

Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso)

Emmanuel Compaoré, Jean-Yves Grimal,
Jean-Louis Morel, Jean-Claude Fardeau

En région tropicale, le phosphore assimilable des sols est l'un des principaux facteurs limitant la croissance des plantes [1-3]. Les sols ferrugineux tropicaux de la savane du Burkina Faso sont généralement très pauvres en phosphore assimilable. En raison de leur nature et de leur histoire pédoclimatique, ils présentent une concentration des ions phosphate dans la solution du sol généralement inférieure à 0,02 mg/l de phosphore, valeur considérée comme critique pour une nutrition phosphatée non limitante des cultures [4]. Il est possible d'augmenter le phosphore assimilable du sol et sa biodisponibilité par des apports d'engrais phosphatés [5-7]. Au Burkina Faso, les amendements disponibles sont principalement des matériaux organiques bruts ou compostés (résidus de récolte, déjections animales, déchets ménagers) [8]. La part des engrais minéraux dans l'entretien ou l'accroissement de la fertilité des sols reste très faible malgré l'existence à Kodjari de gisements de minerais de phosphates dont la teneur en P_2O_5 est comprise entre 25 et 31 % [9] et dont les réserves sont estimées à 65. 10⁶ tonnes de phosphates naturels. L'emploi du phosphate naturel finement broyé du Burkina Faso (BP) pourrait

améliorer le statut phosphorique des sols à moindre coût si le phosphore apporté est effectivement valorisé par les cultures. Les phosphates naturels du Burkina Faso sont réputés « peu réactifs » : ils ne se dissolvent qu'en partie dans les réactifs conventionnels [6]. Dans le sol, à l'interface sol-racine, la plante peut favoriser la dissolution des phosphates en modifiant les conditions du milieu (acidification, complexation, activité microbienne) et donc la biodisponibilité des éléments nutritifs [10]. C'est ainsi que la baisse du pH permet la dissolution des phosphates naturels et augmente l'assimilation du phosphore issu de l'apatite [11]. Les légumineuses, par la fixation de l'azote atmosphérique, contribuent à diminuer le pH de la rhizosphère ; elles pourraient ainsi augmenter la biodisponibilité du phosphore des phosphates tricalciques ou apatitiques. Dans un système d'association légumineuse-céréale, pratique courante en Afrique occidentale, la dissolution des phosphates naturels par la légumineuse pourrait donc avoir un effet bénéfique pour la céréale.

Ce travail a été entrepris pour étudier l'efficacité du phosphore des phosphates naturels de Kodjari brut (BP) et partiellement acidulés (BPA) en comparaison avec un engrais soluble-eau, le superphosphate (TSP), dans un sol ferrugineux tropical. Le phosphore assimilable est marqué par une solution de $^{32}PO_4^{3-}$ [12, 13] pour permettre de déterminer l'utilisation réelle du phosphore contenu dans l'engrais apporté [14]. Deux espèces végétales, une légumineuse, le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp), et une céréale, le maïs (*Zea mays* L.), cultivées pour l'alimentation des populations d'Afrique Occidentale, ont été testées séparément ou en association.

Matériel et méthodes

Sol

La terre utilisée provient de l'horizon Ap d'un sol ferrugineux tropical représentatif des sols de l'Afrique de l'Ouest. Le prélèvement a été réalisé dans une région du sud-ouest du Burkina Faso, en zone de savane, dans un champ n'ayant jamais reçu d'engrais minéral et cultivé sans période de jachère depuis seize ans [15, 16]. L'analyse de la terre montre une texture sableuse, un pH légèrement acide, une teneur de matière organique et une capacité d'échange cationique (CEC) faible (tableau 1). La terre est très pauvre en phosphore total et en phosphore disponible pour les plantes. Les valeurs des paramètres C_p (concentration de phosphore dans la solution du sol) et E_1 (quantité de phosphore du sol instantanément disponible) déterminées par la méthode des cinétiques d'échanges isotopiques [17] sont largement inférieures aux valeurs critiques (C_p inférieure à 0,02 mg/l et E_1 inférieure à 5 mg/kg) (tableau 2). Dans ces conditions, le défaut de phosphore risque de limiter fortement le rendement des cultures si les autres facteurs sont à l'optimum.

