



Efficacité agronomique des phosphates naturels marocains dans différents sols

El Gharous M.¹, Ouatmane A.² et Hafidi M.³

¹Maître de recherche, INRA, B.P. 589, Settat, Maroc

²Etudiant Fac. sciences Semlalia, BP. S15, Marrakech

³Maître assistant, Fac. sciences Semlalia, B.P. S15, Marrakech

Résumé

L'efficacité agronomique à court terme de cinq sources du phosphate naturel marocain (PNM), appliquées à la dose de 500 mg P/kg sol, comparée à celle du Triple Superphosphate (TSP), a été étudiée en vases de végétation sous serre en utilisant le Ray Gras comme culture test. Six sols locaux largement contrastés ont été retenus pour cette étude : Un sol forestier (pH 6), quatre sols cultivés (pH 4, 5 à 6) et un sol calcaire (pH 8). Les résultats trouvés montrent que les PNM ont un effet nul sur le sol calcaire. Sur les autres sols, la réponse de la culture au phosphate naturel en terme de production en matière sèche a été significative et elle a été d'autant plus immédiate que le sol est initialement pauvre en phosphore assimilable. L'utilisation apparente de la roche phosphatée par la plante a été, par contre, largement favorisée par l'acidité du sol. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les différents PNM utilisés. Leur efficacité agronomique relative au TSP (100 %), respectivement en terme de rendement total en matière sèche du phosphore total exporté (somme de 4 coupes), varie de 8 à 132 et de 0 à 51 % selon les sols étudiés. Du point de vue pratique cette étude souligne le haut potentiel des PNM en vue de leur utilisation comme source de P pour les sols acides.

Mots clés: Phosphate naturel marocain, Ray Gras, coefficient apparent d'utilisation, efficacité agronomique relative

Abstract: Agronomic effectiveness of moroccan rocks phosphates in different soils

The agronomic effectiveness of five rocks phosphate from Morocco (MRP) applied at rate of 500 mg P kg⁻¹ soil was compared with Triple Superphosphate (TSP) in a greenhouse experiment using Rey Grass as crop test over four months (4 Cuts). Six contrasting soils were used for this study: one forest soil (pH 6), four acid cultivated soils (pH 4,5 to 6,1) and one cal-

careous soil (pH 8). The results showed that plant response to MRP were absent in calcareous soil. In other soils, dry matter response to MRP was significant and appeared early as the soil is initially deficient in available-P. Apparent recovery of P added as rock phosphate was however largely related to soil acidity. No significant difference was found between the five MRP used. Their relative agronomic effectiveness with respect to TSP (100 %), in terms of increasing dry matter and P-uptake (cumulative data from 4 cuts) ranged from 8 to 132 and from 0 to 51 % respectively. From practical viewpoint, this study provides evidences for the highest potential of MRP as P fertilizer for acidic soils.

Keys words: Morocco Rock Phosphate, Rey Grass, apparent use coefficient, relative Agronomic effectiveness

ملخص : الفعالية الزراعية لأنواع مختلفة من الفوسفات الطبيعي المغربي في التربة

م. الفروص 1، ع. أعثمان 2، م. حفظي 3

1 باحث بالمعهد الوطني للبحث الزراعي، سطات، المغرب

2 طالب، كلية العلوم سملالية، مراكش، المغرب

3 أستاذ، كلية العلوم سملالية، مراكش، المغرب

تطرق هذا البحث إلى تحديد فعالية خمسة أنواع من الفوسفات الطبيعي بالمقارنة مع السماد الفوسفوري الصناعي (supertriple 45%) تحت البيوت الزجاجية باستعمال نبات الراي جرى (Ray Gras). أقيمت هذه الدراسة على ستة أنواع من التربة ذات حموضة مختلفة، أرض غابوية (pH=6)، وخمسة أراضي فلاحية ذات حموضة تتراوح بين 4 : 6 و 8. أظهرت النتائج أن فعالية الفوسفات الطبيعي ضعيفة في الأراضي الكلسية (pH=8) و جيدة في الأراضي الأخرى (pH=4.6-6). بالنسبة لإستعمال الفوسفور الطبيعي فكان سريعا كلما كان محتوى التربة من الفوسفور الأصلي القابل للإمتصاص ضعيفا. أظهرت هذه الدراسة كذلك أن حموضة التربة تؤثر بصفة مباشرة على استعمال النبات للفوسفات الطبيعي، وأن الفعالية الفلاحية لأنواع الفوسفات الطبيعي المستعملة بالمقارنة مع الفوسفات الصناعي تراوحت بين 8 و 132 في المائة بالنسبة للمحصول الإجمالي و بين 0 و 51 في المائة بالنسبة للفوسفور الكلي المستنزف وذلك حسب نوعية التربة.

