

# Influence de trois rhizobactéries sur la croissance et la fixation d'azote du niébé en présence de phosphate naturel

Dayéri DIANOU\*, A. M. BÂ\*

## Résumé

L'influence de rhizobactéries a été étudiée sur la croissance et la fixation d'azote chez la variété B301 de *Vigna unguiculata* (L.) Walp (niébé) en présence de phosphate naturel de Kodjari ou Burkina Phosphate (BP). Des plants de niébé ont été inoculés ou non avec trois rhizobactéries de collection (*Bacillus polymixa* CECT 153, *Bacillus licheniformis* CECT 20 et *Pseudomonas striata* CCUG 2525) dans des pots contenant 7 litres de sol sableux à 0,7 ppm de phosphore assimilable auquel on a apporté deux doses de BP : 100 mg et 200 mg de P / kg sol. Tous les traitements ont été inoculés avec une souche de *Bradyrhizobium* sp (INKamb) efficace. L'interaction entre les facteurs fertilisation et inoculation est hautement significative ( $\alpha = 1\%$ ) pour toutes les variables mesurées sauf pour le P assimilable des sols fertilisés. Le contraste entre les témoins et les inoculés avec *P. striata* ou *B. polymixa* a toutefois montré une différence hautement significative pour cette variable suggérant un effet de solubilisation directe du BP par ces deux rhizobactéries. Les variables mesurées chez les plantes inoculées avec *P. striata* ont été significativement supérieures à celles des plantes inoculées avec *Bacillus* spp.

**Mots-clés :** Niébé, *Bacillus polymixa*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas striata*, phosphate naturel, solubilisation.

## Effect of three rhizobacteria on growth and nitrogen fixation of *vigna unguiculata* (l) walp in the presence of rock phosphate

### Abstract

The influence of rhizobacteria on growth and nitrogen fixation of *Vigna unguiculata* (L.) Walp was studied in the presence of Kodjari rock phosphate (Burkina Phosphate : BP). The cowpea variety B301 was inoculated or not with three rhizobacteria type strains (*Bacillus polymixa* CECT 153, *Bacillus licheniformis* CECT 20, and *Pseudomonas striata* CCUG 2525) in 7 l pots with a sandy soil containing 0.7 mg / kg sol of available phosphorus to which two rates of rock phosphate were added: 100 mg and 200 mg of P / kg sol. All treatments were inoculated with a *Bradyrhizobium* sp strain (INKamb). The interaction between fertilization with BP and inoculation with rhizobacteria was significant at 1 % level for all variables except for the available P of fertilized soils. However, the contrast between the controls and the treatments inoculated with *P. striata* or *B. polymixa* showed a significant difference at 1 % level for this variable suggesting a direct solubilization effect of the rock phosphate by these rhizobacteria. The variables of plants inoculated with *P. striata* were significantly superior to those of plants inoculated with *Bacillus* spp.

**Key-words:** *Vigna unguiculata*, *Bacillus polymixa*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas striata*, rock phosphate, solubilization.

\* Laboratoire de microbiologie forestière, INERA / CNRST  
03 B.P. 7047, Ouagadougou 03 (Burkina Faso)

## Introduction

Les sols tropicaux sont caractérisés par une déficience quasi générale en phosphore (BOYER, 1982). Cette carence en phosphore constitue le premier facteur limitant pour les cultures annuelles dans la plupart des sols d'Afrique de l'Ouest (DUMONT et DUPONT, 1967 ; SANCHEZ, 1995). Celle-ci est particulièrement défavorable aux Légumineuses à graines pour lesquelles l'élément phosphore intervient dans la formation des nodules et fournit l'énergie nécessaire à la fixation biologique de l'azote (ISLAM *et al.*, 1980). Pour relever le niveau en P de la solution de sol, on peut avoir recours à l'apport de matière organique et / ou d'engrais solubles. La quantité de matière organique recyclée dans le sol est généralement faible (SANCHEZ, 1995). De plus, le coût des engrais minéraux est actuellement inaccessible aux paysans.

