

Efficacité de prélèvement du phosphore par les plantes *Sorghum bicolor* (L.) Moench et *Phaseolus vulgaris* L.

*D. DJADJAGLO¹ ET C. RICHTER²

RÉSUMÉ - D. Djadjaglo et C. Richter. Efficacité de prélèvement du phosphore par les plantes *Sorghum bicolor* (L.) Moench et *Phaseolus vulgaris* L. *Agrosolutions* 19 (2) : 45-50. La faible disponibilité ou l'absence de phosphore assimilable dans les alfisols de l'est de l'Éthiopie présente un défi majeur pour les paysans de cette région. Dans ce contexte, deux variétés éthiopiennes de *Phaseolus vulgaris* L. (Ayenew et Roba 1) et deux variétés de *Sorghum bicolor* Moench (Long Mura et Texas 76) ont été testées afin d'évaluer leur efficacité à prélever du phosphore à partir de sols riches (+P) et pauvres (-P) en milieu contrôlé. Les sols ont reçu un apport phosphaté équivalent à une application de 0,067 g P/kg de sol. Les résultats indiquent une différence dans la capacité de prélèvement du phosphore par les sols d'une part, par les plantes et entre les variétés d'une même culture, d'autre part. Cette étude a démontré que les variétés de *Phaseolus vulgaris* L. sont plus efficaces à prélever cet élément sur la base des rendements, en dépit du faible taux de phosphore du sol, et ce comparativement aux deux variétés de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. La présence de nodules et le développement accru du système racinaire des haricots Ayenew et Roba 1 pourraient être en lien avec cette efficacité. Ainsi, cinq jours après le semis de Phaseolus, les poils des racines mesuraient 0,83 mm chez la variété Ayenew, 0,45 mm chez la variété Roba-1 et enfin respectivement 0,23 mm et 0,28 mm chez les variétés Long Mura et Texas 76 en sols pauvres en phosphore. En effet, ces deux variétés Ayenew et Roba 1 ont développé des poils de racines plus longs en sols pauvres en phosphore permettant ainsi un prélèvement accru en cet élément.

Mots-clés : *Phaseolus vulgaris* L., *Sorghum bicolor* (L.) Moench, système racinaire, nodules, phosphore assimilable, absorption du phosphore

ABSTRACT - D. Djadjaglo and C. Richter. Efficiency of phosphorus absorption by the plants *Sorghum bicolor* (L.) Moench and *Phaseolus vulgaris* L. *Agrosolutions* 19 (2): 45-50. Low availability or lack of easily assimilated phosphorus in "alfisol" from Eastern Ethiopia is a major soil fertility constraint for farmers in this region. For this reason, two Ethiopian varieties of *Phaseolus vulgaris* L. (Ayenew and Roba 1) and *Sorghum bicolor* Moench (Long Mura and Texas 76) were tested in greenhouse for their efficiency to sorb phosphorus from soils rich (+P) and poor (-P) in phosphorus. Both soil types received a treatment equivalent to 0.067g P/kg of soil. Results showed differences between the soil capacities to absorb phosphorus, as well as between crops and varieties. The *Phaseolus vulgaris* L. varieties seemed more efficient in producing higher yield compared to the two varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench, and this despite the phosphorus contents of the soil. Presence of nodules and larger development of root system in *Phaseolus vulgaris* L. (Ayenew and Roba 1) could explain such efficiency. Five days after planting on soils poor in phosphorus, hairs on the roots measured 0.83 mm for the Ayenew variety, 0.45 mm for Roba-1, 0.23 mm for Long Mura, and 0.28 mm for Texas 76 respectively. In fact, Ayenew and Roba-1 varieties were able to develop longer hairs on their roots, in soils poor in phosphorus, and had more capacity for phosphorus absorption.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., *Sorghum bicolor* (L.) Moench, root system, nodule, available phosphorus, phosphorus absorption

1. Chaire de recherche du Canada en développement des collectivités, Université du Québec en Outaouais, C.P. 1250, succursale Hull, 283, boul. Alexandre Taché, Gatineau (Québec) J8X 3X7, Canada

*Auteur pour la correspondance : téléphone : 819 595-3900, poste 2247, télécopieur : 819 595-2227, courriel : david.djadjaglo@sympatico.ca

