

AVAILABILITY OF ROCK PHOSPHATE WITH LOW P
CONTENT IN SOME ALBANIAN
SOIL : USE OF $^{32}\text{PO}_4$

J.C. FARDEAU*, Agrikoł GJERMANI**, Skender MALJA***, and François MIGADEL*.

* CEN CADARACHE, BP N°1 - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE, France

** INSTITUTI I STUDIMIT TE TOKAVE - TIRANA, Albanian

*** INSTITUTI I FIZIKES BERTHAMORE - TIRANA, Albanian

- SUMMARY -

In these experiments we measure the availability of a calcareous low P content rock phosphate (4,3 % P). This Albanian ore was used, in pot experiments, on various local soils whose the pH is situated between 4,9 to 7,5. This phosphate was labelled with ^{32}P and ^{45}Ca in a reactor. The residual effect of this fertilizer was deduced from the results of isotopic dilution kinetic of phosphate ions realized in soil-solution systems.

The main results can be summarized as follow :

1. When the soil-water pH was higher than 6,1, the utilization coefficient of phosphorus was minus than 1 %, even with 5,5 mounths.
2. The ratio of P and Ca derived from fertilizer and taken up by the crop is most generally different of those measured in the fertilizer. It depends of the soil constitution.
3. The analysis of isotopic dilution kinetic of phosphate ions shows that in the major part of these soils, whose the fixing capacity is very high, the rock phosphate and also superphosphate at $230 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ rate does not increase available soil phosphorus ; it is only with rates over $800 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ that this objective can be reached.

These results explain again that the fixing capacity of soil for phosphorus is a characteric more useful for fertilization technique than the available phosphorus quantity.

EFFICACITE D'UN PHOSPHATE A FAIBLE TENEUR
DANS QUELQUES SOLS D'ALBANIE
MESURE AU MOYEN DE ^{32}P .

Jean-Claude FARDEAU*, AgrikoI GJERMANI**, Skender MALJA***, François MIGADEL*.

* CEN CADARACHE, BP n° 1 - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE, France

** INSTITUTI I STUDIMIT TE TOKAVE . TIRANA. Albanie

*** INSTITUTI I FIZIKES BERTHAMORE . TIRANA. Albanie

- RESUME -

L'objectif du travail était de mesurer l'efficacité immédiate et à long terme d'un minéral de phosphate calcique à basse teneur (4,3 % P), d'origine locale, sur divers sols dont les pH sont compris entre 4,9 et 7,5. Pour apprécier l'efficacité immédiate, c'est-à-dire l'aptitude de l'engrais à subvenir aux besoins en phosphore des plantes, des cultures de ray-grass ont été réalisées en vase de végétation soit en présence de l'engrais marqué au ^{32}P et au ^{45}Ca par irradiation neutronique soit en présence de sols dont le phosphore isotopiquement diluable avait été marqué au ^{32}P alors que l'engrais ne l'était pas. Quant à l'efficacité à long terme, c'est-à-dire l'aptitude de l'engrais à modifier de façon positive les réserves assimilables du sol, elle a été jugée par la technique des cinétiques de dilution isotopique des ions phosphate dans les systèmes sol-solution de sol. On rappelle à cette occasion qu'après injection d'ions $^{32}\text{PO}_4$ dans un système sol-solution en état stationnaire, l'évolution de la radioactivité spécifique, S, des ions phosphate présents en solution permet de caractériser la mobilité des ions au moyen de paramètres cinétiques et répond à une équation du type :

$$S = S_1 \cdot t^{-n}$$

S_1 étant la radioactivité spécifique des ions en solution après 1 minute de contact entre le mélange sol-solution et la radioactivité, n étant une constante comprise entre 0 et 0,5 qui caractérise l'échantillon de sol.