Dans ces conditions, l'utilisation de phosphates naturels est à envisager compte tenu de l'importance des gisements en Afrique de l'Ouest (SÉDOGO *et al.*, 1983 ; LOMPO, 1993). Cependant, ces phosphates naturels sont insolubles, ce qui rend leur phosphore peu disponible pour les plantes. L'efficacité agronomique des phosphates naturels dépend de leurs caractéristiques intrinsèques (minéralogie, réactivité...), du sol (pH, phosphore assimilable, calcium...), des pratiques culturales, du statut mycorhizien et de la microflore rhizosphérique de la plante (JUO and KANG, 1979 ; KRISHNA and LEE, 1987). De manière générale, les plantes mycorhizées utilisent plus efficacement le phosphore libéré des phosphates naturels que les plantes sans mycorhizes (PICHOT et TRUONG, 1976 ; ISLAM *et al.*, 1980 ; ASMAH, 1995 ; BÂ *et al.*, 1996 ; BÂ et GUISSOU, 1996). Des bactéries rhizosphériques, grâce à des mécanismes d'action bien connus comme l'acidification du milieu et/ou la production d'hormones qui stimulent la biomasse racinaire, participent également à la mobilisation du phosphore des phosphates naturels souvent en synergie avec des champignons endomycorhiziens à arbuscules (BAREA *et al.*, 1974 ; AZCON *et al.*, 1976 ; HÖFLICH *et al.*, 1995 ; GERMIDA and WALLEY, 1996).

Le Burkina Faso dispose de réserves de phosphates naturels tricalciques estimées à  $10^8$  tonnes (TRUONG *et al.*, 1977). Ces phosphates présentent une faible réactivité qui limite considérablement leur efficacité agronomique même dans des sols acides (TRUONG *et al.*, 1977 ; EASTERWOOD *et al.*, 1989). Des essais agronomiques ont montré qu'aux doses équivalentes à 100 et 200 ppm de P, ces phosphates naturels sont les moins efficaces de tous ceux d'Afrique de l'Ouest (TRUONG *et al.*, 1977).

Nous nous proposons de vérifier si : (1) des rhizobactéries améliorent la solubilisation des phosphates naturels, l'absorption du P, la fixation d'azote et la croissance du niébé en général, (2) des différences existent de ce point de vue entre espèces de rhizobactéries.

## Matériels et méthodes

Cette expérience a été réalisée sur un sol faiblement acide et pauvre en phosphore assimilable. Le sol a été tamisé (2 mm) et désinfecté par autoclavage (1h à 120 °C) pour éliminer la microflore native. La composition physico-chimique du sol est comme suit : 8,7 %

d'argile, 4,6 % de limon, 86,6 % de sable, 0,12 % de matière organique, 0,07 % de carbone total, 0,02 % d'azote total, 171 ppm de phosphore total, 0,7 ppm de phosphore assimilable (Bray-1),  $pH_{H_2O}$  de 6,6 et  $pH_{KCl}$  de 5,8.

Le phosphate naturel du Burkina, originaire du gisement de Kodjari (Province de la Tapoa, Burkina Faso) a été utilisé sous sa forme pulvérulente ou Burkina Phosphate (BP à 12 % de P et 90 % du broyat est de diamètre inférieur à 90 mm) mélangé au sol à deux doses : 100 mg P (BP1) et 200 mg P (BP2) / kg de sol. Le mélange (7 l) a été distribué dans des pots en plastique de 9 l.

Des graines de la variété locale B301 (Institut de l'environnement et de recherches agricoles) de *Vigna unguiculata* (L) Walp ou niébé ont été désinfectées avec du chlorure mercurique à 0,1% pendant 10 mn, rincées abondamment à l'eau distillée stérile et incubées pendant trois jours à 30 °C. Les graines prégermées ont été repiquées à raison de six graines par pot. Au bout d'une semaine, trois jeunes plants ont été conservés dans chaque pot.

