao et al. (2000), Bationo et al. (2002), et Bado et al. (2006). La combinaison R2E2F2 associée à la rotation, a provoqué une augmentation de rendement en grain correspondant à plus de 3,5 fois les rendements de la monoculture de mil du système traditionnel. Il a aussi été rapporté un accroissement de rendement de l'ordre de 16 à 353% dû au précédent légumineux. Tous ces accroissements de rendement attestent de l'importance de la culture de la légumineuse sur la culture subséquente du mil. L'effet bénéfique observé peut être attribué à l'azote fixé par la légumineuse, au N économisé sous la culture de la légumineuse, et à la libéralisation de N provenant de la décomposition des résidus de la légumineuse (Bado, 2002). Mais l'apport de l'azote atmosphérique n'explique pas toujours les rendements souvent élevés de la céréale subséquente (Bationo et Ntare, 2000).

D'autres effets bénéfiques des légumineuses semblent intervenir dans l'accroissement des rendements, et le terme « effet rotation » serait mieux adapté pour désigner l'impact positif des précédents légumineux (Bado 2002). L'augmentation des rendements est particulièrement plus élevée dans les cas de combinaison de la matière organique avec les engrais minéraux associée à la rotation, mettant ainsi en évidence le rôle que jouent ces stratégies de gestion des ressources sur la productivité des sols. De nombreuses études ont montré l'importance de la rotation dans les systèmes de cultures céréales légumineuses, et plus particulièrement le rôle principal que joue l'interaction matière organique et engrais minéraux associée à la rotation avec légumineuse sur la production agricole dans les zones sahéliennes (Subbarao et al., 2000 ; Bationo et al., 2002 ; Bado et al., 2006 ; Bado et al., 2012).

Contribution des fumures organo-minérales et du niébé sur la nutrition azotée du mil

La variation du coefficient réel d'utilisation de l'urée par le mil en présence des doses de résidus de récolte et du fumier, était respectivement de 15,47 à 22,5%, et de 16,22 à 22,23%. Il a été rapporté que le taux de prélèvement de l'engrais azoté par la plante se situe entre 20 et 37%, alors que les pertes d'azote peuvent aller jusqu'à 53%. La gestion de l'engrais azoté constitue une préoccupation dans les sols sableux du sahel. En effet, leur recouvrement est faible du fait des pertes importantes par volatilisation (Bonzi, 2002 ; Guillaume et al., 2011). Cleemput et al. (2008) ont rapporté que les plus faibles valeurs de recouvrement de l'azote ont été trouvées en Afrique à cause des facteurs limitant de croissance comme le manque

d'eau, l'acidité du sol et la déficience en éléments nutritifs.

En outre, le précédent niébé a influencé de manière significative l'utilisation de l'azote par le mil (Tableau 6). Par rapport à la monoculture du mil, l'effet du précédent niébé sur le mil a augmenté le taux de prélèvement de l'azote de 17 unités. L'effet de la rotation a également amélioré le coefficient réel de l'utilisation de l'azote par le mil, de 30% contre 22% pour le mil en monoculture. Dans une étude réalisée à Sadoré par Bationo et al. (2002), le coefficient d'utilisation de N est passé de 20% pour la culture pure de mil à 28% pour le mil en rotation avec niébé. Sur le sorgho, Bado et al. (2012) ont obtenu un coefficient réel d'utilisation de N de 22% pour la rotation niébé-sorgho, contre 17% pour la monoculture du sorgho. La rotation des cultures améliore donc significativement le taux de prélèvement de l'azote du sol par les céréales. Ainsi, le mil subséquent a prélevé 54 kg N ha⁻¹ du sol, contre 39 kg N ha⁻¹ pour le mil en monoculture. Dans une étude réalisée à Sadoré, Bationo et al. (2002) ont rapporté que l'utilisation de l'azote du sol a augmenté de 39 kg N ha⁻¹ dans la monoculture de la céréale à 62 kg N ha⁻¹ dans le système de la rotation.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que les résidus de récolte, le fumier ou les engrais minéraux chacun pris séparément, permettent une amélioration des rendements. Mais ces augmentations de rendement ne sont pas suffisantes pour assurer une production agricole importante. La combinaison de ces fumures est mieux indiquée pour un accroissement substantiel des rendements. L'effet de la combinaison des fumures organiques et minérales sur les rendements du

