Éfficacité du phosphate naturel de Kodjari, de son dérivé partiellement acidifié et d'un phospho-compost :évaluée par la méthode d'échange isotopique

#### Emmanuel Compaoré', Jean-Claude Fardeau··, Emmanuel Frossard···,

Michel P. Sedogo····

Résumé

Une expérience d'incubation a été menée au laboratoire pour évaluer l'efficacité du phosphate de Kodjari ou Burkina phosphate (BP). de son dérivé partiellement acidifié (BPA) et d'un phospho-compost par rapport au superphosphate triple (TSP) dans un sol ferrugineux carencé en Pet de pH 6,2. Les engrais ont été apportés au sol à la dose de 50 mg P kg-1. La méthode des cinétiques d'échange isotopique a été utilisée pour caractériser le P biodisponible ou assimilable du sol.

Les paramètres caractéristiques du P isotopiquement échangeable (Cp, Elmin) déterminés avant et après incubation se classent dans l'ordre suivant : BP # phospho-compost < BPA < TSP. Le BP et le phospho-compost n'ont pas eu d'effet significatif sur leP assimilable du sol. Le pH du sol et la nature du phosphate de Kodjari sont à J'origine de ce manque d'efficacité. Le TSP, l'engrais le plus soluble et le BPA ont permis un net accroissement du niveau du P assimilable du sol. Les résultats de l'analyse comparti­ mentale ont montré que leP apporté sous forme de BP ou de phospho-compost se retrouve dans les pools peu accessibles alors qu'un apport de TSP ou de BPA renfloue en P assimilable les compartiments accessibles aux racines des plantes.

Mots-clés : phosphore assimilable, échange isotopique, sol ferrugineux, phosphate de Kodjari, phospho­ compost.

Effectiveness of unacidulated and partially acidulated Kodjari phosphate rock and a phospho-compost assessed by isotopie exchange

## Abstract

An incubation experiment was conducted in laboratory to assess the e(fectiveness of unacidulated (BP) and partially acidulated (BPA) Kodjari phosphate rock and a phospho-compost relative to triple super-

\*!NERA. Station de recherches agl'iccles de Farako-Bâ. 01 B.P. 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

*\*\** ' 1 ,

* Commissariat à l'énergie atomique. Département de physiologie Yégétale et écosystème, CE(\ Cadarache, 13108 Saint-Paul-

lèz-Durance. France.

\*\*\* Institut of Plant sciences, ETH. CH-8092, Zurich. Suisse.

\*:!<:\*\*

* + · Centre national de la recherche scientifique et technologique. B.P. 7192 Ouagadougou, Burkina Faso.

Vol. 24, no 1:..... Janvier-juin 2000, *Science et technique,* Sciences naturelles et agronomie

phosphate (TSP). as P sources in a P-deficient ferruginous soi! with pH 6.2. The phosphate fertilizers were added at a rate of 50 mg P (kg soiIf 1. The isotopie exchange method was used to c.:harac.:terize the soi! bio­

available P. The charac.:teristic parameters of isotopically exchangeable P (Cp, E 1min) determined before and after incubation were classified as follows : BP # phospho-compost < BPA < TSP. The BP and the

phospho-compost had no ignificant effect on soi! available P. The soi! pH (6.2) and the nature of the phos­ phate rock explained this inefficiency. The TSP, the most effective fertilizer and BPA increased signifi­ cantly soi! bioavailable P. Functional multiple compartment mode! of the soi! bioavailable P showed that the P added as BP or phospho-compost remains in the P pools that are less available. while the supply of TSP or BPA replenishes with available P the compartments accessible by plants mots.

Keywords: available phosphorus, isotopie exchange, ferruginous soi!, Kodjari phosphate rock, phospho-compost.

**Introduction**

Les sols de l'Afrique au sud du Sahara sont carencés en phosphore (P). Des analyses effectuées sur des sols d'Afrique de l'Ouest, en faisant appel aux méthodes d'extraction chimique (ROCHE, 1983) et à la méthode des cinétiques d'échange isotopique (FARDEAU *et al.,* 1983 ; MOREL et FARDEAU, 1987), ont montré que ces sols sont pauvres en P disponible pour les plantes ou P biodisponible et ne peuvent, en 1'état produire de rende ments pouvant faire face à l'expansion actuelle de la population. Ces auteurs ont par ailleurs montré que dans certains sols, la concentration, Cp, des ions phosphate dans la solution du

sol est nettement inférieure à 0,2 mg P L 1, valeur considérée comme suffisante pour

l'alimentation des cultures (BARBER, 1984). La majorité des sols non fertilisés des régions centre, centre;sud, et est du Burkina Faso ont des valeurs de Cp inférieures à 0,02 mg PL-1 (COMPAORE, 1996) considérée comme valeur seuil pour assurer une alimentation des cultures (MEMON et FOX, 1983). Cependant, l'accroissement des quantités de P biodispo­ nible ou « assimilable » de ces sols peut être obtenu par des apports d'engrais phosphatés (TRUONG *et al.,* 1978; Paul, 1988 ; FARDEAU et FROSSARD, 1991). L'utilisation des phosphates naturels et de divers composés organiques (compost, déchets urbains, ordures ménagères ...) comme sources de Pest indiquée à cause de leur coût peu élevé par rapport aux engrais phosphatés soluble eau. Les conditions de sol sont favorables à l'application des phosphates naturels (sols assez acides et pauvres en P) et le Burkina Faso dispose d'impor­ tantes réserves de phosphates naturels estimées à 65 x 106 tonnes. À cause de sa très faible solubilité, l'acidification du phosphate naturel peut être envisagée dans le but d'accroître son efficacité agronomique.