2. University of Kassel, FB 11, Department of Plant Nutrition and Agricultural Chemistry, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, Allemagne

Introduction

En raison de la croissance de la population africaine, l'augmentation durable de la production agricole constitue le défi des prochaines décennies. La production agricole sur des sols marginaux, pauvres en substances nutritives et déficitaires en eau ne permet que des rendements faibles ou incertains (Engelberth, 1991). La majorité des pays africains dont les produits nationaux bruts sont faibles dépensent moins de capitaux pour l'achat des engrais minéraux et des produits phytosanitaires dont ils ont besoin. Pour cela, il est nécessaire de soutenir les techniques de culture qui exigent moins de ressources financières (Gerke, 1995). C'est la raison pour laquelle, la prise en compte des réserves d'éléments nutritifs existants dans le sol s'avère importante. Le cas présent s'applique particulièrement pour le phosphate et les micro-éléments nutritifs qui sont présents dans le sol et dont la disponibilité pour les plantes est toutefois faible, parfois inexistante. Dans le cadre de la gestion de la fertilité des sols, la culture des variétés végétales capables de rendre solubles le phosphate et les éléments nutritifs s'avère importante. Les terres agricoles dans l'est de l'Éthiopie sont généralement pauvres en raison de la monoculture et de la faible utilisation d'engrais organiques et minéraux. Le sorgho (*Sorghum bicolor L.*) est avant le maïs (*Zea mays L.*) la principale culture de la région et contribue à 60 % de la récolte totale (Asfaw *et al.*, 1997). Il entre non seulement dans les alimentations humaine et animale mais il est aussi utilisé comme matériaux de construction et de combustible pour le chauffage.

Pour leur croissance, les plantes utilisent principalement les éléments nutritifs du sol à travers leur racine. Pour cela, non seulement le sol doit contenir une quantité suffisante d'éléments nutritifs, mais ces derniers doivent aussi être disponibles aux plantes. Dans le cas du phosphore, seule une faible quantité est présente dans la solution de sol; la plus grande partie du phosphore dans le sol étant fixée par les minéraux peu solubles. C'est le cas des pays africains où le phosphore est soit lié au fer et à l'aluminium dans les sols acides, soit fixé au calcium dans les sols calcaires (Richter, 1999).

La fixation et le prélèvement du phosphore dans les sols constituent un véritable problème pour les paysans de l'est de l'Éthiopie. Le choix et la culture des variétés efficaces sur des sols faibles en phosphore pourraient favoriser une amélioration du rendement. Une variété efficace est définie par un niveau élevé de prélèvement du phosphore et de son transport dans les feuilles (Foehse et coll., 1988) et par une productivité plus élevée en termes de rendements sur des sols avec une faible teneur en phosphore disponible (Abdou, 1986). Les plantes *Phaseolus vulgaris* et *Sorghum bicolor* sont principalement cultivées par les paysans dans l'est de l'Éthiopie sur des sols dont les teneurs sont très pauvres en phosphate soluble. L'objectif de cette étude est d'analyser l'efficacité de prélèvement du phosphore de deux variétés de deux espèces végétales et ainsi d'en trouver la variété et l'espèce capables de mieux s'adapter à des sols pauvres en phosphore sans apport substantiel d'engrais phosphorés. Enfin, le présent travail a pour objectif de mieux comprendre les facteurs liés à l'efficacité de prélèvement du phosphore.

Matériel et méthodes

Les essais ont été conduits dans la serre de la station expérimentale de l'Université d'Alemaya en Éthiopie. Le matériel végétal est composé de deux variétés de haricot et deux variétés de sorgho :

- *Phaseolus vulgaris*, *Ayenew* (GLP x 92) est distribuée aux paysans depuis 1998. Elle est caractérisée par de grosses graines; le poids de 1000 graines est de 487g;
- *Phaseolus vulgaris*, *Roba-1* est une autre variété à graines moyennes avec un poids pour 1000 graines de 194 g;
- *Sorghum bicolor*, *Long Mura* est une variété locale avec un poids de 38 g pour 1000 graines et dont la longueur de la tige peut atteindre 3 m;
- *Sorghum bicolor*, *T (Texas) 76*, est une autre variété précoce caractérisée par une tige courte d'environ un mètre et dont le poids pour 1000 graines fait

28 g. Cette variété est actuellement cultivée par la plupart des paysans de la région.