Chaque plant a été inoculé avec 5 ml de culture bactérienne en phase de croissance exponentielle (environ  $10^9$  bactéries / ml) de *Bacillus licheniformis* CECT 20, *Bacillus polymixa* CECT 153 ou *Pseudomonas striata* CCUG 2525. Ces rhizobactéries nous ont été gracieusement fournies par la Coleccion Espanola de Cultivos Tipo (Universidad de Valencia, Espana) et la Culture Collection of University of Göteborg. Les traitements étudiés pour chaque dose de BP comprennent également deux témoins (*Bacillus* et *Pseudomonas*) ayant reçu chacun 5 ml de milieu de culture bactérienne autoclavée. Tous les plants ont reçu 5 ml d'une culture de *Bradyrhizobium* sp (INKamb) (environ  $10^8$  bactéries / ml) isolée de nodules de niébé.

Le dispositif expérimental de l'essai est de type factoriel à deux facteurs : le facteur fertilisation à deux niveaux et le facteur inoculation à cinq niveaux. Tous les traitements sont répétés trois fois et disposés en randomisation totale. L'unité expérimentale est le pot en plastique avec trois plants de niébé. L'essai a été conduit pendant cinquante six jours (mai à juillet 1995) dans un abri à la température et à la lumière du jour (une photopériode d'environ 12 h, une température moyenne jour de 35 °C, une température moyenne nuit de 25 °C, une intensité lumineuse maximale de 196 W m<sup>-2</sup> et une humidité relative de 16 à 89 %).

La récolte des plants a été effectuée avant l'apparition des gousses. Des variables de croissance (nombre et poids sec des nodules, poids sec de la partie aérienne et racinaire) et de nutrition minérale (P et N total des tiges feuillées, P assimilable des sols fertilisés) ont été mesurées. L'azote a été déterminé par la méthode de Kjeldahl, le phosphore assimilable par la méthode de Bray-1 et le phosphore total par la méthode de MURPHY et RILEY (1962).

Les données ont été analysées par la technique des contrastes (IRRISTAT version 92-1).

## Résultats et discussion

### Effets des rhizobactéries sur la solubilisation du phosphate naturel, l'absorption du phosphore, la croissance et la fixation d'azote du niébé

L'analyse de variance indique une interaction hautement significative ( $\alpha = 1\%$ ) entre les facteurs fertilisation et inoculation pour toutes les variables considérées sauf pour le P assimilable des sols fertilisés (tableau I).

Le tableau II présente les moyennes du facteur inoculation pour tous traitements fertilisation confondus.

Le contraste entre les plants inoculés avec *Bacillus polymixa* ou *Pseudomonas striata* et les témoins indique une différence hautement significative ( $\alpha = 1\%$ ) pour toutes les variables mesurées (tableau III). Avec *Bacillus licheniformis* ce contraste est hautement significatif ( $\alpha = 1\%$ ) pour le nombre et poids sec des nodules, le poids sec des tiges et des racines et l'azote total des tiges feuillées, significatif ( $\alpha = 5\%$ ) pour le P total des tiges et non significatif pour le P assimilable des sols fertilisés (tableau II).