mil, est d'autant plus élevé qu'elle est associée à la rotation avec des légumineuses comme le niébé. L'utilisation de la méthode isotopique (¹⁵N) pour évaluer la contribution du niébé et des fumures sur la nutrition azotée du mil, a permis de mettre en évidence le rôle important que joue la rotation avec les légumineuses dans les systèmes de culture céréale-légumineuse. La présence de la légumineuse a amélioré le taux de prélèvement de l'azote, la mobilisation de l'azote du sol, et l'efficacité de l'utilisation des engrais minéraux par le mil. La combinaison des fumures organiques et minérales associée à la rotation du mil avec les légumineuses, permet une amélioration considérable des rendements de la céréale, une meilleure mobilisation de l'azote du sol et une utilisation efficace de l'engrais azoté. Elle peut donc être recommandée comme mode de gestion intégrée de la fertilité des sols.

REMERCIEMENTS

Cette étude est le fruit d'une collaboration fructueuse entre l'INRAN et plusieurs autres institutions partenaires. Les auteurs remercient vivement la Fondation Mcknight qui a bien voulu financer ces travaux. Les remerciements vont également à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) pour sa grande contribution en prenant en charge la fourniture de l'engrais azoté ¹⁵N et les analyses isotopiques. Les auteurs expriment toute leur gratitude à l'INERA (Burkina Faso), l'IDR-UPB (Burkina Faso), L'INRAN (Niger), l'ICRISAT (Niger) et à l'Université Abou Moumouni de Niamey.

REFERENCES

Achieng JO, Ouma G, Odhiambo G, Muyekho F. 2010. Effect of farmyard manure and

- inorganic fertilizers on maize production on Alfisols and Ultisols in Kakamega, western Kenya. *Agriculture and Biology Journal of North America*, **1**(4): 430-439.
- AIEA 2001. Use of Isotope and Radiation Methods in Soil and Water Management and Crop Nutrition. IAEA Training Course Series 14. Vienna. 21-103
- Autfray P, Sissoko F, Falconnier G, Ba A, Dugué P. 2012. Usages des résidus de récolte et gestion intégrée de la fertilité des sols dans les systèmes de polyculture élevage : étude de cas au Mali-Sud. *Cahiers Agricultures*, **21**: 225-34.
- Bado BV, Lompo F, Bationo A, Segda Z, Sedogo MP, Cescas MP, Mel VC. 2012. Nitrogen Recovery and Yields Improvement in Cowpea Sorghum and Fallow sorghum Rotation in West Africa Savannah. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **2**: 758-767.
- Bado BV, Bationo A, Cescas MP. 2006. Assessment of cowpea and groundnut contributions to soil fertility and succeeding sorghum in the Guinean savannah zone of Burkina Faso (West Africa). *Biol Ferti Soils*, **43**(2): 171-176.
- Bado BV. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanienne du Burkina Faso. PhD Thèse, Université de Laval Québec, p.184.
- Bationo A, Waswa B, Abdou A, Bado BV, Bonzi M, Iwuafor E, Kibunja C, Kihara J, Mucheru M, Mugendi D, Mugwe J, Mwale C, Okeyo J, Olle A, Roing K, Sedogo M. 2012. Overview of long term experiments in Africa. In Lessons learned from long-term soil fertility management experiments in Africa. Bationo A, Waswa B, Kihara J, Adolwa I, Vanlauwe B, Koala S. Eds, Springer, New York London. 1-26.
- Bationo A, Nandwa SM, Kimetu JM, Kinyangi JM, Bado BV, Lompo F, Kimani S, Kihanda F, Koala S. 2004. Sustainable intensification of crop-livestock systems through manure management in eastern and western Africa: Lessons learned and emerging research opportunities. Sustainable Crop-livestock Production for Improved Livelihoods and Natural Resource Management in West Africa; Williams, TO, Tarawali S, Hiernaux P, Fernandez-Rivera S (eds). In *Proceedings of an International Conference*; 173-198.
- Bationo A, Ntare BR, Tarawali S, Tabo R. 2002. Soil Fertility management and cowpea production in the semiarid and tropics. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production; Fatokum CA, Tarawali SA, Sing BB, Kormewa AM and Tanio. (Eds). In *Proceeding of World Cowpea Conference III IITA*, Ibadan, Nigeria, 4-8 sept 2000; 301-318.
- Bationo A, Ntare BR. 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 Science Cambridge*, **134**: 277-284.
- Bationo A, Buerkert A. 2001. Soil Organic matter management for sustainable land use in the West African Sudono- Sahlien Zone. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, **61**: 131-142
- Bonzi M. 2002. Evaluation du déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre Burkina Faso : Etude par traçage isotopique ¹⁵N au cours d'essais en