Les résultats de l'analyse sur des échantillons de sols prélevés (0-30 cm) à Hamaressa dans l'est de l'Éthiopie sont présentés au tableau 1. Il s'agissait d'un alfisol très pauvre avec 2,2 % de matière organique et contenant en moyenne 59,2 % de sable, 32,2 % d'argile et 8,6 % de limon. L'estimation de la teneur en phosphore assimilable indiquait que le sol contenait 2,04 mg P/kg. Par conséquent, la concentration en phosphore du sol n'était pas suffisante pour assurer une croissance optimale des plantes. Les semences des plantes ci-dessus sont semées dans des pots de végétation en plastique de 19 cm de hauteur et de 20 cm de diamètre à la base, à raison de 6 semences par pot. Le dispositif expérimental en milieu contrôlé était un essai en blocs randomisés avec quatre répétitions à deux traitements :

- un témoin (-P) sans aucun apport de phosphore sous forme d'engrais phosphorique;
- un traitement phosphorique (+P) sous forme d'apport du super triple phosphate avec 46 % de P_2O_5 , ce qui équivaut à une dose d'application de 0,067 g P/kg de sol.

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon de surface (0-30 cm) des sols de la zone d'étude.

Texture/Éléments	Teneurs
Argile (%)	32,2 %
Sable (%)	59,2 %
Limon (%)	8,6 %
Matière organique (%)	2,2 %
Phosphore assimilable (Bray P1) (mg P kg ⁻¹)	2,04 mg
P total (mg P kg ⁻¹)	29,7 mg
Ca (cmol (+) kg ⁻¹)	4,57
Mg (cmol (+) kg ⁻¹)	0,94
K (cmol (+) kg ⁻¹)	0,483
Na (cmol (+) kg ⁻¹)	0,015
pH H2O (2:1 eau-sol)	6,14
pH KCl (2:1 KCl:sol)	5,12
Conductivité électrique	0,32 ds/m

Pour éviter les effets des pots avoisinants qui pourraient influencer les résultats, les pots ont été entièrement randomisés à l'intérieur de leur répétition. Les conditions suivantes régnaient :

- une phase rotative de 12 heures de lumière et de 12 heures d'obscurité;
- une température de 29 °C le jour et de 19 °C la nuit;
- et une humidité relative de 75 à 80 %.

Enfin, la bonne conduite de l'expérimentation exigeait un apport en éléments nutritifs essentiels, à l'exception du phosphore. Pour cela, 24 jours après le semis, toutes les plantes de sorgho ont reçu 1 g d'urée par pot, ce qui équivaut à 0,156 g N/kg de sol. L'analyse de variance (ANOVA) permet de détecter les différences entre les traitements par comparaison des moyennes avec le test F de Fisher. Le test de la plus petite différence significative (LSD) a été utilisé pour comparer la différence entre les moyennes des traitements au seuil de significativité de 5 %.

Résultats et discussions

Deux variétés éthiopiennes de *Phaseolus vulgaris* (*Ayewew* et *Roba-1*) et deux variétés du *Sorghum bicolor* (*Long Mura* et *Texas 76*) ont été testées pour leur efficacité de prélèvement du phosphore sur des sols riches (+P) et pauvres (-P) en phosphore. Il existe une différence dans la capacité de prélèvement du phosphore, d'une part entre les plantes et, d'autre part au sein des variétés, comme le montrent les tableaux 2, 3 et 4. Les caractères agronomiques qui permettent d'estimer cette efficacité des plantes ne sont pas homogènes. Cette différence traduit des degrés variables d'efficacité des plantes quant au prélèvement du phosphore.

Les résultats montrent que les plantes réagissent différemment au phosphate contenu dans le sol selon les espèces et les variétés auxquelles elles appartiennent. Cela pourrait être expliqué par les qualités morphologiques et physiologiques des racines qui contribuent au prélèvement des éléments nutritifs. Parmi tous les éléments

Tableau 2. Hauteur des plantes de deux semaines et de six semaines après le semis.