En application directe, le phosphate naturel de Kodjari a un effet bénéfique sur la plupart des plantes cultivées dans des sols acides (SÉDOGO *et al.*, 1983 ; LOMPO, 1993) comme le montrent également nos résultats sur le niébé cultivé sur sol faiblement acide (tableau I). Cependant, ce phosphate a une faible solubilité comparée à d'autres phosphates naturels (TRUONG *et al.*, 1977 ; EASTERWOOD *et al.*, 1989). Pour augmenter sa solubilisation dans un sol faiblement acide, nous avons utilisé des rhizobactéries réputées solubilisatrices des phosphates insolubles et capables de stimuler le développement racinaire des plantes (AZCON *et al.*, 1976 ; RAJ *et al.*, 1981 ; KLOEPPER *et al.*, 1991). Le contraste entre les témoins et les plantes inoculées avec *P. striata* ou *B. polymixa* est hautement significatif pour le P assimilable des sols fertilisés (tableau III). Ceci suggère que ces rhizobactéries ont un effet solubilisateur du BP. Le fait que ce contraste soit non significatif avec *B. licheniformis* (tableau III), pourrait indiquer que cette rhizobactérie a un effet moins efficace sur la solubilisation du BP ou qu'elle mobilise beaucoup plus le phosphore disponible pour son propre métabolisme.

En plus, les rhizobactéries ont stimulé significativement la croissance du niébé en particulier celle du système racinaire (tableau I). *P. striata*, *B. polymixa* et *B. licheniformis* ont augmenté le poids sec des racines du niébé respectivement de 204 %, 146 % et 96 % (tableau II).

La production de phytohormones est largement répandue chez les rhizobactéries et leur rôle est bien établi dans la stimulation de la croissance des plantes (KLOEPPER *et al.*, 1991 ; DÉZIEL *et al.*, 1996 ; PATTEN and GLICK, 1996). Bien que l'activité hormonale de ces rhizobactéries n'ait pas été évaluée dans le cadre de cette étude, il est permis de penser qu'elle pourrait jouer un rôle important dans la stimulation de la croissance du niébé et en particulier de son système racinaire (AZCON *et al.*, 1976 ; PATTEN and GLICK, 1996). Un meilleur développement du système racinaire permet à la plante d'explorer un volume de sol plus important et donc de mieux s'alimenter en phosphore disponible. D'ailleurs le P total des tiges feuillées de niébé inoculé avec *P. striata*, *B. polymixa* ou *B. licheniformis* a significativement augmenté respectivement de 198 %, 184 % et 26 % (tableau II).

**Tableau I.** Analyse de variance des variables de croissance et de nutrition minérale de *Vigna unguiculata* (L) Walp en fonction de la fertilisation avec du phosphate naturel et de l'inoculation avec des rhizobactéries.

Sources de variation	ddl	Nodules (nbre/plant)		Nodules (mg/plant)		Racines (mg/plant)		Tiges (mg/plant)		P total de tiges (mg/plant)		P total de tiges (mg/plant)		P assimilable des sols (mg/plant)	
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Fertilisation	1	537,63	**	1 907,22	**	147 432,92	**	3 369 946,66	**	297,045	**	1 076,04	**	11,346	**
Inoculation	4	132,28	**	451,14	**	157 489,12	**	597 566,85	**	93,61	**	281,17	**	0,817	**
Fertilisation x Inoculation	4	14,38	**	19,14	**	6 128,63	**	34 901,52	**	10,485	**	13,10	**	0,224	ns
Résiduelle	20														
Total	29														

\* = significatif au seuil de 5 % ; \*\* = significatif au seuil de 1 % ; ns = non significatif ; CM = Carrés moyens.

**Tableau II.** Moyennes des variables de croissance et de nutrition minérale de *Vigna unguiculata* (L) Walp en fonction de l'inoculation avec des rhizobactéries (tous les traitements fertilisation confondus).

Traitements	Nodules (nbre/plant)	Nodules (mg/plant)	Racines (mg/plant)	Tiges (mg/plant)	P total des tiges (mg/plant)	N total des tiges (mg/plant)	P assimilable des sols (ppm)
<i>Pseudonas striata</i>	21,17	30,81	553,41	1 332,56	13,60	27,80	3,76
<i>Bacillus lopymixa</i>	16,50	20,82	369,76	840,20	8,94b	18,20	3,52
<i>Bacillus licheniformis</i>	15,33	15,49	293,73	660,90	5,40	15,32	3,22
Témoin <i>P. striata</i>	10,33	9,94	182,04	588,08	4,57	10,90	3,05
Témoin <i>Bacillus</i> spp	9,83	10,34	150,20	578,90	4,30	11,55	2,83
CV (%)	7,8	6,1	6,9	4,9	8,2	6,9	12,2