Engrais phosphatés

Le phosphate naturel du Burkina Faso (BP) provenant de l'unité de production de Diapaga (gisements de Kodjari à l'Est) est le produit local retenu. La composition minéralogique déterminée par diffractométrie aux rayons X donne 63,7 % de francolite, 27,2 % de quartz et 9,1 % non identifié [18]. Finement broyé, il se présente sous forme de poudre grisâtre dont la teneur en phosphore total est de 11,2 % avec une

E. Compaoré, J.-Y. Grimal, J.-L. Morel : Laboratoire Sols et Environnement ENSAIA-INRA, BP 172, 2, avenue de la Forêt-de-Haye, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France.

J.-C. Fardeau : Commissariat à l'Énergie atomique, Département d'éco-physiologie végétale et microbiologie - LEMIR, CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-lès-Durance, France.

Tirés à part : J.-L. Morel

Tableau 1

Principales caractéristiques analytiques de l'horizon Ap du sol tropical ferrugineux étudié

pH (H ₂ O)	6,2
pH (KCl)	5,2
Argile (%)	8,9
Limon (%)	21,9
Sable (%)	69,2
Matière organique (%)	0,5
CEC (mEq/100 g)	3,5
Ca*	35,7
K*	1,7
Mg*	16,7
Na*	11,5
Taux de saturation (%)	65,6
N	0,041
C	0,35
C/N	8,5

Extractibles à la dithionite

Al _d (mg/g)	0,4
Fe _d (mg/g)	4
Si _d (mg/g)	0,8

* Pourcentage de la CEC (capacité d'échange cationique).

The main characteristics of the tropical ferruginous soil used in this study

solubilité dans l'eau de 0,03 % (tableau 3). Il est comparé au même phosphate naturel ayant subi une attaque partielle avec un mélange acide sulfurique et phosphate monoammonique (CIRAD/Montpellier). Ce phosphate naturel acidulé (BPA) présente une teneur en phosphore de 9,4 % et une solubilité dans l'eau de 12,9 %. Le superphosphate triple (TSP), contenant 20,6 % de phosphore, est utilisé comme engrais soluble-eau de référence.

Marquage du phosphore assimilable du sol avec des ions $^{32}\text{PO}_4^{3-}$

Le phosphore assimilable du sol est marqué avec le ^{32}P selon la méthode décrite par Fardeau [19]. La terre, tamisée à 2 millimètres, est divisée en quatre lots de 15 kilos correspondant à quatre traitements (Témoin sans engrais, BP, BPA et TSP) et 450 millilitres de solution radioactive de $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ (0,82 mole Bq/l) sont ajoutés et mélangés manuellement à chaque lot. Ensuite, les engrais finement broyés sont incorporés à la terre à la dose de 50 milligrammes de phos-

Tableau 2

Statut du phosphore (phosphore) dans le sol étudié

Paramètres des cinétiques d'échanges isotopiques				P total	P organique	P Olsen	P Bray-I
Cp (mg/l)	n	R ₁ /R	E ₁ (mg/kg)	(mg/kg)			
0,009	0,31	0,58	0,16	149,8	25,4	1,2	1,7

Cp : concentration de phosphore dans la solution du sol ; E₁ : quantité de phosphore du sol instantanément disponible ; R₁/R : image du pouvoir fixateur du sol vis-à-vis des ions phosphate ; n : coefficient de la régression $\text{Log} \frac{R_t}{R} = f(\text{Log} t)$; R_t : radioactivité en solution t min après injection de ^{32}P portant une radioactivité R.