Variétés	Dosage	Hauteur des plantes en cm après 2 semaines				Hauteur des plantes en cm après 6 semaines			
		Hauteur	CV	LSD	Pr > F	Hauteur	CV	LSD	Pr > F
<i>Ayewew</i>	-P	23,7a	7,37			56,3a	4,25		
	+P	26,5 a	1,98	9,98	7,09	57,5a	3,34	4,47	0,90
		(12 %)				(2 %)			
<i>Roba-1</i>	-P	19a	3,07			25,5b	3,33		
	+P	19a	2,11	5,36	11,25	34,8 a	5,45	5,26	0,03
		(± 0 %)				(+37 %)			
<i>Long Mura</i>	-P	21,8a	8,13			39,3b	2,98		
	+P	24,5a	9,33	4,75	6,44	68,8 a	1,78	13,4	0,02
		(+12 %)				(+75 %)			
<i>Texas 76</i>	-P	15,3a	10,04			22,3b	6,38		
	+P	18a	7,23	3,76	6,02	52,5 a	2,06	6,01	0,001
		(+18 %)				(136 %)			

Dans une même colonne, les moyennes suivies de lettres identiques ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher ($p \leq 0,05$). Les données en pourcentage expriment les variations relatives par rapport au contrôle (-P).

Tableau 3. Longueur des racines six semaines après le semis.

Variétés	Dosage	Longueur			
		Longueur	CV	LSD	Pr > F
<i>Ayewew</i>	-P	27a	1,05		
	+P	26,9b	3,04	4,18	0,20
		(±0 %)			
<i>Roba-1</i>	-P	27a	2,95		
	+P	23b	4,78	3,44	0,04
		(17 %)			
<i>Long Mura</i>	-P	29a	3,72	7,51	
	+P	30,3a	1,66		0,15
		(+5 %)			
<i>Texas 76</i>	-P	21,8a	2,11		
	+P	28,3a	4,03	11,2	0,09

Dans une même colonne, les moyennes suivies de lettres identiques ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher ($p \leq 0,05$). Les données en pourcentage expriment les variations relatives par rapport au contrôle (-P).

Tableau 4. Prélèvement en phosphore de la matière sèche de la partie aérienne des plantes, six semaines après le semis.

Variétés	Dosage	Prélèvement			
		Prélèvement (g)	CV	LSD	Pr > F
<i>Ayewew</i>	-P	5,33b	0,17		0,004
	+P	15,61a	0,15	0,85	
		(+193 %)			
<i>Roba-1</i>	-P	1,56b	0,26		0,003
	+P	11,26a	0,10	0,63	
		(+622 %)			
<i>Long Mura</i>	-P	0,46b	0,41		0,0001
	+P	11,14a	0,39	2,34	
		(+2322 %)			
<i>Texas 76</i>	-P	0,27b	0,36		0,0002
	+P	5,39a	0,40	0,68	
		(+1896 %)			

Dans une même colonne, les moyennes suivies de lettres identiques ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher ($p \leq 0,05$). Les données en pourcentage expriment les variations relatives par rapport au contrôle (-P).

Tableau 5. Nombre, diamètre et poids sec des nodules des deux variétés de *Phaseolus vulgaris* L, six semaines après le semis.

Variétés	Dosage	Nombre de nodules				Diamètre (mm)				Poids sec des nodules (g)			
		Nombre	CV	LSD	Pr > F	Diamètre	CV	LSD	Pr > F	Poids	CV	LSD	Pr > F
Ayeneu	-P	9a	0,24			2,28a	0,13			28,4a	0,11		
	+P	12a	0,23	5,6	0,78	2,31a	0,09	0,369	0,56	44,8a	0,24	16,6	0,06
		(+33%)				(+1,31%)				(+58%)			
Roba-1	-P	4a				1,59a				3,9b			
	+P	13b	0,22	3,3	0,003	1,75a	0,12	0,821	0,31	23,4a	0,36	8,6	0,001
		(+225%)	0,19			(+10%)	0,21			(+500%)	0,21		

Dans une même colonne, les moyennes suivies de lettres identiques ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher ($p \leq 0,05$). Les données en pourcentage expriment les variations relatives par rapport au contrôle (-P).

nutritifs présents dans la rhizosphère, le phosphate a le plus faible taux de solubilité (Gerke, 1995). C'est pourquoi, outre la teneur du sol en phosphate, la capacité de prélèvement du phosphate dépend de nombreuses qualités propres aux espèces végétales. Plusieurs raisons expliquent la meilleure performance en prélèvement phosphorique observée chez les *Phaseolus vulgaris* comparés au *Sorghum bicolor* et chez *Ayeneu* comparé au *Roba-1*.