Toutefois, la rentabilité des engrais phosphatés locaux est liée à leur efficacité comme sources de P pour surmonter les carences en P assimilable des sols. L'évaluation de l'efficacité de ces produits locaux à accroître le niveau du P disponible pour les plantes peut être obtenue en comparant le P assimilable de sols amendés de ces engrais avec celui de sols fertilisés avec un engrais soluble eau.

#### Pour ce faire, il fallait caractériser le P biodisponible ou assimilable du sol puisque seule cette forme donne l'efficacité de l'engrais phosphaté. La méthode des cinétiques d'échange isotopique des ions phosphate dans des systèmes sol-solution permet de satisfaire cette condition.

Cette étude p011e sur la capacité de trois engrais phosphatés à accroître le P assimilable d'un sol fenugineux tropical. Il s'agit du phosphate naturel de Kodjari ou« Burkina phosphate» (BP), du Burkina phosphate pattiellement acidulé (BPA) et d'un compost issu d'un mélange de résidus organiques additionnés de BP (phospho-compost). Le superphosphate triple (TSP) est utilisé comme engrais de référence.

**Matériel et méthodes**

**Le sol**

#### L'horizon de surface (0-20 cm) d'un sç>l ferrugineux tropical a été prélevé à Thiougou dans le centre-sud du Burkina Faso pour cette étude. Les caractéristiques analytiques de ce sol sont présentées au tableau 1. C'est un sol désaturé avec un pH de 6,2. Sa texture est sableuse donc déséquilibrée, sa teneur en argile est de 8,9 %. Le taux de matière organique est faible (0,5 %). Le sol a une Capacité d'échange cationique (CEC) très faible en rapport avec la faible teneur en matière organique et en argile. Le calcium échangeable représente 35,7 % de la CEC. Les teneurs des oxydes amorphes (Al et Fe) extraits au Citrate-Bicarbonate­ Dithionite sont peu élevées.

**Tableau 1.** Caractéristiques analytiques du sol étudié.

pH(H20) 6,2

pH (KCJ) 5,2

%Argile 8,9

%Limon 21,9

%Sable. 69,2

%MO 0,5

CEC (méq 100 g-1) 3,5

%Ca 35,7

Alct (mg g-1) 0,4

Fed (mg g-1) 4,0 ,,

pt (mg p kg-1) 149,8

P (mgP kg-1) 25,4

0

P Bray-I (mg P kg-h 1,7

CEC: capacité d'échange cationique; MO: matière organique.

Vol. 24, no 1-Janvier-juin 2000, *Science et teclmique,* Sciences naturelles et agronomie

## Les engrais phosphatés

##### Le phosphate naturel

Le phosphate naturel utilisé provient des gisements de Kodjari. Il a été finement broyé par J'unité de production de Diapaga et se présente sous la forme de poudre grisâtre. Sa teneur en P total est d'environ 11,2 %et sa solubilité dans l'eau est d'environ 0,03 %.

Le phospho-compost

Le phospho-compost, fabriqué à Thiougou par un paysan, est un mélange de pailles de sorgho et de déjections de bovins auquel il a additionné, durant la phase de compostage, du phosphate naturel de Kodjari. Sa teneur en P total mesurée est de 0,4 %.

Le phosphate naturel acidulé

Le phosphate naturel acidulé a été fourni par le Cirad/Montpellier. Il s'agit d'une attaque partielle à 25 %avec un mélange d'acide sulfurique et de phosphate monoamonique. Sa teneur en P total est d'environ 9,4% et sa solubilité dans l'eau de 12,9 %.

Le Superphosphate triple

Le Superphosphate triple, l'engrais phosphaté de référence, contient environ 20,6% de P. Quelques caractéristiques chimiques des engrais phosphatés utilisés sont indiquées au tableau Il. Tableau II. Composition chimique des engrais phosphatés utilisés.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | BP | BPA | Compost |
| PH(H20) | 6,0 | 4,2 | 8,2 |
| %Pt | 11,2 | 9,4 | 0,4 |
| Ald (mg g-1) | 2,4 | 2 | nd |
| Fed (mg g·1) | 11,6 | 1,9 | nd |
| %CaO | 33 | 16.5 | nd |
| %Si02 | 27 | nd | nd |
| % Al203 | 3,2 | nd | nd |
| % Fe2o3 | 3,7 | nd | nd |
| % Solubilité H20 | 0,03 | 12,9 | nd |

BP: Burkina phosphate: BPA: Burkina phosphate partiellement acidifié'; nd: données non disponibles.