P status in the soil studied

Tableau 3

Composition chimique et réactivité des phosphates naturels utilisés

	Burkina phosphate (BP)	Burkina phosphate acidulé (BPA)
pH	6,0	4,2
P _{total} (%)	11,2	9,4
Al _d (mg/g)	2,4	2
Fe _d (mg/g)	11,6	1,9
Si _d (mg/g)	2,6	nd
Solubilité H ₂ O (%)	0,03	12,9

Chemical composition and reactivity of the rock phosphate used

phore par kilo. La terre est alors répartie dans des pots à raison de 1 kilo (terre sèche) par pot. Chaque traitement engrais comporte ainsi quinze répétitions.

Cultures en vases de végétation

Des graines prégermées de maïs (240 ± 10 mg) et de niébé (140 ± 10 mg) sont semées dans les pots (une graine de maïs ou de niébé par pot, une graine de maïs associée à une graine de niébé par pot). Un traitement correspond à un type d'engrais et un type de plante ; chaque traitement est répété cinq fois et les pots sont disposés en serre en cinq blocs suivant un dispositif *split-plot*. Pour s'assurer que le phosphore est le seul facteur limitant, les éléments nutritifs suivants sont apportés à chaque pot : 164 milligrammes de K sous forme de (K₂SO₄), 147 milligrammes de N sous forme de (NO₃NH₄), 34 milligrammes de Mg sous forme de (MgSO₄, 7H₂O), 3,9 milligrammes de Mn sous forme de (MnSO₄, H₂O), 2,7 milligrammes de Cu sous forme de (CuSO₄, 5H₂O) et 0,5 milligramme de

Zn sous forme de (ZnSO₄, 7H₂O). L'humidité du sol est maintenue à 80 % de la capacité au champ.

Analyse statistique des données

Les données ont été traitées par analyse de variance et les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Newman-Keuls (p < 0,05).

Résultats et discussion

Production de matière sèche

L'efficacité du BP, appréciée par la production de matière sèche, est généralement inférieure à celle du BPA [7, 21, 22]. Nos résultats confirment que le BP a un effet très réduit sur la production de matière sèche du maïs et du niébé cultivés seuls ou en association, et ce malgré la très

faible fertilité phosphorique initiale et un pouvoir fixateur limité du sol (*figure 1A*). En présence de BP, la production de matière sèche est de 0,77 gramme de matière sèche (MS) par pot, qui n'est pas significativement différente de 0,44 g MS par pot produit dans le témoin non fertilisé. En revanche, avec les apports de BPA et de TSP, la quantité de matière sèche produite est multipliée par dix environ (BPA : 4,65 g MS par pot ; TSP : 3,69). Lorsque les plantes sont cultivées en association, la production de biomasse du maïs ou du niébé est du même ordre de grandeur que celle obtenue en culture pure. Avec le BP, le niébé paraît bénéficier de la présence du maïs avec un accroissement d'environ 50 % de la production de matière sèche. En présence de BPA et de TSP, les productions de biomasse par le maïs et le niébé cultivés seuls sont significativement supérieures à celles des mêmes plantes cultivées en association. La production de matière sèche de l'association maïs + niébé est pratiquement identique à celle du maïs cultivé seul.

Teneur du phosphore dans les plantes

Les teneurs du phosphore dans les plantes varient en fonction de la nature de l'engrais (*figure 1B*). La valeur la plus élevée est obtenue avec le TSP, 3 mg/g de matière sèche, quelles que soient la plante et les conditions de culture, seule ou associée. Avec le BPA, ces teneurs sont significativement supérieures à celles obtenues avec le témoin, mais le niébé en association est pénalisé par rapport au niébé seul. Enfin, l'apport de BP reste sans effet sur la teneur du phosphore dans la plante, sauf dans le cas du niébé seul dont la teneur est légèrement supérieure à celle du témoin. De même, avec un apport de BP, la teneur du phosphore dans le niébé seul est significativement supérieure à celle dans le maïs ; dans ce cas, il s'agit vraisemblablement d'une augmentation apparente, en raison d'un plus faible développement végétatif de la légumineuse (*figure 1A*).