La formation des nodules chez les haricots *Ayeneu* et *Roba-1*

Il s'agit du rôle joué par le phosphate dans la culture des légumineuses et dans la fixation de l'azote atmosphérique. De nombreuses recherches ont montré l'importance des nodules pour la croissance des légumineuses. La fixation de l'azote atmosphérique peut s'opérer, soit par l'intermédiaire des organismes vivant dans le sol, soit par l'intermédiaire des organismes vivant en symbiose avec les plantes (Richter, 1999). Certaines légumineuses peuvent produire plus de nodules avec l'aide des bactéries, ce qui conduirait à une plus grande sécrétion des ions H^+ qui provoquerait un plus grand prélèvement du phosphate (Römheld, 1986). Le nombre, le diamètre et le poids sec des nodules issus du dispositif expérimental sont présentés au tableau 5. Il ressort de ce tableau que l'augmentation du poids des nodules était une conséquence de l'ajout de phosphate. Cette augmentation était plus élevée chez *Ayeneu* que *Roba-1*. Le phosphate agit donc sur la formation des nodules. Dans ce sens, la fixation de l'azote atmosphérique par les microorganismes dépendrait en partie de la présence de l'acide phosphorique (Bjaelve, 1960).

Relation entre le poids du grain et les prélèvements en phosphore

Le tableau 6 montre les prélèvements en phosphore dans les graines des quatre plantes. La performance observée au niveau des deux variétés de *Phaseolus vulgaris* comparée à celle des deux variétés de *Sorghum bicolor*, d'une part et, d'autre part au niveau de la variété *Ayeneu* comparée à la variété *Roba*, pourrait être liée au prélèvement en phosphore qui apparaît plus élevé dans les graines des haricots. Ce phosphore contenu dans les graines pourrait être utilisé par les plantes. Il ressort du tableau 6 qu'il existe une relation entre le poids du grain et les prélèvements en phosphore.

Classons les grains de ces quatre plantes dans l'ordre décroissant en fonction du poids du grain : *Ayeneu* > *Roba-1* > *Long Mura* > *Texas 76*. Le prélèvement en phosphore dans les graines des quatre plantes suit aussi le même ordre.

Non seulement les jeunes plantes *Ayeneu* avaient un fort prélèvement en phosphore dans les grains, mais aussi de grosses semences et, par conséquent, plus de réserves de phosphore pour les plantes. Une explication semblable est donnée dans l'efficacité de prélèvement du phosphore par certaines variétés de *Cicer arietinum* (Tekalign et coll., 1996). La teneur élevée en phosphore dans les graines du blé influence positivement la croissance de la

plante (Riley et coll., 1993). Si nous extrapolons la quantité de phosphore dans les semences sur un hectare de terre agricole, nous aurions 581 g de phosphore dans 150 kg de semences du haricot de la variété *Ayeneu* contre 30 g de phosphore dans 10 kg de semence de sorgho de la variété *Texas 76*. Cette quantité de phosphore contenue dans les semences est petite par rapport aux besoins en phosphore des plantes : 16 kg P/ha pour les haricots et 17 kg P/ha pour le sorgho (Klapp, 1967). Aussi petite soit-elle, cette quantité de phosphore contenue dans les semences est probablement importante et elle ne pourrait être directement absorbée par les jeunes plantules qu'après la germination. Comme l'indique le tableau 2 en annexe, la croissance des plantes, deux semaines après le semis est homogène, indépendamment de la teneur en phosphore du sol. Probablement que les jeunes plantules ont absorbé le phosphore contenu dans les semences.

La morphologie du système racinaire

Les longueurs des racines et leurs poils constituent les caractéristiques pour évaluer un système racinaire en ce qui a trait à ses capacités à extraire l'eau et les éléments minéraux du sol. Les résultats du présent travail confirment le rôle joué par les racines dans le prélèvement du phosphore. Les poils des racines ont été mesurés cinq jours après le semis. Ces poils

Tableau 6. Relation entre le poids et les prélèvements en phosphore de 1000 grains.