## Caractérisation du P biodisponible

Généralement, pour estimer le P assimilable de sols amendés de phosphates naturels, les méthodes d'extractions chimiques du P sont utilisées (BOLAN et HEDLEY, 1989 ; MENON *et al.,* 1991 ; SAGGAR *et al.,* 1992). Mais les solutions d'extraction qui vont d'alcaline à acide fort vont soit sous-estimer, soit surestimer le P extrait. Une mesure plus appropriée du P biodis­ ponible du sol nécessite de déterminer trois paramètres expérimentaux susceptibles de décrire les trois facteurs suivants : intensité, quantité et capacité (WHITE et BECKETT, 1964). Ces trois facteurs peuvent être déduits des paramètres thermodynamiques décrivant le processus d'échange isotopique. Car les ions phosphate du sol, assimilables par les plantes, sont celles susceptibles de participer aux échanges isotopiques (FROSSARD *et al.,* 1994 ; MOREL et PLENCHETTE, 1994).

## Expérience

Deux cent grammes de sol sont minutieusement mélangés manuellement à une quantité donnée de BP, de phospho-compost, de BPA ou de TSP à raison de 50 mg P (kg soir 1 et placés dans des pots. Les traitements réalisés sont les suivants : BP, compost, BPA, TSP et un témoin non fertilisé ; ils sont répétés trois fois. Les pots sont ensuite placés dans une étuve pendant 30 jou à 25° C. Le mélange est humecté d'eau distillée, quotidiennement, jusqu'à environ 80 % de la capacité au champ. Le temps d'incubation d'un mois·est suffisant pour obtenir des informations nécessaires sur le devenir

de l'engrais utilisé (FARDEAU *et al.,* 1995). Au 30e jour d'incubation les sols sont séchés et tamisés à 2 mm. Des cinetiques d'échange isotopique sont effectuées immédiatement après l'apport des engrais Gour 0) puis après 30 jours d'incubation. Les cinétiques ont été effectuées trois fois sur chaque traitement.

## Considérations théoriques

##### Méthode des cinétiques d'échange isotopique

Cette méthode a été antérieurement décrite en détail (FARDEAU et JAPPE, 1988; FARDEAU, 1993 ; MOREL *et al.,* 1994 ; COMPAORÉ, 1996). Une quantité R de radioactivité, comprise

entre 0,1 et 1 Mbq, présente sous forme d'ions 32po4 et sans entraîneur, est injectée dans une suspension sol/eau (1110) en état stationnaire. Puis des prélèvements sont effectués à des temps t = 1, 10, 40, 100 minutes dans le mélange. La solution est immédiatement séparée du sol par

passage sur filtres à pores calibrés à 0,2 *Jlm* ou 0,025 *Jlm* et la radioactivité, rt, restant en solu­ tion à l'instant test mesurée. Quel que soit le sol, la relation entre tet rt est unique (FARDEAU *et al.,* 1985) :,

 [1]

avec

rcx/R = 10 Cp/PMT [2]

où q et roo représentent la radioactivité restant en solution après 1 minute et l'infini, respective­ ment, et n un paramètre empirique ; Cp est la concentration des ions phosphate dans la solution du sol (mg P L·l) et PMT• le P minéral total de l'échantillon. Le facteur 10 vient du fait que le rapport de la suspension sol/solution est de 1/10.

La quantité Et (mg P kg·1) de P isotopiquement échangeable à 1'instant t est calculée en faisant l'hypothèse que la composition isotopique, c'est-à-dire le rappo11 32p;3lp, est le même pour les ions phosphate de la solution et ceux échangeables mais situés sur la phase solide du sol :

 [3]


#### alors

 [4]


#### d'où pour t = 1minute

 [5]


#### Elnùn étant la quantité de P isotopiquement échangé durant la première nùnute d'échange. Cette quantité correspond à un pool d'ions phosphate que les racines peuvent prélever sans transfor­ mations chimiques donc qui peuvent être supposés immédiatement assimilables.

Les données obtenues permettent de disposer des trois paramètres représentatifs des facteurs intensité, quantité et capacité. La concentration Cp illustre Je facteur intensité, la quantité El min est représentative du facteur quantité et Je rapport Elmin/Cp est par définition le facteur capacité ; il a pour valeur numérique 10 Rlr 1.

La radioactivité restant dans la solution du sol décroît avec le temps sans qu'il y ait un transfert net de phosphate de la solution à la phase solide du sol et vice versa, le système étant en état stationnaire. Alors, on peut donc conclure que le P isotopiquement échangeable du sol P est inclus dans un système pluricompartimental qui a été divisé en 5 compartiments de mobilité décroissante par FARDEAU (1993), comme le montre la figure 1.