الكلمات المفتاحية : الفوسفات الطبيعي المغربي، الفعالية الزراعية

Introduction

La possibilité d'une utilisation directe des phosphates naturels comme alternative à l'emploi des engrais solubles a fait l'objet de nombreux travaux notamment en Afrique tropicale, en Amérique latine et en Australie (Kasawneh et Doll 1978 ; Hammond *et al.* 1986 ; Bollan *et al.* 1984). La plupart des travaux réalisés dans cette optique ont toujours mis l'accent sur l'intérêt potentiel qu'offre les phosphates naturels lorsque la nature du sol est favorable à la dissolution de ces produits. Si par ailleurs, les phosphates naturels n'ont souvent pas permis d'assurer les mêmes rendements que les engrais solubles, il faut reconnaître que l'utilisation de ces produits permet d'améliorer la production des sols acides pauvres en phosphore assimilable à un faible coût. Cette pratique de fertilisation pourrait être aussi agronomiquement justifiée dans la mesure où elle permet de corriger l'acidité du sol et la toxicité qui lui est associée (Wright *et al.* 1991 ; Yeates et Allen 1987 ; Easterwood *et al.* 1989), en plus de sa nature comme source de phosphore pour la culture.

Par ailleurs, malgré une littérature énorme concernant l'évaluation du phosphate naturel en vue de son utilisation directe, nous nous trouvons que très peu d'études où les phosphates naturels marocains avaient été testés (Armiger et Fried 1957 ; Kucey et Bole 1984 ; Dash *et al.* 1988). Cette étude tente ainsi d'examiner la possibilité d'utiliser ces produits dans la fertilisation des sols acides, à travers une évaluation de leur efficacité agronomique.

Matériel et méthodes

Les sols

Au lieu de travailler sur une série importante de sols, nous avons jugé préférable de retenir quelques sols bien caractéristiques dont le choix a été fait en tenant compte de l'acidité du sol et de sa richesse initiale en phosphore assimilable. Ainsi, sur un large échantillonnage, un sol basique (témoin) et cinq sols acides ont été retenus. Leurs caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau 1. Les sols 1, 2, 3, 4 et 6 sont des sols cultivés, le sol 5 est une litière de chêne liège. Selon les normes standards d'interprétation établies sur la base de la richesse du sol en phosphore assimilable (Olsen et Sommers 1982), la réponse de la culture à un apport d'engrais phosphaté soluble est considérée comme certaine sur les sols 5 et 6, probable sur les sols 1, 2 et 3 et absente sur le sol 4.

Les phosphates naturels

Cinq types de phosphates naturels marocains ont été testés ; ils représentent les trois principaux gisements de phosphate au Maroc. Les caractéristiques chimiques de la fraction inférieure à 1 mm, ayant été utilisée (tableau 2) mettent en évidence la nature apatitique de ces phos-

phates. Le rapport Ca/P est très supérieur à celui d'une apatite pure (1,66) indiquant la présence de quantités élevées d'impuretés calcaires.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Sol	Région	pH		% C	% N	C/N	%M.O	Bases échangeables				P-Olsen Xmax*		P _{0,2}
								(meq/ 100 terre sèche)				(mgP/kg terre sèche)		
		Eau	KCl					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			
1	Oulmès	5,1	4,5	2,73	0,24	11,3	4,9	3,60	1,42	2,08	0,35	10,0	437	43,9
2	Chaouia	6,0	5,4	1,66	0,08	20,7	3,0	6,40	4,12	0,54	0,23	6,9	238	14,0
3	Chaouia	5,6	4,9	1,05	0,11	9,5	1,9	5,75	3,34	0,49	0,70	13,2	384	22,4
4	Oulmès	4,5	4,0	2,73	0,23	11,3	4,9	2,96	1,26	0,28	0,40	25,5	588	61,7
5	Oulmès	6,0	5,4	15,0	0,47	31,9	27,3	25,6	2,96	1,03	0,76	5,2	500	28,5
6	Chaouia	8,0	7,1	1,16	0,13	8,9	2,1	38,5	7,30	2,03	0,67	3,5	625	42,5