Le développement du système racinaire a eu également pour effet d'augmenter les sites de nodulation. Ceci est vérifié chez le niébé inoculé avec les rhizobactéries pour lequel le nombre et le poids sec des nodules ont significativement ( $\alpha = 1 \%$ ) augmenté par rapport aux traitements témoins (tableau III). Ceci est en accord avec certaines études qui indiquent que les rhizobactéries stimulent la nodulation des légumineuses à graines (POLONENKO *et al.*, 1987). Quoique les mécanismes demeurent non encore élucidés (KLOEPPER *et al.*, 1991), cette stimulation de la nodulation pourrait contribuer à une meilleure expression de la fixation d'azote du niébé.

### **Efficacité des espèces de rhizobactéries**

En comparant les rhizobactéries entre elles, il apparaît que les plants inoculés avec *P. striata* ont nettement mieux poussé que les plants inoculés avec *B. polymixa* qui, à leur tour ont mieux poussé que ceux inoculés avec *B. licheniformis* (tableau III). En effet, on observe des différences hautement significatives entre les pots inoculés avec *P. striata* et ceux inoculés avec *B. licheniformis* pour les variables nombre et poids sec des nodules, poids sec des tiges et des racines, P total et N total des tiges et significative ( $\alpha = 5 \%$ ) pour le P assimilable des sols fertilisés (tableau III). Le même cas de figure est observé quand on compare les plants inoculés avec *P. striata* et ceux inoculés avec *B. polymixa* pour les variables mesurées sauf pour le P assimilable des sols pour lequel la différence est non significative. Les plants inoculés avec *B. polymixa* présentent une différence hautement significative par rapport à ceux inoculés avec *B. licheniformis* quand on considère les variables poids sec des nodules, poids sec des tiges et des racines, P total et N total des tiges. Par contre, aucune différence significative n'est observée entre ces deux rhizobactéries quand on considère le nombre de nodules et le P assimilable des sols. La comparaison des deux témoins *P. striata* et *Bacillus* spp montre une différence non significative pour toutes les variables considérées sauf pour le poids sec des racines pour lequel elle est hautement significative ( $\alpha = 1 \%$ ) (tableau III).

Il ressort de cet essai que les variables mesurées chez les plantes inoculées avec *P. striata* ont été significativement supérieures à celles des plantes inoculées avec *Bacillus* spp. Ceci est en accord avec certaines études qui indiquent que les souches du genre *Pseudomonas* semblent les plus efficaces dans la production de phytohormones stimulant la croissance des plantes en particulier du système racinaire (AZCON *et al.*, 1976 ; PATTEN and GLICK, 1996). La différence entre les témoins *Bacillus* spp et le témoin *P. striata* est hautement significative ( $\alpha = 1 \%$ ) pour le poids sec des racines et non significative pour les autres variables (tableau III). Des essais conduits avec un filtrat de culture bactérienne et/ou de culture bactérienne autoclavée de *Pseudomonas* ont également montré une meilleure croissance racinaire comparativement au témoin inoculé avec des bactéries autoclavées et lavées (HÖFLICH *et al.*, 1995 ; GERMIDA and WALLEY, 1996). Cette différence serait liée à la présence de phytohormones (AIA...) dans les extraits des bactéries autoclavées non lavées. Ceci pourrait expliquer l'effet positif des *Pseudomonas* tués sur la biomasse racinaire du niébé observé dans notre essai.

**Tableau III.** Contraste entre les variables de croissance et de nutrition minérale de *Vigna unguiculata* (L) Walp en fonction de l'inoculation avec des rhizobactéries (tous traitements fertilisation confondus).