Exportations du phosphore

Les exportations de phosphore par les plantes témoin sont très basses et aucune différence n'est observée entre témoin et BP (*figure 1C*). Avec le BPA, au contraire, les exportations sont plus élevées, mais c'est avec le TSP que les prélève-

ments de phosphore sont les plus importants : en moyenne, par rapport au témoin, l'exportation est multipliée par 18 (BPA) et 37 (TSP). Dans tous les cas, la plante cultivée seule exporte plus de phosphore qu'en association ; l'exportation du phosphore par l'association maïs + niébé est identique à celle du maïs seul. Plus l'engrais est soluble, plus l'écart est important entre les plantes cultivées seules et associées. Les exportations du phosphore en fonction des modalités de culture, espèce seule ou association, ne reflètent cependant pas les productions de matière sèche. Le phosphore exporté avec le BPA devrait être au moins égal au phosphore avec le TSP si l'on se réfère à la production de matière sèche. Mais d'autres éléments nutritifs, comme le calcium de l'apatite du BPA, pourrait avoir favorisé le développement des végétaux indépendamment du phosphore.

Valeur phosphatée des engrais

Les coefficients réels d'utilisation du phosphore des engrais sont en moyenne

de 0,4 % pour le BP, 9,8 % pour le BPA et 20,7 % pour le TSP (*figure 1D*). Le CRU (coefficient d'utilisation réelle du phosphore) du BP est donc voisin de zéro, celui du BPA variant entre 3 et 13 % selon la culture. Les CRU élevés obtenus avec le TSP sont à relier à la faible fertilité phosphorique du sol et à son faible pouvoir fixateur. En culture de maïs seul, les CRU obtenus sont supérieurs à ceux observés avec le niébé. Le maïs semble donc exploiter plus efficacement l'engrais phosphaté que le niébé, à la fois par son système racinaire et par la production possible de composés acides et/ou complexants [18, 23, 24]. Le niébé est, comme généralement les légumineuses, une plante beaucoup plus exigeante que le maïs vis-à-vis du phosphore ; sa croissance a été particulièrement affectée par les conditions limitantes du milieu et la faible biodisponibilité du phosphore du sol ou du BP.

Le Pdff (phosphore venant des engrais) moyen est de 38 % pour le BP, 86 % pour le BPA et 95 % pour le TSP (*figure 1E*). Ces valeurs de Pdff élevées sont dues à l'apport de 50 mg P/kg dans un sol dont la quantité immédiatement disponible ne dépasse pas 0,16 mg P/kg.

Summary

Bioavailability of a natural phosphate of Kodjari (Burkina Faso)

E. Compaoré, J.Y. Grimal, J.L. Morel, J.C. Fardeau

*Management of phosphorus fertilization in tropical areas requires knowledge of both phosphore fertility of the soils and the efficacy of local natural fertilizers. This research was conducted to determine the P-fertilizer efficacy of unacidulated (BP) and partially acidulated (BPA) phosphate rocks from Kodjari (Burkina Faso). Phosphorus from a ferruginous soil (pH 6.2) was labelled with a solution, and the soil was amended with 50 mg phosphore kg in the form of ground BP, ground BPA and superphosphate (TSP). Two crops, cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and maize (*Zea mays* L.), were grown alone or intercropped. After a 2-month growth period, shoot yields, phosphore uptake, the P utilization coefficient (CRU%) and phosphore derived from fertilizer (Pdff%) were determined (Fig. 1). The results highlighted that dry matter yields and phosphore uptake were increased after TSP and BPA applications. However, with BP, there were no significant differences as compared to the unfertilized control. Similarly, when intercropped, cowpea and maize did not respond to the BP application. In conclusion, the near-zero CRU% values confirmed that unacidulated BP was not very efficient in supplying phosphorus to the plants under these test conditions.*

Cahiers Agricultures 1997 ; 6 : 251-5.