* : Maximum d'absorption (Xmax) et pouvoir adsorbant des ions phosphate P₀₂ donnés par l'équation de Langmuir

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des phosphates naturels (PN) marocains utilisés (fraction de granulométrie ≤ 1 mm)

Phosphate naturel (PN)	Code	P (%)*	Ca (%)*	Ca/P	CaCO ₃ (%)	Solubilité**	
						Eau	A.citrique 2 %
Kg C2 Lavée	S1	15,0	42,0	2,80	21,5	< 0,01	13,50
Ys NoirBrut	S2	13,2	42,0	3,18	15,4	< 0,01	16,09
Bg C5 +C6	S3	11,6	37,0	3,18	18,6	< 0,01	38,34
Kg C3 Brut	S4	11,6	38,5	3,31	17,5	< 0,01	27,15
Kg C2 Brut	S5	14,4	38,0	2,63	30,7	< 0,01	17,50

* : en % de la roche phosphatée

** : en % du P total

Kg : Khouribga

Ys : Youssoufia

Bg : Benguerir

C : Couche

Culture

La méthode utilisée est inspirée du test biologique en vase de végétation (Chaminade 1944 ; Tribou et Gachon 1979). L'utilisation du ray gras comme culture test présente l'avantage de permettre plusieurs coupes jusqu'à l'épuisement du milieu, ce qui permet de mieux refléter la contribution des phosphates naturels à l'enrichissement du sol en phosphore assimilable.

La terre fine des sols choisis auparavant a été, au préalable, additionnée d'une solution nutritive dépourvue de phosphore. Par la suite chacun des sols a subi les sept traitements suivants :

- T : Témoin, sans apport de phosphore ;
- S1 : Apport de PN Khouribga C2 Lavée ;
- S2 : Apport de PN Youssofia Noir Brut ;
- S3 : Apport de PN Benguerir C5+C6 ;
- S4 : Apport de PN Khouribga C3 Brut ;
- S5 : Apport de PN Khouribga C2 Brut ;
- S6 : Apport du Triple Superphosphate.

Les mélanges [terre fine + solution nutritive : phosphate] sont répartis dans 3 pots, à raison de 400 g de terre par pot. Les apports de phosphore ont été effectués à raison de 500 mg de P par kg de sol (Anderson *et al.* 1985 ; Syers et Mackay 1986), selon un processus de dilutions successives dans des petites quantités de terre fine. Le semis est effectué à raison de 1,5 g de graines de ray gras d'Italie (*Lolium perenne* L.) par pot.

L'essai est conduit sous serre, le dispositif expérimental adopté est une randomisation complète pour l'ensemble des combinaisons sol-traitement. La culture est étalée sur une période de 4 mois pendant laquelle 4 coupes ont été réalisées.

Paramètres mesurés

- La production en matière sèche (MS), la teneur en phosphore de la plante (% P) et le phosphore exporté (P exp) à chaque coupe ;
- L'efficacité agronomique des PN relative au TSP (EAR) ;
- Le coefficient apparent d'utilisation du phosphore.

Les données ont fait l'objet de l'analyse de la variance par sol. Les traitements ont été comparés par le test de Tukey à 5 %.

Résultats et discussion

Production en matière sèche du traitement au TSP est significativement supérieure au témoin à toutes les coupes pour les sols 5 et 6 (figure 1). Cependant l'effet du TSP n'est significatif qu'à partir de la deuxième coupe pour les sols 2 et 3 et la troisième coupe pour les sols 1 et 4.