Contraste	ddl	Test F						
		Nodules (nbre/plant)	Nodules (mg/plant)	Racines (mg/plant)	Tiges (mg/plant)	P total de tiges (mg/plant)	P total de tiges (mg/plant)	P assimilable des sols (ppm)
Bl vs témoin B. spp	1	77,79 **	69,22 **	134,12 **	13,18 **	5,73 *	31,48 **	2,89 ns
Bp vs témoin B. spp	1	114,29 **	287,01 **	313,83 **	133,80 **	158,89 **	98,14 **	8,94 **
Ps vs témoin Ps	1	528,29 **	1138,76 **	897,85 **	1086,09 **	718,56 **	634,78 **	9,46 **
Témoin B. spp vs Témoin Ps	1	< 1 ns	< 1 ns	6,60 **	< 1 ns	< 1 ns	< 1 ns	< 1 ns
Bp vs témoin Ps	1	92,50 **	309,44 **	229,42 **	124,56 **	178,87 **	118,49 **	4,11 ns
Bl vs témoin Ps	1	60,81 **	80,45 **	81,22 **	10,39 **	10,00 **	43,42 **	< 1 ns
Bp vs témoin B. spp	1	312,43 **	1095,36 **	1058,40 **	1113,05 **	677,93 **	586,41 **	16,31 **
Bl vs Bp	1	3,50 ns	74,33 **	37,63 **	63,00 **	104,20 **	18,46 **	1,66 ns
Bp vs Ps	1	56,00 **	260,98 **	219,56 **	475,03 **	180,41 **	204,76 **	1,10 ns
Bl vs Ps	1	87,50 **	613,87 **	438,98 **	884,02 **	559,03 **	346,16 **	5,47 *

\* = significatif au seuil de 5 % ; \*\* = significatif au seuil de 1 % ; ns = non significatif ; B = *Bacillus* ; *Bacillus licheniformis* ; Bp = *Bacillus polymixa* ; Ps = *Pseudomonas striata*.

## Conclusion

Cette étude a montré que les rhizobactéries peuvent avoir un effet marqué tant sur la solubilisation du phosphate naturel de Kodjari que sur la croissance, la nutrition minérale et la nodulation du niébé avec une efficacité plus ou moins grande suivant l'espèce sélectionnée.

Les phosphates naturels sont des sources de phosphore à action progressive qui maintiennent, voire relèvent le niveau de P total des sols carencés. Leur association avec des rhizobactéries sélectionnées pourrait contribuer, de manière durable, à une meilleure expression de la fixation d'azote des Légumineuses à graines. □