Le premier pool (PL) représente le pool des ions libres directement disponibles pour les plantes. Il comprend tous les ions en sohition et des ions présents sur la phase solide du sol, mais qui rejoignent la phase liquide, en des temps inférieurs à 15 secondes. Ce pool est géné­ ralement assimilé au pool des ions échangeables en une minute (SALCEDO *et al.,* 1991).

Le deuxième pool (A) contient les ions échangeables entre 1 minute et 1 jour, c'est la durée pen­ dant laquelle une zone donnée d'une racine peut prélever lep de manière active.

Le troisième pool (B) contient les ions échangeables entre 1 jour et *3* mois. durée correspondant

#### au temps de fonctionnement d'un système racinaire.

ions libres (E1min)

ions retenus mais échangeables

*-< >-* ---------------------------------------- ·

#### solution du sol

phase solide du sol

Figure 1: Modèle fonctionnel du phosphore biodisponible (Fardeau, 1993)

Le quatrième pool (C) contient les ions échangeables entre 3 mois et 1 an et conespond au cycle cultural annuel.

Le cinquième pool (D) conespond à des ions qui peuvent rejoindre la solution du sol dans un délai de plus d'un an.

Ce modèle permet d'évaluer le devenir du P provenant des engrais phosphatés.

#### Prédiction du phosphore de la plante provenant de l'engrais : Pdff%

La performance des engrais phosphatés est généralement évaluée par rapport aux engrais solubles conventionnels, comme le TSP. Parmi les paramètres mesurés qui permettent de faire cette comparaison. le Pdff % a un avantage certain car il est peu dépendant des conditions d'expérience. Sa mesure est réalisée au moyen du marquage du P assimilable du sol. Il est calculé au moyen de la formule suivante :

où

rt correspond à la radioactivité dans la solution du sol témoin

Cp est la coneentration des ions phosphate dans la solution du sol témoin r'1, la radioactivité dans la solution du sol fettilisé

C'p, la concentration des ions phosphate dans la solution du sol fertilisé.

16]

En combinant les formules [4] et [5] on obtient :

Pdff%::: 100 x [ (E'**t** )/ E't1 [7]

où E't et Et sont les quantités de P échangeable dans le sol avec ou sans engrais déterminés par la méthode des cinétiques d'échange isotopique dans le mélange sol/eau.

Comme les racines prélèvent leP dans le pool Elmin· cette valeur est prise en compte dans la détermination du Pdff %, d'où:

Pdff% = 100 x [ ( E' 1 -Et )/ E' 1 ] [8]

Les coefficients de variation (CV) des paramètres déterminés ont été calculées.

# Résultats

**Phosphore isotopiquement** échangeable

Les résultats obtenus par les cinétiques d'échanges isotopiques effectuées sur les échantillons de sol des différents traitements sont groupés dans le tableau III.

Les valeurs de Cp· c'est-à-dire le facteur intensité, varient de 0.009 à *2.*75 mg PL-l soit une aug­ mentation de 305 fois, due à l'app011 d'engrais. Les apports de BP ou de phospho-compost n'en­ traînent pas une augmentation significative des valeurs de Cp. En effet, elles sont nettement infé­ rieures à la valeur de 0,2 mg P L-1 nécessaire pour assurer une nutrition phosphatée satisfaisan­ te des plantes. Par contre, l'apport de BPA et de TSP relève les valeurs de Cp à un niveau tel que le P ne puisse plus être un facteur limitant le rendement des cultures.

Les valeurs de: E 1min sont comprises entre 0,14 et 31 mg P kg- 1 . soit un accroissement de 221 '! fois. Elles aUeignent en moyenne 0.24 et 0,30 mg P kg-1 respectivement dans les traitements BP et phospho-compost. Ces valeurs sont inférieures à 5 mg P kg-1 qui est la valeur

74 Vol. 24, n° 1 -Janvier-juin 2000, *Science et tee/inique,* Sciences naturelles et agronomie

##### limite pour la nutrition phosphatée des plantes (FARDEAU *et al.* 1995). Les valeurs de Elmin• à lïmage de celles de Cp. n'ont pas accru notablement avec l'apport de BP ou de phospho-com­ post. Ce:-. valeurs sont s1gnificativement élevées dans les traitements BPA et TSP.

Les valeurs du facteur capacité R/r 1 varient de 11.24 à 16.95. Ces valeurs diminuent avec la solu­ bilité à reau de l'engrais phosphaté ou raccroissement de la quantité de p isotopiquement

échangeable. ce gui conduit à une décroissance du rapport Etmin/C p· d'où une baisse du pou­ voir fixateur.