Variétés	Espèce	Poids de 1000 grains (g)	Prélèvement en phosphore (mg) dans 1000 grains
Ayeneu	Haricot	487 ± 16	1888 ± 17
Roba-1	Haricot	194 ± 7	663 ± 0,0
Long Mura	Sorgho	38 ± 3	117 ± 4,4
Texas 76	Sorgho	28 ± 16	85 ± 1,3

Tableau 7. Rapport racine/tige des plantes de six semaines.

Variétés	Espèce	-P	+P
<i>Ayewew</i>	Haricot	3,44	3,01
<i>Roba-1</i>	Haricot	15,43	4,84
<i>Long Mura</i>	Sorgho	36,25	4,60
<i>Texas 76</i>	Sorgho	51,22	8,30

mesuraient 0,83 mm chez la variété *Ayewew*, 0,45 mm chez la variété *Roba-1* et enfin 0,23 mm et 0,28 mm chez les variétés *Long Mura* et *Texas 76*, respectivement. Ces mesures peuvent être ordonnées par ordre décroissant comme suit : *Ayewew* > *Roba-1* > *Long Mura* > *Texas 76*.

La formation des poils des racines augmente la capacité des plantes à couvrir leur besoin en phosphore sur un sol faible en phosphate. L'efficacité en phosphore des plantes peut être liée à la longueur des poils des racines (Föhse et coll., 1988). La variété *Ayewew* a développé plus de longs poils suivie de la variété *Roba-1*, tandis que le développement des poils des deux variétés de *Sorghum bicolor* était assez faible. Le développement des poils serait donc l'une des principales raisons de la différence de l'efficacité du prélèvement du phosphore par les plantes. Les plantes réagissent au manque de phosphore avec une croissance du rapport racine/tige. Ainsi, les plantes ont par gramme de tige plus de racines à leur disposition pour absorber le phosphore.

Les études ont montré que les poils absorbants tendaient à croître en nombre et en longueur en conditions de déficience phosphatée (Föhse et Jungk, 1983). Un rapport élevé de racine/tige peut expliquer l'efficacité des plantes dans le prélèvement du phosphore (Amann et Amberger, 1966). D'après le tableau 7, toutes les plantes ont des rapports racine/tige élevés sur les sols qui n'ont pas reçu d'apport supplémentaire en phosphore. Néanmoins, ce rapport racine/tige n'est pas plus élevé chez les *Phaseolus vulgaris* que chez les *Sorghum bicolor*. Il se pourrait que la croissance des plantes dans notre dispositif expérimental soit limitée par les pots alors qu'en réalité les racines des plantes peuvent pénétrer les couches les plus profondes du sol.

L'importance de la mobilisation chimique du phosphore par les plantes

La mobilisation chimique permet aux plantes de couvrir leurs besoins en phosphore sur des sols caractérisés par une faible solubilité du phosphore. Cette mobilisation est décrite comme une augmentation des éléments nutritifs à la suite de modifications des paramètres chimiques dans les rhizosphères provoquées par les sécrétions des racines ou des microorganismes. Une mobilisation chimique peut être provoquée par des changements du pH et du potentiel d'oxydoréduction de la rhizosphère ou des substances organiques très complexes (Gerke, 1995). L'activité de l'enzyme phosphatase sécrétée par les plantes, augmente avec le manque de phosphore (Römer et coll., 1994). Cette enzyme provoque une accumulation de phosphore inorganique qui peut être utilisé par les plantes. Particulièrement sur des sols acides, la sécrétion de l'enzyme phosphatase par les racines des plantes stimule une augmentation de l'hydrolyse et provoque par conséquent un prélèvement rapide du phosphore (Föhse et coll. 1988). Les racines des plantes excrètent également des acides organiques, tel l'acide citrique, qui favorisent également la solubilisation du phosphore.

Évidemment, il y a une différence dans l'activité de la phosphatase chez les différentes plantes. Ainsi, l'activité de la phosphatase chez le blé ne dépend pas seulement de la teneur en phosphore du sol; elle est provoquée aussi génétiquement (Römer, 1994). Un essai expérimental a montré que le prélèvement du phosphore par le *cicer arietinum* dépend de son infection par les mycorhizes (George, 1993).