Les résultats culturaux autorisent deux conclusions :

1. Lorsque le pH-eau du sol est supérieur à 6,1 le coefficient d'utilisation de ce phosphate est inférieur à 1 % c'est-à-dire pratiquement nul.
2. Le rapport du phosphore et du calcium originaires de l'engrais et présents dans la plante est différent de celui trouvé dans l'engrais : il est fonction de la nature du sol.
3. L'analyse des cinétiques de dilution isotopique montre que dans la majorité de ces sols à fort pouvoir fixateur, l'addition de phosphorite, pas plus d'ailleurs que celle de superphosphate, à la dose de $230 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ ne modifie ni la quantité; ni la qualité des réserves assimilables, le pouvoir fixateur n'étant pas diminué par les apports ; seules des doses supérieures à $800 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ sous forme soluble permettraient d'atteindre cet objectif. Ces résultats illustrent de nouveau que le pouvoir fixateur des sols à l'égard des ions phosphates est une donnée plus importante et plus utile à connaître que la quantité de phosphore assimilable présente.

- INTRODUCTION -

Le phosphore d'un engrais enfoui dans un sol cultivé peut selon les cas :

1. Migrer dans la végétation,
2. Influencer les propriétés de la fraction assimilable du phosphore du sol,
3. Accroître la fraction qui n'est pas assimilable à l'échelle de la culture.

L'étude de ces trois types de transferts dans l'agrosystème sol-engrais-végétation requiert l'utilisation de traceurs. Dans le premier cas cela revient à déterminer le coefficient d'utilisation réel du phosphore de l'engrais ; dans le second et le troisième à caractériser la mobilité des ions phosphates par des indices obtenus au moyen de l'analyse des cinétiques de dilution isotopique.

L'Albanie possède quelques gisements de craies phosphatées à faible teneur en P (4,3 %) (CARRIERE P. et al. 1978) qu'elle souhaite utiliser au mieux sur son territoire. Il existe très peu d'études publiées sur l'évolution, après enfouissements, de ces composés bien qu'ils existent dans de nombreux pays et en particulier en FRANCE dans les régions de la Somme et du Quercy. Ces formes de phosphates ne peuvent économiquement être traitées à l'acide sulfurique et sont conseillées finement broyées en sol acide.

L'objectif du présent travail était donc d'obtenir, en utilisant les techniques isotopiques disponibles, des informations précises sur le devenir de ces composés en présence ou en l'absence de cultures.

MATERIEL ET METHODES

A - Mesure du coefficient d'utilisation du phosphore de l'engrais

Deux techniques ont été utilisées à des fins de comparaisons :

1. Méthode directe : Elle consiste à "marquer" l'engrais avec un ou plusieurs isotopes puis à analyser la récolte (DEAN L.A. et al 1947). S'agissant d'un produit brut "naturel" dont la synthèse au laboratoire est irréalisable nous avons procédé au marquage par irradiation en réacteur avec des neutrons thermiques sous un flux de $10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ durant 24 heures.

Apparemment élégante, cette méthode n'est pas sans poser quelques difficultés. Tout d'abord sous l'effet SZILARD-CHALMER un certain nombre d'ions PO_4^{---} peuvent devenir des ions $P_2O_7^{----}$ ou PO_3^- (SMIERZCHALSKA K. 1965); ensuite les neutrons agissent non seulement sur le phosphore mais sur un bon nombre de noyaux.

C'est ainsi qu'apparaissent ^{45}Ca , ^{141}Ce , ^{51}Cr , ^{110}Ag , ^{65}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{46}Sc , ^{59}Fe , ^{152}Eu , ^{140}La , ^{140}Ba , ^{124}Sb , ^{103}Ru et ^{169}Yb qui imposent de réaliser des séparations chimiques du phosphore et éventuellement du calcium. Enfin certains composés organiques, sous irradiation neutronique, peuvent se radiolyser, devenir volatils et accroître la pression dans les tubes d'irradiation entraînant, par là même, des problèmes d'ouverture des conteneurs.