Les paramètres caractéristiques du P isotopiquemcnt échangeable (Cp, Et min) se classent dans

cet ordre : BP # Phospho-compost < BPA < TSP. · ·

Les valeurs des Pdff (fr, sont consignées au tableau III. Ces valeurs donnent le classement suivant : BP < phospho-compost < BPA < TSP. Avant et après incubation. les valeurs moyennes des Pdff % sont supérieures à 30 % dans les traitements BP et phospho-compost. Si on considère le Pdff *(lo.* le BP et le phospho-compost ont eu un effet significatif puisque la valeur de Pdff% de 30 *(if,* est considérée comme seuil au-dessus duquel l'engrais appliqué est efficace (MOREL *et al..* 1986). Mais ce résultat conti'aste avec les valeurs de CP et de El min inférieures aux valeurs critiques. Les valeurs élevées des Pdff % peuvent etre dues à l'apport de 50 mg P kg\_ 1 dans un sol dont la teneur de P assimilable est très faible.

**Tableau** III. Paramètres du P biodisponible du sol et valeurs de Pdff %.

Traitement cP rl/R n El min Pdff% (mgPL-1) (mg P kg-1)

40,8

|  |  |
| --- | --- |
| Non incubé |  |
| 0 | 0,009 | 0,6 | 0.20 | 0.15 |
| BP | O,ül8 | 0,71 | 0,17 | 0,25 |
| BPA | 1,57 | 0,85 | 0,04 | 18,49 |
| TSP | 2,75 | 0,89 | 0,03 | 30,84 |
| Compost | 0,021 | 0,73 | 0,18 | 0,29 |
| CV% | 5,2 | 6,2 | 14,8 | 11,9 |
| Incubé (30 j.) |  |  |  |  |
| 0 | 0,009 | 0,59 | 0,22 | 0,15 |
| BP | 0,015 | 0,70 | 0,20 | 0,22 |
| BPA | 0,37 | 0,80 | 0,06 | 4,63 |
| TSP | 1,26 | 0,86 | 0,04 | 14,65 |
| Compost | 0,021 | 0,68 | 0,17 | 0,31 |
| cv 01- | 8.0 | 4.8 | 15.8 | 9.6 |

99,2

99,5

47,9

33,7

96,9

99,0

99,0

52,8

BP: Burkina phosphate: BPA : Burkina phosphate partiellement acidifié; TSP: Superphosphate triple.

##### Avant et après incubation des sols. on observe des différences entre les paramètres mesurés et calculés pour les différents traitements. sauf pour le témoin non fertilisé. Les valeurs de ces paramètres du P biodisponible décroissent significativement avec la période d'incubation. Cette baisse est smiout marquée avec les engrais solubles (TSP et BPA). L'absorption du P libéré par ces engrais sur les particules de sol est à l'origine de cette réduction. Ces résultats sont

en accord avec ceux obtenus par DI *et al.* ( 1994). FARDEAU *et al.* ( 1995). Durant les périodes d'incubation. leP des engrais soluble-eau réagit plus rapidement avec le sol car les quantités de P libérées sont plus impmtantes avec les engrais soluble-eau qu'avec les insoluble-eau.

**Analyse compartimentale**

Les résultats de ranalyse compartimentale du P. isotopiquement échangeable des différents traite­ ments. sont présentés au tableau IV. Le paramètre n qui décrit la vitesse de transfett des ions phos­ phate de la phase solide vers la phase liquide du sol a été utilisé pour calculer la taille des compar­ timents. On observe que leP appotté sous forme de BP se retrouve en majeure pattie dans des com­ partiments peu accessibles B. Cet D. Le phospho-compost semble se comporter comme le BP. En effet. leP apporté sous forme de phospho-compost se retrouve pour l'essentiel dans les compatti­ ments peu accessibles. Ce résultat peut se rapprocher de celui de LOMPO (1993) qui indique que le compostage de la litière en présence de BP améliore les teneurs en P total. mais la concentration de P dans la solution du sol reste constante. Le compattiment qui contient le P directement biodis­ ponible El min a une taille extrêmement faible dans les deux traitements (BP et phospho-compost).

**Tableau IV.** Modification des divers compartiments du P biodisponible avec différentes sources de phosphore.



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Traitement |  | PL | (PL/Cp) |  |  | cQ3 | DQ4 |
|  |  |  | 1 |  |  |  |  |
| Non incubé |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0,009 |  | 16,67 | 0,49 | 0,94 | 0,51 | 147,71 |
| BP | 0,018 |  | 14,08 | 0,62 | 1,00 | 0,50 | 197,42 |
| BPA | 1,572 |  | 11,76 | 6,06 | 4,71 | 1,64 | 168,89 |
| TSP | 2,745 |  | 11,24 | 6,15 | 4,40 | 1,47 | 156.93 |
| Compost | 0,021 |  | 13,70 | 0,78 | 1,33 | 0.69 | 196,72 |
| Incubé (30 j) |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0,009 |  | 16,95 | 0,58 | 1.22 | 0,70 | 147,16 |
| BP | 0,015 |  | 14.37 | 0,72 | 1,37 | 0,75 | 196,74 |
| BPA | 0,37 |  | 12,50 | 2,53 | 2,22 | 0.82 | 189.61 |
| TSP | l.26 |  | 11.63 | 4,59 | 3.54 | 1,23 | 175,79 |
| Compost | 0,021 |  | 14,71 | 0,75 | 1,22 | 0,61 | 196,90 |

**PL:** pool des ions libres : A,.B, C, **D** : compmtiments de mobilité des ions échangeables : **BP** : Burkina phosphate :

**BPA** :Burkina phosphate partiellement acidifié: TSP: Superphosphate triple.

#### Le TSP et le BPA libèrent des i'ons phosphate dès leur contact avec le sol. Ces résultats expli­ quent de ce fait la supériorité du TSP et du BPA par rapport au BP et au phospho-compost Ils sont susceptibles de favoriser un développement régulier des plantes dans ces sols car les valeurs de CP et la taille des pools E 1min pour chaque traitement avoisinent ou dépassent les valeurs critiques.