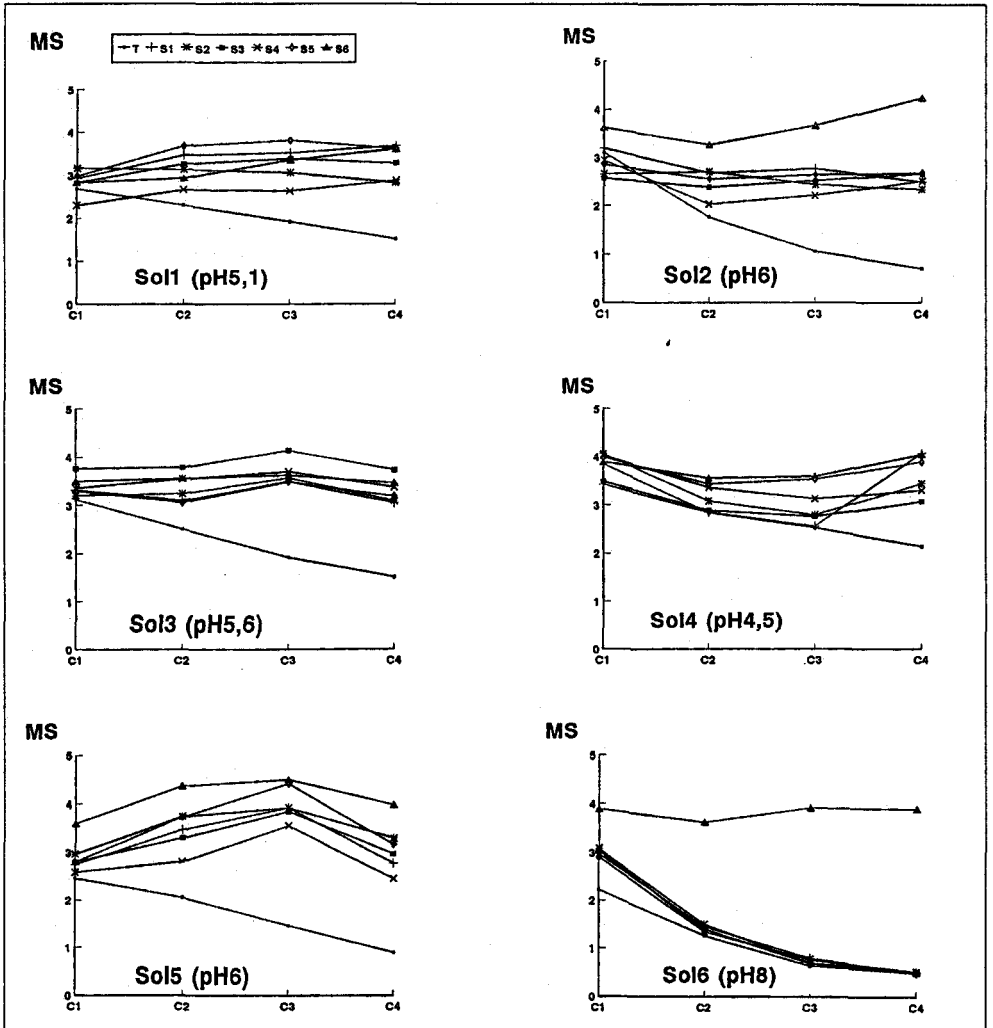
Engrais

En ce qui concerne la réponse aux PN, notons d'abord que les différentes sources utilisées ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre et elles avaient relativement le même effet sur le rendement de la culture. Cependant ces phosphates n'avaient aucun effet sur le rendement en MS pour le sol basique (sol 6). Pour les autres sols, les PN ont entraîné un effet significatif à partir de la deuxième coupe pour les sols 5 et 3, la troisième coupe pour les sols 1 et 2 et la quatrième coupe pour le sol 4. Comparativement au témoin, l'effet des PN mais aussi celui du TSP est en général d'autant plus immédiat et plus important que le sol est ini-

tialement pauvre en phosphore assimilable. A la quatrième coupe, le rendement en MS moyen des cinq sources de PN est de 362 %, 328 %, 215 %, 219 %, 166 % et 102 % du témoin, respectivement pour les sols 5, 2, 1, 3, 4 et 6.

L'ensemble de ces résultats montrent qu'à l'évidence, les phosphates naturels n'avaient pas d'effet sur la production en sol basique, confirmant néanmoins l'absence d'un éventuel effet solubilisateur propre à la plante du ray gras (*Ghahoonia et al.* 1992). L'intérêt certain de ces fertilisants observé sur les sols acides à faiblement acides confirme les résultats de la plupart des travaux où les phosphates naturels marocains avaient été testés (*Armiger et Fried* 1957 ; *Juo et Kang* 1978 ; *Kucey et Boll* 1984 ; *Dash et al.* 1988).