2. Méthode indirecte : Cette méthode a été présentée en 1972 (FARDEAU J.C. et GUIRAUD G.). Elle repose sur le fait que les plantes mycorhizées ou non, ne prélèvent leur phosphore que dans la fraction des ions les plus mobiles du sol, c'est-à-dire ceux isotopiquement diluables (FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1976 ; GIANINAZZI-PEARSON V. et al. 1981). La détermination du coefficient d'utilisation d'un élément d'un engrais s'effectue de la façon suivante :

Les ions phosphate isotopiquement échangeables d'un sol sont marqués au $^{32}PO_4$ ou $^{33}PO_4$ selon un protocole proche de celui décrit par LARSEN. Le sol marqué est divisé en 2 lots : le premier, placé en pots de culture, est semé et permet à partir de la radioactivité spécifique du phosphore prélevé de calculer la valeur "L" selon LARSEN. Le second est additionné de l'engrais puis semé ; on détermine la radioactivité spécifique du phosphore des récoltes successives. Soit :

- E la quantité de phosphore apporté comme engrais,
- R, r et r' la radioactivité respectivement introduite dans les pots, prélevée par les plantes témoins et par les plantes en présence d'engrais,
- p et p' la quantité de phosphore prélevée respectivement dans les pots témoins et les pots avec engrais.

On a montré que le coefficient d'utilisation de l'élément dans l'engrais a pour valeur :

$$C U \% = \frac{100}{E} \cdot \frac{r'}{R} \cdot \left[\frac{p'}{\frac{r'}{R}} - \frac{p}{R} \right]$$

B - Détermination de l'état phosphorique des sols et de ses modifications avec des apports d'engrais.

Le statut phosphorique des sols témoins et traités a été étudiée au moyen de la technique des cinétiques de dilution isotopique (FARDEAU J.C. et JAPPE J. ; 1983). Cette méthode consiste à injecter, dans un système sol-solution de sol en état stationnaire, une quantité R d'ions $^{32}\text{PO}_4^{---}$ sans entraîneur, puis à déterminer au cours du temps, t, l'évolution de la quantité r d'ions $^{32}\text{PO}_4$ restant en solution. La séparation entre le sol et sa solution est réalisée grâce à l'emploi de filtres à pores calibrés de 0,2 μm . L'un de nous a montré (FARDEAU J.C. ; 1981) que

$$\frac{r}{R} = \frac{g_m}{n} \cdot t^{-n} \quad (1)$$

pour des durées d'échanges comprises entre 30 secondes et 5 mois, g_m étant la constante moyenne de vitesse d'échange entre les ions libres et les ions liés.

L'équation (1) est équivalente à :

$$\text{Log } \frac{r}{R} = \text{Log } \frac{g_m}{n} - n \text{ Log } t \quad (2)$$

qui montre que dans une représentation graphique $\text{Log } \frac{r}{R} - \text{Log } t$, les points représentatifs de r/R sont alignés sur une droite de pente - n. Quant à la constante g_m , qui est la seconde caractéristique de la cinétique elle peut être connue à partir de r_1/R (valeur de r/R pour t = 1) puisque :

$$g_m = \frac{n}{\left[\frac{r_1}{R} \right]^{\frac{1}{n}}}$$

Comme l'ont montré WHITE et BECKETT (1964) l'appréciation du statut phosphorique ne peut se faire sans la présence d'un indice caractérisant une quantité de phosphore.

La variable retenue est la quantité, p , d'ions phosphate présents dans la solution du sol. Une telle analyse du statut phosphorique qui repose sur trois paramètres indépendants r_1/R , n et p , apporte beaucoup plus d'information sur la fertilité d'un sol que n'importe laquelle des traditionnelles méthodes d'extraction par des réactifs conventionnels qui n'est représentative que d'une quantité extraite par un solvant arbitraire.