# Discussion et conclusion

#### Les sols tropicaux d'Afrique, et particulièrement ceux du Burkina Faso, sont insuffisamment pourvus en P assimilable. L'utilisation des phosphates naturels pour accroître le statut phosphaté de ces sols a toujours été préconisée comme une alternative aux engrais soluble-eau. Certes, ces sols semblent présenter des conditions favorables à l'emploi direct des phosphates naturels en agriculture (sols acides) et l'Afrique dispose d'importantes réserves de phosphates naturels (PIERL 1991). Mais la majorité des roches phosphatées sont classées comme des phos­ phates peu réactifs » ou à réaction modérée. C'est notamment le cas des phosphates naturels du Burkina (BP) qui sont presque insolubles dans l'eau.

La première condition à remplir pour que le phosphate naturel soit une source de P efficace et économique est qu'il se dissolve dans le sol dans un laps de temps raisonnable (une saison culturale) pour faire face aux besoins des plantes à croissance rapide (maïs, mil, niébé, arachide).

Les résultats de cette étude montrent que le P assimilable des sols n'est pas sensiblement modifié par l'apport du BP. Cela est dû principalement au pH du sol assez proche de la neutralité et aux propriétés physico-chimiques du BP.

L'acidité du sol est l'un des facteurs déterminants dans la solubilisation des phosphates naturels. Elle permet la fourniture de protons (H+) qui provoquent la solubilisation du phosphate naturel. Le sol de Thiougou à pH assez élevé (6,2) pour permettre la dissolution du BP, n'a favorisé qu'une légère augmentation (mais non significative) du P assimilable. Par contre le TSP qui est un engrais soluble-eau et le BPA qui est moins dépendant du pH (PAUL, 1988) ont entraîné un accroissement substantiel du P biodisponible du sol.

Le mauvais comportement du BP n'est pas seulement causé par le pH du sol. II est aussi dû au phosphate lui-même. Sa composition chimique, caractérisée par des teneurs élevé s de Si*Oz,* de AI203 et de Fe203 et les faibles quantités d'apatite qu'il contient (PAUL, 1988), contribuent à rendre le BP très peu (( réactif», d'où sa faible solubilité dans le sol.

L'apport du phospho-compost ne modifie de manière significative le P assimilable du sol. Le phospho-compost a été fabriqué à partir du BP avec des résidus de culture et de déjections d'animaux. Il a été rapporté que le compostage du phosphate naturel avec des déchets de l'agri­ culture améliore la libération du P du phosphate naturel (MISHRA et BANGAR, 1986; SINGH et AMBER GER, 1990). Mais dans cette étude, le phospho-compost utilisé n'est pas supérieur au BP même après incubation.

Les phospho-composts de résidus végétaux sont des mélanges complexes contenant de la matiè­ re organique et des éléments minéraux (N, P et K). Il est courant d'observer qu'un apport de phospho-compost accroisse les rendements des cultures concomitant d'un accroissement des prélèvements d'éléments nutritifs. Il est montré q 'en phase de compostage, des protons et des acides organiques sont libérés. L'hypothèse de base était que les. protons libérés devaient

##### entraîner une dissolution pmtielle du phosphate naturel et que les acides organiques devaient chélater des cations tels le calcium de la roche phosphatée et ainsi favoriser sa dissolution. Les résultats obtenus montrent que l'importance de ces mécanismes est trop limitée en présence du phosphate naturel de Kodjari. C'est pourquoi les suppléments de prélèvements de P par des cultures en présence de phospho-compost pourraient avoir une autre cause. L'azote apporté par le phospho-compost peut favoriser un développement racinaire plus important qui entraînent un accroissement des prélèvements du P natif du sol et non de celui du phosphate naturel appliqué. L'effet positif des phospho-composts pourrait donc ne pas résulter de la dissolution des phos­ phates naturels qui lui ont été additionnés dans la phase de compostage.

Les traitements BP et phospho-compost donnent des Pdff % élevés (> 30 %) et des valeurs de q/R élevées sans que les concentrations de P dans la solution du sol ne soient accrues. Les raisons sont probablement l'effet amendant du phosphate naturel ou du phospho-compost qui a entraîné une augmentation du pH et une baisse du pouvoir fixateur du sol.