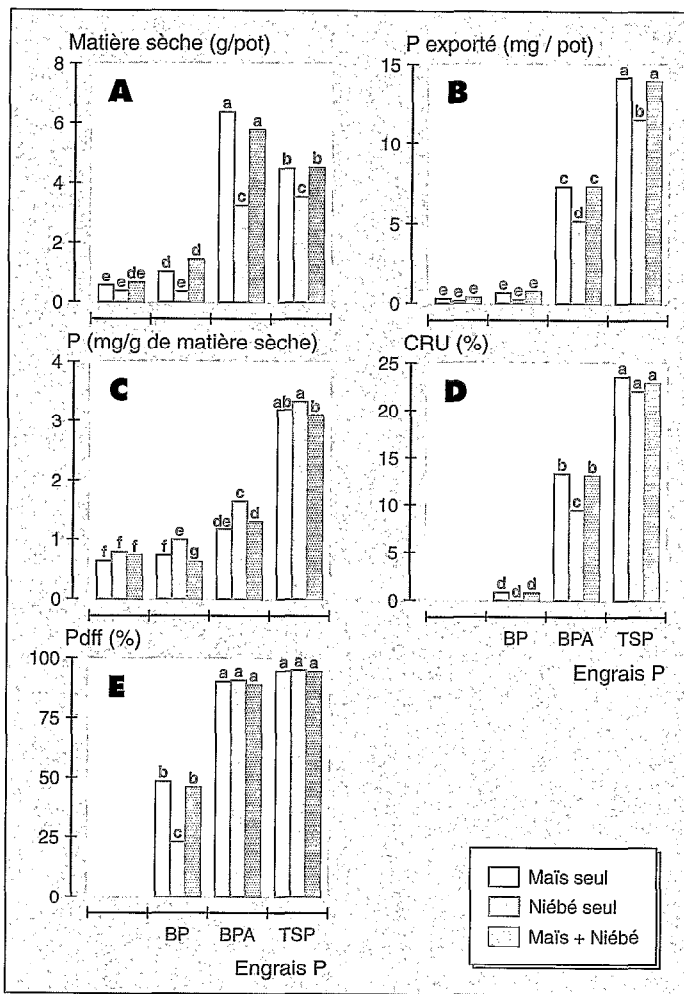


Figure 1. Les barres affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

A. Rendement en matière sèche des parties aériennes des plantes. B. Phosphore exporté par les parties aériennes des plantes. C. Teneur du phosphore dans les parties aériennes des plantes. D. Coefficient réel d'utilisation (CRU %) du phosphore des engrais étudiés. E. Phosphore provenant des engrais (Pdff) dans les plantes.

Figure 1. Bars with the same letter are not significantly different at the 5 % probability level.

A. Dry matter yields of aerial plant parts. B. phosphore exported by the aerial plant biomass of plants. C. phosphore content in aerial plant biomass. D. Utilization coefficient (CRU%) of phosphore from the phosphorus fertilizer studied. E. Phosphorus derived from fertilizer in plants.

Encadré

Les paramètres mesurés

Après deux mois de culture, les parties aériennes des plantes sont récoltées et séchées à l'étuve pendant 72 heures à 70 °C. La matière sèche totale des parties aériennes est pesée, puis calcinée à 580 °C pendant 5 heures. Les cendres sont reprises à l'acide sulfurique concentré dilué au 1/10. La radioactivité de la solution est comptée par effet Cerenkov et le phosphore total des végétaux dosé colorimétriquement à partir de la formation du complexe céruléo-molybdique [20]. Les variables mesurées sont donc la teneur du phosphore dans la plante, le phosphore exporté avec les parties aériennes, le coefficient réel d'utilisation des engrais (CRU) et le Pdff, c'est-à-dire la part du phosphore de la plante dérivé de l'engrais. Ces deux derniers sont calculés à partir des relations suivantes :