Figure 1. Rendement en matière sèche (g/pot) en fonction des coupes pour les différents traitements au phosphore (T : témoin ; S1 à S5 : Phosphates naturels ; S6 : TSP)



Coefficient apparent d'utilisation des phosphates naturels et du TSP

Les valeurs trouvées varient dans l'ensemble de 0 à 10 % pour les PN et de 16,6 à 23,5 % pour le TSP (Tableau 3). Concernant les PN, les pourcentages trouvés sont très voisins de ceux trouvés pour les phosphates naturels de réactivité chimique élevée de la Caroline du nord, après trois coupes de la culture du Ray Gras sur des sols acides à faiblement acides (Fardeau *et al.* 1988). On peut par ailleurs remarquer que les pourcentages obtenus sont naturellement élevés aussi bien pour les PN que pour le TSP. Le pourcentage d'utilisation des engrais phosphatés ne dépasse en fait que rarement 20 % du taux d'application. De même, dans des conditions plus au moins favorables, Bollan (1985) a reporté des pourcentages d'utilisation des PN très faibles, ≤ 1 %. L'utilisation relativement élevée des phosphates apportés durant cet essai pourrait s'expliquer par le fait que le Ray Gras est cultivé dans un volume restreint de sol pendant quatre coupes sous des conditions optimales de croissance.

Par ailleurs, nos résultats mettent en évidence d'une part une différence significative entre l'utilisation de l'engrais soluble et les phosphates naturels, et d'autre part une nette influence de l'acidité du sol sur l'utilisation des PN. En effet, le pourcentage d'utilisation des PN ne dépasse pas 50 % de celui du TSP et il est en plus très faible à nul dans les sols à $\text{pH} \leq 6$ tandis que l'utilisation du TSP est très peu dépendante du pH. Ces observations sont en accord avec celles d'Admon *et al.* (1986).

Tableau 3. Evolution de la production en matière sèche des traitements aux phosphates naturels et au TSP, exprimée en % du témoin (Moyenne de trois répétitions \pm écart type).

Traitements	Coupes	Sol1	Sol2	Sol 3	Sol 4	Sol 5	Sol6
S1	C1	109 \pm 12	103 \pm 11	106 \pm 09	89 \pm 09	112 \pm 07	134 \pm 23
	C2	151 \pm 29	152 \pm 18	123 \pm 02	100 \pm 15	169 \pm 17	115 \pm 10
	C3	183 \pm 11	260 \pm 10	182 \pm 11	101 \pm 12	268 \pm 44	125 \pm 06
	C4	243 \pm 23	356 \pm 19	203 \pm 55	190 \pm 21	310 \pm 58	99 \pm 03
S2	C1	118 \pm 06	86 \pm 15	103 \pm 17	105 \pm 18	121 \pm 09	139 \pm 23
	C2	136 \pm 19	153 \pm 19	129 \pm 18	109 \pm 10	182 \pm 19	119 \pm 08
	C3	159 \pm 24	230 \pm 79	186 \pm 34	111 \pm 10	286 \pm 48	111 \pm 12
	C4	187 \pm 56	334 \pm 36	206 \pm 23	161 \pm 24	369 \pm 15	106 \pm 05
S3	C1	106 \pm 05	83 \pm 07	121 \pm 09	91 \pm 05	114 \pm 05	137 \pm 26
	C2	142 \pm 06	135 \pm 35	151 \pm 09	102 \pm 07	161 \pm 20	111 \pm 04
	C3	176 \pm 24	237 \pm 09	215 \pm 20	109 \pm 21	263 \pm 42	107 \pm 21
	C4	217 \pm 02	380 \pm 75	249 \pm 23	143 \pm 23	333 \pm 47	97 \pm 26
S4	C1	86 \pm 10	95 \pm 07	108 \pm 03	105 \pm 07	105 \pm 03	139 \pm 19
	C2	16 \pm 10	115 \pm 26	141 \pm 18	119 \pm 11	137 \pm 21	106 \pm 06
	C3	137 \pm 27	208 \pm 41	193 \pm 28	124 \pm 09	243 \pm 22	122 \pm 12
	C4	190 \pm 37	358 \pm 30	225 \pm 47	154 \pm 02	274 \pm 29	102 \pm 05
S5	C1	111 \pm 15	92 \pm 03	106 \pm 05	104 \pm 09	114 \pm 12	131 \pm 07
	C2	160 \pm 20	145 \pm 18	122 \pm 06	121 \pm 13	182 \pm 04	107 \pm 31
	C3	198 \pm 17	249 \pm 37	181 \pm 04	140 \pm 12	301 \pm 13	120 \pm 07
	C4	239 \pm 46	382 \pm 53	212 \pm 14	182 \pm 11	354 \pm 66	106 \pm 06