Les Pdff% dépendent des doses d'application des engrais. De ce fait, pouvons-nous extrapoler automatiquement les résultats de notre expérience en milieu réel, en zone sub-saharieime ? La

dose de 50 mg P kg-1 qui a été utilisée correspond à environ à 344 kg P2o5 ha-l alors qu'un

agriculteur burkinabè appli1\_ue une quantité inférieure ou égale à 50 kg P20s ha-l, soit un

équivalent de 16 mg P kg- . Mais il a été montré qu'il existe une relation linéaire entre le Pdff % et la dose d'engrais appliquée si cette dose se situe entre 0 et 80 mg P kg-1. Alors, les résultats obtenus peuvent être extrapolés avec peu de risques en milieu réel.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que l'utilisation du BP ·seul, comme engrais, ne permet pas d'assurer une gestion durable de la fertilité phosphorique à cause de sa très faible et lente solubilisation dans le sol et du fait que le BP doit être préférentiellement réservé aux sols acides (pH< 6). Mais les sols de la région ont un pouvoir fixateur faible et le TSP et le BPA se sont bien comportés. Avec de faibles quantités de TSP, on peut espérer améliorer le statut phosphaté des sols à moindre coût. On peut aussi envisager d'utiliser le BPA pour rehausser Je niveau du P biodisponible du sol mais le procédé de fabrication (acidification) entraîne des investissements. Le BP pourrait être utilisé comme engrais com­ plémentaire aux engrais phosphatés soluble-eau à cause de son effet amendant et de l'effet résiduel non négligeable qu'il peut avoir.

Certaines plantes peuvent utiliser efficacement les phosphates naturels par J'acidification de leur rhizosphère dwe à la fixation de l'azote atmosphérique ou à l'exsudation d'acides organiques. L'acidification entraîne un accroissement de la dissolution des phosphates naturels. Les acides organiques peuvent également complexer le calcium des phosphates naturels et favoriser leur dissolution. D'autres plantes prélèvent plus ou moins massivement le calcium des phosphates naturels entraînant une libération du P des phosphates dans la solution du sol. On doit donc s'orienter vers l'étude de la capacité des plantes (couramment utilisées dans les systèmes agricoles du Burkina Faso) à utiliser efficacement le BP.

Bien que nos résultats ne montrent pas une efficacité du phospho-compost, son utilisation et celle des matières organiques en général sont à prendre en compte car ce sont des sources de P non négligeables. Ainsi, THIBAUD *et al.* (1988) ont montré que des résidus de culture enfouis (débris végétaux) possèdent une efficacité agronomique équivalente à celle des engrais phos­ phatés soluble-eau. II est donc nécessaire d'étudier les degrés de décomposition des composts et leur capacité à libérer du P disponible pour les plantes.

Enfin, la pe1formance agronomique de différentes sources de P peut être également prédite au laboratoire par la méthode des cinétiques d'échange isotopique. Une approche qui procure une altemati ve rapide et fiable par rapport à la conventionnelle expérimentation en pot.O

BARBER S. A., 1984. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley and sons, New York, USA. BOLAN N. S. et UEDLEY M. J,, 1989. Dissolution of phosphate rocks in soils. I. Evaluation of extraction methods

for the measurement of phosphate rock dissolution. Fert Res., 19 : 65-75.

COMPAORÉ E., 1996. Contribution à la caractérisation et à la gestion de la fertilité phosphatée de quelques sols fwugineux tropicaux. Thèse INPL, Nancy, France, 144 p.

DI H. J,, HARRISON R. et CAMPBELL A. S., 1994. Assessment of methods for studying the dissolution of phos­ phate fertilizers of differing solubility in soi!. 1. An isotopie method. Fert Res., 38: 1-19.

FARDEAU J, C. et FROSSARD E., 1991. Processus de transformation du phosphore dans les sols de l'Afrique de l'Ouest semi-arides : application au phosphore assimilable. *ln* : « Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosys­ tems: regional workshop 4: Africa », Tiessen H and Frossard E. S.C.O.P.E.!UNEP, March 18-22. Nairobi. Kenya, p. 108-128.

FARDEAU J. C. et JAPPE J,, 1988. Valeurs caractéristiques des cinétiques de dilution isotopique des ioris phos­ phate dans les systèmes sol-solution. *ln* « Phosphore et Potassium dans les relations sol-plante : conséquences sur la fertilisation», Gachon 1.. INRA, Paris, France, p. 78-89.

FARDEAU J. C., 1993. Le phosphore assimilable des sols: sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. Agronomie, 13: 317-331.

FARDEAU J, C., IJIATA S., NDIAYE J, P. et JAPPE J,, 1983. Choix de la fertilisation phosphorique dans quelques sols du Sénégal : utilisation du phosphore 32. Agron Trop.. 38 : 103-109.

FARDEAU J. C., GUIRAUD G. et MAROL C., 1995. Bioavailable soil phosphorus as a key to sustainable agri­ culture : functional mode! determined by isotopie tracers. *ln* " International symposium on nuclear and related tech· niques in soil/plant studies on sustainable agriculture and enviromnental preservation », Vienna Austria, 17-21 October 1994.