$$CRU = \frac{1}{E} (P_e - \frac{r_e}{r_t} P_t) 100 \quad (1)$$

avec E : quantité de phosphore ajouté sous forme d'engrais ; P_e : teneur du phosphore total dans les plantes récoltées sur le sol avec engrais ; P_t : teneur du phosphore total dans les plantes récoltées sur le sol témoin ; r_e : radioactivité des plantes récoltées sur le sol avec engrais ; r_t : radioactivité des plantes récoltées sur le sol témoin.

$$Pdff = (1 - \frac{RAS_e}{RAS_t}) 100 \quad (2)$$

avec RAS_e : radioactivité spécifique du phosphore des plantes collectées sur le sol avec engrais et RAS_t : radioactivité spécifique du phosphore des plantes collectées sur le sol témoin.

Measurement of parameters

nutrition phosphatée du maïs associé. Celle-ci peut se manifester à la fois au niveau du prélèvement racinaire et de la compétition pour la lumière que le maïs a pu exercer sur le niébé, contribuant ainsi à limiter la production de biomasse.

Conclusion

Ce travail sur l'efficacité du phosphate naturel de Kodjari (BP) dans un sol ferrugi-

La quasi-totalité du phosphore de la plante provient donc de l'engrais dans le cas du BPA et du TSP. À l'inverse, la plante utilise davantage le phosphore du sol que le phosphore du BP, ce qui confirme que le phosphate naturel non acidifié est peu profitable au niébé. Dans le traitement BP et dans le cas de la culture seule, le Pdff est plus élevé chez le maïs que chez le niébé, différence qui s'atténue lorsque l'engrais est davantage soluble (BPA, TSP), ce qui signifie que le niébé a exploité moins efficacement le BP que le maïs. Le sol testé ayant un faible pouvoir fixateur, le BP éventuellement dissout dans le sol aurait pu favoriser la nutrition phosphatée de la plante ; comme cela n'a pas été le cas, nous pouvons supposer que la fixation symbiotique de l'azote (qui doit entraîner l'acidification de la rhizosphère et donc la dissolution du phosphate naturel) a été très réduite, à cause des difficultés du niébé à se développer normalement sur un sol pour lequel le phosphore est un facteur limitant.

Effet de l'association culturale sur la nutrition phosphatée des plantes

Certaines espèces végétales qui entraînent l'acidification de la rhizosphère auraient une capacité élevée à utiliser les phosphates naturels [25]. C'est le cas des légumineuses qui fixent activement l'azote atmosphérique ou lorsque l'azote est apporté majoritairement sous forme ammoniacale [26, 27]. Dans le cas de la culture associée maïs-niébé, la biomasse et les quantités de phosphore exportées par le maïs n'ont pas augmenté par rapport au maïs de la culture pure. La capacité du niébé (ou de tout autre légumineuse) à utiliser efficacement les phosphates naturels dépend également de la fertilisation azotée. Dans nos cultures, l'azote a été fourni sous forme ammoniacale, ce qui a sans doute réduit la fixation symbiotique. De plus, la compétition entre les deux espèces cultivées pourrait être aussi à l'origine de la diminution de la

neux tropical désaturé du Burkina et, en comparaison avec le même phosphate naturel acidulé (BPA) et un engrais soluble-eau (le TSP), a été appliqué à une graminée (maïs) et une légumineuse (niébé).