- station et en milieu paysan. Thèse de Doctorat, Lorraine, p.177.
- Buerkert A, Bationo A, Dossa K. 2000. Mechanisms of residue Mulch-Induced Cereal Growth Increases in West Africa. *Soil Science Society of America Journal*, **64**: 346-358.
- Cleemput OV, Zapata F, vanlauwe B. 2008. Use of tracer technology in mineral fertilizer N management. Guidelines on nitrogen management in agricultural systems IAEA, Vienna, *IAEA-TCS*, **29**: 19-125.
- Ding W, Yagi K, Cai Z, Han F. 2010. Impact of Long-Term Application of Fertilizers on N₂O and NO Production Potential in an Intensively Cultivated Sandy Loam Soil. *Water Air Soil Pollution*, **212**: 141-153.
- FAO. 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, FAO, p. 63.
- Fening JO, Ewusi-Mensah N, Safo EY. 2011. Short-term effects of cattle manure compost and NPK application on maize grain yield and soil chemical and physical properties. *Agricultural Science Research Journal*, **1**(3): 69- 83.
- GenStat Discovery Edition 4, 2007. *Hemel Hempstead*. VSN International Ltd.: UK.
- Gomgnimbou APK, Nacro HB, Sanon A, Sedogo MP, Martinez J. 2014. Observed effects of the animal manure application practices on the chemical parameters and status of Lixisols in the south soudanian zone (Bobo-Dioulasso, Burkina Faso). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, **5**(1): 214-227.
- Guillaume L, Haussmann BIG, Per A, Høgh-Jensen H. 2011. Cowpea N rhizodeposition and its below-ground transfer to a co-existing and to a subsequent millet crop on a sandy soil of the Sudano-Sahelian eco-zone. *Plant Soil*, **340**: 369–382.
- Kiba DI. 2012. Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, p.172.
- Koulibaly B, Traoré O, Dakuo D, Zombré PN, Bondé D. 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicicultura*, **28** : 184-189.
- Lompo F, Segda Z, Gnankambary Z, Ouandaogo N. 2009. Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicicultura*, **27**(2): 105-109.
- Maltas A, Oberholzer H., Charles R, Sinaj S. 2012. Effets à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomique Suisse*, **3**(3): 148–155.
- Mills AJ, Fey MV. 2003. Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African Journal of science*, **99**: 429-436.
- Ouattara B. 2009. Analyse-diagnostic du statut organique et de l'état structural des sols des agrosystèmes cotonniers de l'Ouest du Burkina Faso (terroir de Bondoukui). Thèse de doctorat d'Etat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, p.186.
- Ouédraogo J, Ouédraogo E, Nacro HB. 2014. Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et la macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en

- zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(1): 104-114.
- Pallo FJP, Asimi S, Assa A, Sedogo PM Sawadogo N. 2006. Statut de la matière organique des sols de la région sahélienne du Burkina Faso. *Etude et Gestion des Sols*, **13**(4): 289- 304.
- Pandey RK, Maranville JW, Crawford TW. 2001. Agriculture Intensification and Ecologically Sustainable Land Use Systems In Niger: Transition from Traditional to technologically Sound Practices. *Journal of Sustainable Agriculture*, **19**(2): 6-24
- Subbarao GV, Renard C, Payne WA, Bationo A. 2000. Long-term effects of tillage, phosphorus fertilization and crop rotation on pearl millet-cowpea productivity in the west-African Sahel. *Expl. Agric.*, **36**(2): 243-264.
- Van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Prochnow LI. 2009. Ion exchange resin for assessing phosphorus availability in soils. *Better Crop*, **93**: 23-25.
- Vanlauwe B, Giller KE. 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **116**: 34-46.