Vol. 24, no 1-Janvier-juin 2000, *Science et technique,* Sciences naturelles et agronomie •. .

FARDEAU J, C., MOREL C. et JAPPE J., 1985. Cinétique d'échange des ions phosphate dans les systèmes sol-solution. Vérification expérimentale de l'équation thémique. Compte rendu de l'Académie des Sciences. Paris, t. 300. Série III. ( 8): 371-376.

FROSSARD E., FARDEAU J. C., BROSSARD M. et MOREL J. L., 1994. Soi! isotopically exchangeable phos­ phorus: a comparison between E and L values. *Soi! Sei. Soc. Am. J..* 58 : 846-85!.

LOMPO F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : Études des effets de l'interaction phosphates naturels-matières organiques. Thèse de docteur-ingénieur. Université nationale de Côte d'Ivoire. Abidjan. 247 p.

MEMON K. S. et FOX R. L., 1983. Utility of phosphate sorption curves in estimating the phosphorus requirement of cereal crop wheat *(Triticum aestivum). ln* « Proceedings of the 3"' International Congress on phosphorus compounds "· lMPHOS. Casablanca, Maroc, p. 217-230.

MENON R. G., CHIEN S. H. et ABD el NABI GADALLA, 1991. Comparison of Olsen and Pi soi! tests for eva­ luating phosphorus bioavailability in a calcareous soi! treated with single superphosphate and partially acidulated phosphate rock. *Fert Res.,* 29: 153-158.

MISHRA M. M. et BANGAR K. C., 1986. Rock phosphate composting: transformation of phosphorus forms and mechanisms of solubilization. Biol.Agric.Hort., 3 : 331-34.

MOREL C. et FARDEAU J. C., 1987. Le phosphore assimilable des sols intertropicaux: ses relations avec le phos­ phore extrait par deux méthodes chimiques. *Agron Trop.,* 42: 248-257.

MOREL C. et PLENCHETTE C., 1994. Is the isotopically exchangeable P of loamy soi! the available P to growing plant? *Plant Soi/.,* 158: 287-297.

MOREL C., FARDEAU J. C. et BALLAND D., 1986. Efficiency of different phosphatic fertilizers using 'P. *In«* C.R. Coll. IFA Regional meeting», IFA, New Delhi, Inde, p. 47-51.

MOREL C., TIESSEN H., MOIR J. O. et STEWART J, W., 1994. Phosph01us transformations and availability under cropping and fertilization assessed by isotopie exchange. *Soi! Sei. Am. J.,* 58 *:* 1439-1445.

PAUL 1., 1988. Caractérisation physico-chimique et évaluation de l'efficacité de phosphates btuts ou partiellement acidifiés provenant d'Afrique de l'Ouest, Thèse INPL, Nancy, France, 296 p.

PIERI C., 1991. Bilan du phosphore et agriculture durable en Afrique. *ln* « Phosphmus cycles in terresttial and aquatic ecosystems: regional workshop 4 : Africa », Tiessen H et Frossard E, S.C.O.P.E./UNEP, March 18-22. Nairobi. Kenya.

ROCHE P., 1983. Les méthodes d'appréciation du statut phosphorique des sols. Leur application à l'estimation des besoins en engrais phosphatés. *In* « Proceedings of the 3"' Intemational Congress on phosphorus compounds ,, IMPHOS. Cuso.blanca. p. 165-193.

Vol. 24, no 1 -Janvier-juin 2000, *Science et technique,* Sciences naturelles et agronomie

SAGGAR S., HEDLEY M. J, et WHITE R. E., 1992. Development and evaluation of an improved sail test for phosphorus. 1. The intluence of phosphorus fertilizer solubility and soil properties on the extractability of sail P. *Fert Rn* v .. 33 (l): 81-91.

SALCEDO 1. H., BERTINO F. et SAMPAIO E. V. S. B., 1991. Reactivity of Phosphorus in Northeastem Brazilian Soils Assessed by Isotopie Dilution. *Soi! Sei. Soc. Am. J..* 55 : 140-145.

SINGH C. P. et AMBERG ER A., 1990. Solubilization and availability of phosphorus during decomposition of rock phosphate enriched straw and urine. *Biol. Agric. Hart ..* 7 : 261-269.

THIBAUD M. C., MOREL C. et FARDEAU J. C., 1988. Contribution of phosphorus issued from crop residue to plant nutrition. *Soi! Sei. Plant Nutri.,* 34 (4) : 481-491.

TRUONG B., PICHOT J, et BEUNARD P., 1978. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels trical­ ciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en Agriculture. *Agron Trop.,* 33: 136-145.

WHITE R. E. et BECKETT R. H. T., 1964. Studies on phosphate potentia1s of Soi1s. part 1 :the measurement of phosphate potential. *Plant and Soi!,* 20 : 1-16.

Vol. 24, no 1-Janvier-juin 2000, *Science et tee/mique,* Sciences naturelles et agronomie