L'apport de BP appliqué à la dose de 50 mg P/kg est resté sans effet significatif sur la production de biomasse végétale (coefficient réel d'utilisation voisin de zéro). En revanche, le TSP possède, sur ce sol très carencé, un CRU supérieur à 20 %. L'acidification partielle du BPA favorise la mobilisation du phosphore, conduisant ainsi à des coefficients d'utilisation intermédiaires entre le BP et le TSP et à des Pdff voisins de ceux observés avec l'engrais soluble-eau. En général, les CRU sont plus faibles avec le niébé qu'avec le maïs seul. L'association céréale-légumineuse n'a pas augmenté l'absorption du phosphore par les plantes. L'apport d'azote minéral a pu limiter l'effet acidifiant de la légumineuse et les conditions limitantes ont sans doute réduit la croissance d'une plante très exigeante vis-à-vis du phosphore comme le niébé. Ainsi, dans les sols de pH supérieur à 6 et sans traitement préalable, le BP ne peut être substitué aux engrais phosphatés solubles pour l'entretien de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux du Burkina; sa très faible teneur en phosphore soluble dans l'eau fait qu'il n'est pratiquement pas disponible pour la plante malgré des conditions initiales apparemment favorables, à savoir faible fertilité phosphorique et faible pouvoir fixateur. L'inefficacité du BP s'explique aussi par le pH du sol (6,2), valeur limite maximale permettant d'observer une valeur fertilisante significative des phosphates naturels calciques dans les sols insuffisamment pourvus en phosphore

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CIRAD pour son soutien et E. Frossard pour son aide dans la réalisation de ce travail.

Références

1. Roche P. Les méthodes d'appréciation du statut phosphorique des sols. Leur application à l'estimation des besoins en engrais phosphatés. In : IMPHOS, Casablanca, ed. *Proceedings of the 3rd International Congress on Phosphorus Compounds*, Bruxelles, 4-6 Octobre, 1983 : 165-93.
2. Fardeau JC, Diata S, Ndiaye JP, Jappé J. Choix de la fertilisation phosphorique dans quelques sols du Sénégal : utilisation du ^{32}P . *Agron Trop* 1983 ; 38 : 103-9.
3. Morel C, Fardeau JC. Le phosphore assimilable des sols intertropicaux : ses relations avec le phosphore extrait par deux méthodes chimiques. *Agron Trop* 1987 ; 42 : 248-57.

4. Menon KS, Fox RL. Utility of phosphate sorption curves in estimating the phosphorus requirements of cereal crops : wheat (*Triticum aestivum*). In : IMPHOS, Casablanca, ed. *Proceedings of the 3rd International Congress on Phosphorus Compounds*, Bruxelles, 4-6 Octobre, 1983 : 217-30.
5. Truong B, Pichot J, Bernard P. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. *Agron Trop* 1978 ; 33 : 136-45.
6. Paul I. *Caractérisation physico-chimique et évaluation de l'efficacité de phosphates bruts ou partiellement acidifiés provenant d'Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 1988 ; 296 p.
7. Fardeau JC, Frossard E. Processus de transformation du phosphore dans les sols de l'Afrique de l'Ouest semi-arides : application au phosphore assimilable. In : Tiessen H, Frossard E, eds. *Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems*. Nairobi, Kenya, Regional Workshop 4, Africa SCOPE/UNEP, 1991 : 108-28.
8. Sédogo MP. *Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sols ferrugineux et sous climat tropical semi-aride*. Thèse de docteur-ingénieur, Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 1981 ; 198 p.
9. Hottin G, Ouédraogo OF. *Note explicative de la carte géologique à 1/1 000 000 de la République de Haute-Volta*. BRGM éd. 1975 ; 58 p.
10. Haynes RJ. Relative ability of crop species to use phosphate rock. In : *Proceedings of the Phosphorus Symposium. Phosphorus Symposium Organising Committee, Soil and Irrigation*. Pretoria, Republic of South Africa : Research Institute, 1988 : 261-5.
11. Khasawneh FE, Doll EC. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv Agron* 1978 ; 30 : 159-206.
12. Morel C, Fardeau JC. Phosphorus availability of fertilizers : a predictive laboratory method for its evaluation. *Fert Res* 1991 ; 28 : 1-9.
13. Frossard E, Fardeau JC, Brossard M, Morel JL. Soil isotopically exchangeable phosphorus : a comparison between E and L values. *Soil Sci Soc Am J* 1994 ; 58 : 846-51.
14. Morel C, Fardeau JC. Native soil fresh fertilizer phosphorus uptake as affected by rate of application and phosphorus fertilizers. *Plant Soil* 1989 ; 115 : 123-8.
15. Taonda SJB. *Évolution de la fertilité des sols sur un front pionnier en zone nord-soudanienne (Burkina Faso)*. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 1995 ; 191 p.
16. Taonda SJB, Bertrand R, Dickey J, Morel JL, Sanon K. Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Cahiers Agric* 1995 ; 4 : 363-9.
17. Fardeau JC. Le phosphore assimilable des sols : sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. *Agronomie* 1993 ; 13 : 317-31.
18. Kpomblekou K, Tabatabai MA. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Sci* 1994 ; 158 : 442-52.
19. Fardeau JC. *Cinétiques de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols*. Thèse d'État, Université Paris VI, 1981 ; 198 p.
20. John MK. Colorimetric determination of phosphorus in soils and plant materials with ascorbic acid. *Soil Sci* 1970 ; 109 : 214-20.
21. Hammond LL, Chien SH, Mokwunye AU. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv Agron* 1986 ; 40 : 89-140.
22. Kucey RMN, Bole JB. Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by ^{32}P dilution, a value, and total phosphorus uptake methods. *Soil Sci* 1984 ; 138 : 180-8.