## Références bibliographiques

- ASMAH A.E., 1995. Effect of phosphorus source and rate of application on VAM fungal infection and growth of maize (*Zea mays* L.). *Mycorrhiza* 5 : 223-228.
- AZCON R., BAREA J.M., HAYMAN D.S., 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 8 : 135-135.
- BÂ A.M., BAZIÉ M., GUISSOU T., 1996. Effet du phosphate naturel sur la croissance et la nutrition minérale de jeunes plants d'*Acacia albida* Del en présence ou non de mycorrhizes. "In" Les parcs à faidherbia (CIRAD-Forêt, ed.), Cahiers Scientifiques 12 : 237-244.
- BÂ A.M., GUISSOU T., 1996. Rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and nutrient uptake of *Faidherbia albida* (Del) in an alkaline sandy soil. *Agroforestry Systems* 34 : 129-137.
- BAREA J.M., AZCON R., HAYMAN D.S., 1974. Possible synergic interactions between Endogone and phosphate-solubilizing bacteria in low phosphate soils. "In" *Endomycorrhizas*, Ed. F.E. Sanders, B. Mosse, P.B. Tinker, Academic Press, London, p. 409-417.
- BOYER Y., 1982. Dynamique du phosphore. "In" sols ferralitiques, Ed. ORSTOM, Tome X, p. 180-192.
- DÉZIEL E., PAQUETTE G., VILLMUR R., LÉPINE F., BISAILLON J.G., 1996. Biosurfactant production by a soil *Pseudomonas* strain growing on polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl. Environ. Microbiol.* 62 (6) : 1908-1912.
- DUMONT C., DUPONT D.D.B., 1967. Observation sur la priorité à accorder en vulgarisation à la fumure des céréales de culture sèche en Haute Volta. Doc. Ronéo IRATHV, 21 p.
- EASTERWOOD G.W., SARTAIN J.B., STREET J.J., 1989. Fertilizer effectiveness of three carbonate apatites on an acid ultisol. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 20 : 789-800.
- GERMIDA J.J., WALLEY F.L., 1996. Plant growth-promoting rhizobacteria alter rooting patterns and arbuscular mycorrhizal fungi colonization of field-grown spring wheat. *Biol. Fertil. Soils* 23 : 113-120.
- HÖFLICH G., WIEHE W., HECHT-BUCHHOLZ C., 1995. Rhizosphere colonization of different crops with growth promoting *Pseudomonas* and *Rhizobium* bacteria. *Microbiol. Res.* 150 : 139-147.
- ISLAM R., AYANABA A., SANDERS F.E., 1980. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to inoculation with VA-mycorrhizal fungi and to rock phosphate fertilization in some unsterilized nigerian. *Plant and Soil* 54 : 107-117.
- JUO A.S.R., KANG B.T., 1979. Effect of liming on the availability of three rock phosphate sources. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 10 : 993-1003.
- KLOPPER J.W., ZABLOTOWICZ R.M., TIPPING E.M., LIFSHITZ R., 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizers. "In" *The rhizosphere and plant growth*, Ed. D.L. Keister, P.B. Cregan, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, p. 315-326.
- KRISHNA K.R., LEE K.K., 1987. Management of vesicular-arbuscular mycorrhiza in tropical cereals. "In" *Mycorrhizae in the next decade*, Ed. D.M. Sylvia, L.L. Hung, J.H. Graham, Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, p. 43-44.
- LOMPO F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso: études des effets de l'interaction phosphate naturel-matière organique. Thèse de Docteur Ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 249 p.
- MURPHY J., RILEY J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27 : 31-35.

**PATTEN C.L., GLICK B.R., 1996.** Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic. *Can. J. Microbiol.* 42 : 207-220.

**PICHOT J., TRUONG B., 1976.** Action des endomycorhizes sur la croissance et la nutrition phosphatée de l'agrotis en vases de végétation et sur le phosphate isotopiquement diluable du sol. *Agronomie tropicale* 31 : 375-378.

**POLONENKO D.R., SCHER F.M., KLOEPPER J.W., SINGLETON C.A., LALIBERTE M., ZALESKA I., 1987.** Effects of root colonizing bacteria on nodulation of soybean roots by *Bradyrhizobium japonicum*. *Can. J. Bot.* 33 : 498-503.

**RAJ J., BAGYARAJ D.J., MANJUNATH A., 1981.** Influence of soil inoculation with vesicular mycorrhiza and a phosphate-dissolving bacterium on plant growth and <sup>32</sup>P-uptake. *Soil Biol. Biochem.* 13 : 105-108.

**ROBINSON J.S., SYERS J.K., 1990.** A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gfsa phosphate rock. *J. Soil Sci.* 41 : 597-605.

**SANCHEZ P.A., 1995.** Science in agroforestry. *Agroforestry systems* 30 : 6-55

**SÉDOGO P.M., BIKIENGA I.M., OUATTARA D., 1983.** Utilisation des phosphates naturels de Haute-Volta : synthèse des premiers résultats. *Bull. trim. d'inf. Sci. et techn.* 14 : 30-40.

**TRUONG B., PICHOT J., BEUNARD P., 1977.** Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. *Agronomie tropicale* 33 : 136-145.