Conclusion

Cette étude a démontré une plus grande efficacité dans le prélèvement du phosphore (rendement élevé malgré un niveau faible du phosphore) des deux variétés du *Phaseolus vulgaris* par rapport aux deux autres variétés du *Sorghum bicolor*. Au niveau de la taille des plantes, de la longueur des racines, du rendement de la tige et des racines, il a été démontré que même sans un apport de phosphore, la diminution du rendement était plus faible pour le *Phaseolus vulgaris* comparé au *Sorghum bicolor* et beaucoup plus faible pour la variété *Ayewew* comparée à *Roba-1*. La teneur en phosphore dans les graines suit l'ordre : *Ayewew* > *Roba-1* > *Long Mura* > *Texas 76*.

Les longueurs des poils des racines permettent aux plantes d'avoir à leur disposition un plus grand volume de sol et par conséquent une meilleure possibilité de prélèvement du phosphore. Les deux variétés de *Phaseolus vulgaris* ont pu développer de longs poils sur des sols pauvres en phosphore par rapport aux deux autres variétés de *Sorghum bicolor*. Cette étude a aussi permis de mettre en évidence le rôle que joue le phosphore dans la fixation de l'azote atmosphérique. Cela vaut particulièrement pour les microorganismes et les bactéries qui vivent en symbiose dans les nodules.

Références bibliographiques

- Amann, Ch. and A. Amberger. 1989. Phosphorus efficiency of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). Z. Pflanzenernäh. Bodenkunde. 152: 181-189.
- Abdou, M. 1986. Genotypische Unterschiede in der Phosphateffizienz bei Sommerweizen. Thèse de doctorat. Fac. Sc. Agr. Université de Hohenheim. Germany.
- Asfaw, B., H. Gebrekidan, Y. Uloro and E. Zewdie. 1997. Effect of crop residues on grain yield response of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) to application of N and P fertilizer. Nutr Cycl Agroecosys. 48: 191-196.

- Bjälfe, G. 1960. Die Bedeutung der Phosphorsäure für den Erbsenanbau und für die Fixierung des atmosphärischen Stickstoffs. Dans Die Phosphorsäure. Tellus Verlag, Germany.
- Engelberth, J. 1991. Nutzung von freilebenden N_2 -fixierenden Bakterien für die Stickstoffversorgung von Hirsen auf marginalen Böden. In Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 58, Germany.
- Föhse, D., N. Claasen and A. Jungk. 1988. Phosphorus efficiency of plants I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. Plant and Soil. 110: 101-109.
- Föhse, D. and A. Junk. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. Plant and Soil. 74: 359-368.
- George, E. 1993. Growth and phosphate efficiency of grain legumes and barley under dryland conditions in nordwest Syria. Wendlingen (Allemagne). Verlag Ulrich E. Grauer, Germany.
- Gerke, J. 1995. Chemische Prozesse der Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre und ihre Bedeutung für den Übergang vom Boden in die Pflanze. Verlag Cuvillier, Göttingen Germany.
- Klapp, E. 1967. Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus. Berlin, Parey Verlag, Germany.
- Richter, C. 1999. Anpassungsmechanismen von Pflanzen bezüglich ihrer Phosphor-Ernährung. Vorlesungsmaterial. University of Kassel, Germany.
- Riley, M.M., K.G. Adcock and M.D.A. Bolland. 1993. A small increase in the concentration of phosphorus in the sown seed increased the early growth of wheat. J. Plant Nutr. 16 (5): 851-864.
- Römheld, V. 1986. pH-Veränderungen in der Rhizosphäre verschiedener Kulturpflanzenarten in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot. Kali-Briefe 18: 13-30.
- Römer, W., L. Beißer, H. Schenk and A. Jungk. 1995. Einfluß von Sorte und Phosphordüngung auf den Phosphatase von Weizen und Gerste. Ein Beitrag zur Diagnose der P-Versorgung von Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 158: 3-8.
- Tekalign, M., C. Richter and A. Hoppenstedt. 1996. Phosphorus response studies on some varieties of durum wheat (*Triticum durum* desf.) and tef (*Eragrostis tef*) grown in sand culture. Journal. of Agronomy & Crop Science. 176: 189-197.