Tableau 3. Suite

S6	C1	106±07	117±11	112±08	101±03	147±18	176±19
	C2	128±80	185±27	142±22	126±07	212±20	287±33
	C3	174±15	346±54	189±41	143±16	307±13	621±83
	C4	239±11	606±43	231±34	189±22	446±12	809±81

S1 à S5 : Phosphates naturels ; S6 : Triple superphosphate C1 à C4 : Coupe 1 à 4

Efficacité agronomique relative au TSP

En terme du rendement total en MS, l'efficacité agronomique relative au TSP varie autour de 100 % pour les sols 1 et 3, 70 % pour les sols 5, 40 % pour le sol 2 et 10 % pour le sol 6. Pour le sol 4 les valeurs sont assez dispersées (Figure 2). On peut par ailleurs remarquer que les phosphates naturels utilisés se confirment être susceptibles d'aboutir à la même efficacité agronomique que le TSP. Ce résultat contribue à justifier ceux trouvés par d'autres travaux où les rendements obtenus par les PN marocains étaient de 83 % du TSP (Kucey et Boll 1984) et de 100 à 115 % du TSP (Jiang *et al.* 1990). Outre le haut potentiel agronomique des PNM est attribué à leur nature friable et à leur réactivité chimique élevée (Dash *et al.* 1988) et à la nature favorable des sols testés durant le présent essai, notamment leur acidité.

Tableau 4. Coefficient apparent d'utilisation des différents phosphates naturels et du TSP après quatre coupes (moyenne de trois répétitions)

Sources	Sol					
	1	2	3	4	5	6
S1	7,25	5,30	9,25	5,30	2,10	0,45
S2	8,55	4,25	9,40	8,20	2,90	0,30
S3	6,15	5,35	10,00	5,05	3,20	0,00
S4	6,05	4,60	6,25	7,20	1,40	1,15
S5	5,55	5,15	8,70	7,35	3,10	2,78
TSP	16,60	23,45	22,80	19,05	22,40	21,80
CV	16	12	8	10	13	24
W0.5	3,0	2,9	2,5	2,4	4,7	2,8