23. Bolan NS, Naidu R, Mahimairaja S, Baskaran S. Influence of low molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biol Fertil Soils* 1994 ; 18 : 311-9.
24. Grimal JY, Frossard E, Morel JL. The acquisition of phosphorus sorbed on a goethite by maize. In : Cook HF, Lee HC, eds. *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Wye, UK : University College Wye Press, 1994 : 235-9.
25. Haynes RJ. Relative ability of a range of crop species to use phosphate rock and monocalcium phosphate as phosphorus sources when grown in soil. *J Sci Agric* 1992 ; 60 : 205-11.
26. Bolan NS, Hedley MJ. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In : Wright RJ, Baligar VC, Murmann RP, eds. *Plant Soil Interactions at low pH*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991 : 169-79.
27. Aguilar SA, Van Diest A. Rock phosphate mobilization induced by the alkaline uptake of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant Soil* 1981 ; 67 : 27-42.

Résumé

La gestion de la fertilité des sols tropicaux nécessite de connaître simultanément les paramètres caractéristiques de la fertilité phosphatée des sols et la valeur fertilisante des produits locaux. On a déterminé l'efficacité du phosphore contenu dans le phosphate naturel (BP) de Kodjari (Burkina Faso) et de son dérivé partiellement acidulé. Le phosphore assimilable de l'horizon Ap d'un sol ferrugineux tropical (pH 6,2), désaturé et carencé en phosphore, a été marqué à l'aide d'une solution d'ions $^{32}\text{P}\text{O}_4^{3-}$. La fertilisation a été réalisée à raison de 50 mg P/kg de sol avec le BP, le même phosphate acidulé (BPA) ou le superphosphate (TSP). Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) et le maïs (*Zea mays* L.) ont été semés seuls ou en association. Après deux mois de culture, la matière sèche, le phosphore exporté, le coefficient réel d'utilisation (CRU) du phosphore des engrais, ainsi que le phosphore dérivé des engrais (Pdff) ont été déterminés. Les apports de TSP ou de BPA accroissent la production de matière sèche et le prélèvement du phosphore, alors que le BP est sans effet (CRU voisin de zéro) tandis que, pour le BPA et le TSP, les valeurs de CRU atteignent respectivement 13 et plus de 20 %. L'association du niébé avec le maïs n'a pas eu d'effet sur la mobilisation du phosphore à partir du BP. En conclusion, pour un sol de pH 6,2, le phosphate de Kodjari est sans effet, mais devient efficace après un traitement acide.