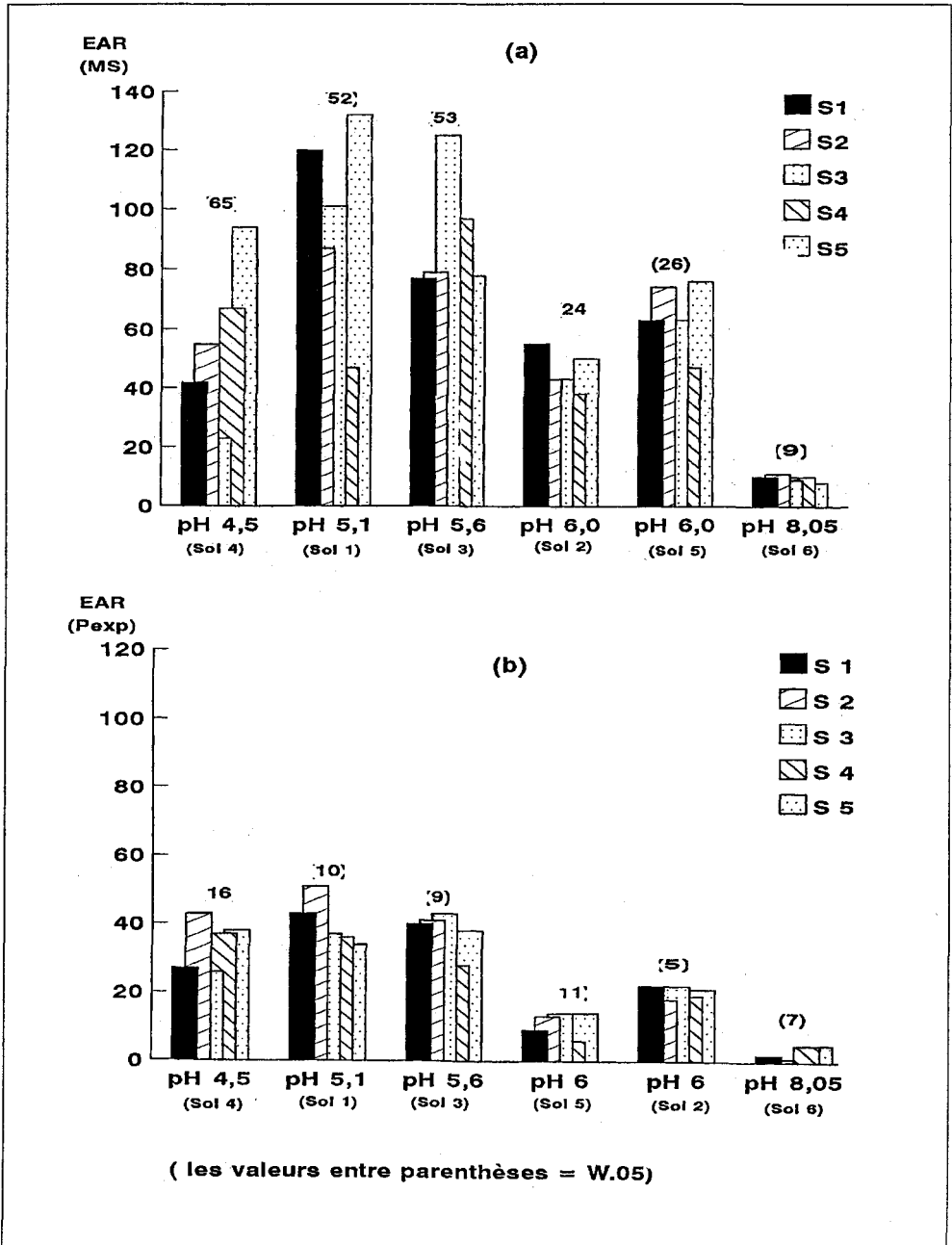
CV : Coefficient de variation ;

W0.5 : plus petite différence significative donnée par le test de Tukey à 5 % ;

S1 à S5 : Phosphates naturels

Signalons enfin que la comparaison en terme de P exporté a tendance à sous-estimer l'efficacité agronomique relative des PN (valeurs ne dépassant pas 50 % de celle du TSP). Cette différence d'efficacité s'explique par consommation de luxe du phosphore de l'engrais soluble qui a eu lieu essentiellement à la première et à la deuxième coupe où la concentration en phosphore de la plante varie de 0,52 à 0,38 % tandis qu'une concentration de 0,32 à 0,34 % est suffisante pour le rendement maximale de la culture du ray gras (Fox *et al.* 1986). Pour les phosphates naturels cette concentration n'a pas dépassé 0,34 %. En pratique cela signifie qu'il y a une utilisation abusive de l'engrais soluble comparativement au phosphate naturel.

Figure 2. Efficacité agronomique relative (EAR) au triple superphosphate en terme de rendement total en matière sèche (a) et du phosphorez total exporté (b), pour les différents phosphates naturels



Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence l'aptitude des phosphates naturels marocains à aboutir à la même efficacité agronomique que le triple superphosphate. Il s'avère en outre qu'à l'exception du sol basique pour lequel les PN n'avaient pas d'effet, les sols acides à faiblement acides testés dans cette étude offrent la possibilité d'être fertilisés par l'application directe des PN marocains en tant que sources locales de phosphore.

Références bibliographiques

- Admon P.H., Boniface R., Fardeau J.C., Jahiel M. (1986). Quelques observations sur les méthodes actuelles de dosage du phosphore assimilable des sols. Application à l'étude de la valeur fertilisante des phosphates naturels. *Fers.et agriculture*, **92** : 39-51.
- Anderson D.L., Kussow W.R. and Corey R.B. (1985). Phosphate rock dissolution in soil - Indication from plant growth studies. *Soil Sci.Soc.Amer.J.* **49**: 918-925.
- Anderson D.L., Kussow W.R., Corey R.B et Gardner W.R. (1981). Computer simulation of phosphate rock dissolution in soil. *Agro. Abstr.* p 145.
- Armiger W.H. and Fried M. (1957). The plant availability of various sources of phosphates rocks. *Soil Sci. Soc. Amer.Proc.* **21**: 183-188.
- Bollan M.D.A., Bowden J.W., D'antuono M.F. and Gilkes R.J. (1984). The current and residual value of superphosphate, Christmas Island C-grade ore, and Calciphos as fertilizers for a subterranean clover pasture. *Fer.research*, **5**: 335-354.
- Bolland M.D.A. (1985). Residual value for wheat of phosphorus from calciphos, Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil south-western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.*, **25**: 198-208.
- Chaminade R. (1944). Les formes de phosphore dans le sol : Nature et rôle des complexes phospho-humique. *Ann.Agron.* **1**: 1-63.
- Chien S.H., Hammond L.L., Leon L.A. (1987). Long-term Réaction of phosphate rocks with an oxisol in colombia. *Soil Sci.* **144**, **4**: 257-265.
- Dash R.N., Mouhanty S.K. Patnaik and S. (1988). Influence of reactivity of phosphate rocks on phosphorus utilization by Dhaincha (*Sesbenia aculeateata*). *J.Indian Sco. Soil Sci.* **36**: 375-378.
- Easterwood G.W., Sartan J.B. and Street J.J. (1989). Fertilizer effectiveness of three carbonate apatites on an acid ultisol. *Comm.Soil Sci. Plant Anal.* **20**: 789-800.
- Fardeau, J.C., C.Morel, and M.Jahiel, 1988. Does long contact with soil improve the efficiency of rock phosphate ? Results of isotopic studies. *Fer.Research*, **17**: 3-19.
- Fox R.L., Saunder W.M.H. and Rajan S.S.S. (1986). Phosphorus nutrition of pasture species : phosphorus requirement and root saturation values. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **50**: 142-148.
- Gahoonia T.S., Claassen N., Jungk A. (1992). Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant and Soil.* **140**: 241-248.
- Hammond L.L., Chien S.H. and Mokwunye A.U. (1986a). Agronomic values of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.* **40**: 89-140.

- Jiang B.F., Kun L.R. and Kwei L.C. (1990). A review of the studies on phosphate rock for agricultural use in China. *Fert. Research*, **26** : 11-20.
- Juo A.S.R. and Kang B.T. (1978). Availability and transformation of rock phosphates in three forest soils from south Nigeria. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **9**: 493-505
- Kasawneh F.E. and Doll E.C. (1978). The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agrono.* **30**: 159-206
- Kucey R.M.N. and Bole J.B. (1984). Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by ³²P dilution, A value, and total P uptake methods. *Soil Sci.* **138**, **2**: 180-188.
- Olsen S.R. and Sommer L.E. (1982). *Methods of soil analysis, Part.2. Chemical and microbiological properties - Agronomy Monograph*, 9 (2nd Edition).
- Syers J.K. and Mackay A.D. (1986). Reaction of sechura phosphate rock and single superphosphate in soil. *Soil sci. Soc.amer. J.* **50** : 480-485.
- Triboi E. et Gachon L. (1979). Fiabilité et limites du diagnostic de la fertilité phosphaté des sols établis à partir du phosphore isotopiquement diluable et du pouvoir fixateur. *C.R.ACAD.Agric.Fr.* **12** : 981-988.
- Wright R.J. Balligar V.C., Belesky D.P. and Sunffer J.D. (1991). The effect of phosphate rock dissolution on soil chemical properties and Wheat seedling root elongation. *Plant and Soil*, **134** : 21-30.
- Yeates J.S. and Allen D.G. (1987). Low effectiveness of three rock phosphates as phosphorus fertilizer and liming materials on an acid clay-loam. *Aust.J.Agric.Res.* **38** : 1033-1046.