C - Sols

Neuf sols, numérotés dans l'ordre de leurs prélèvements effectués dans diverses zones montagneuses de l'Albanie ont été analysés. Leurs caractéristiques classiques sont résumées au tableau 1. Le sol 1 est basique mais non carbonaté : il s'agit d'une smolnitza ; les autres sont acides. Huit des neuf sols, analysés par la méthode JORET-HEBERT (oxalate d'ammonium à pH7), sont classés pauvres en phosphore assimilable. Seul le sol 4 est riche.

Tableau I

Sols	pH Eau 1/10	P total mg/g ⁻¹	P org/ P total %	P assimilable JORET-HEBERT ‰	K assimilable mg/kg ⁻¹	N total mg/g ⁻¹	C total mg/g ⁻¹	C/N
1	7,28	0,29	27	0,01	6	0,65	11,4	17,5
2	5,53	0,42	31	0,00	4	0,67	5,0	7,4
3	5,17	0,36	21	0,02	14	0,63	9,5	13,9
4	6,96	1,32	34	0,20	200	14,00	210,0	15,0
5	5,77	0,25	22	0,00	10	1,29	18,8	14,5
6	5,22	0,48	32	0,00	8	1,33	15,4	11,5
7	4,88	0,79	51	0,06	55	12,00	167,0	13,9
8	6,55	0,95	27	0,01	6	1,35	13,2	9,8
9	6,31	1,50	37	0,06	20	1,86	23,0	12,3

D - Cultures et analyses des récoltes

Pour chaque sol on a disposé de 3 pots "LARSEN", 3 pots à sol marqué au $^{32}\text{P}\text{O}_4$ et engrais non marqué et 2 pots ayant reçu des craies phosphatées irradiées marquées au ^{32}P et au ^{45}Ca . Chaque pot contient 1 kg de terre. L'apport d'engrais pulvérulent, dont la teneur en P est de 4,2 %

et celle en Ca 31,6 %, a été de 500 mg soit 21 ppm de P. Quatre cents milligrammes de graines de ray-grass ont été semés. La première coupe a eu lieu à 5 semaines, la seconde, la troisième et la quatrième respectivement 4, 6 et 8 semaines après. Les coupes sont effectuées à 2 cm du collet, les récoltes sont séchées à l'étuve, pesées et calcinées. Les cendres sont reprises par de l'acide nitrique dilué. Le phosphore est dosé par colorimétrie au vanado-molybdate, le calcium par absorption atomique en présence de lanthane, le phosphore 32 est mesuré par effet Cerenkov et le calcium 45 par scintillation liquide en tenant compte de la contribution de ^{32}P .

E - Cinétiques de dilution isotopique

Elles ont été faites sur des mélanges de 10 g de sol et 100 ml de solution (GJERMANI A.1977, 1978). Les craies phosphatées ont été ajoutées pour apporter 21 ppm de P. Afin de comparer l'action des formes insolubles aux formes solubles les cinétiques ont également été effectuées en présence de 21 ppmP sous forme de superphosphate triple.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

A - Analyses des récoltes

Afin de rendre compte de la régularité de comportement des craies, les résultats des 4 coupes successives sont présentés.

1. Matière sèche récoltée

Les résultats du tableau indiquent que :

- la production de matière sèche, dont le CV ($\frac{\bar{x}}{\sigma} \times 100$) est de 4 %, ne croît avec l'ajout de craies que pour les sols 5 et 6.
- les variations de production d'un sol à l'autre sont bien supérieures aux écarts obtenus entre un sol témoin et le même additionné d'engrais

- TABLEAU II -

Matière sèche récoltée (g par pot de 1 kg)

Coupes		1°	2°	3°	4°	Total récolté
Sols	Traitements					
1	T	1,67	0,97	1,75	1,50	5,89
	Craies	1,68	1,35	1,59	1,38	6,00
2	T	1,87	1,13	1,28	1,08	5,36
	Craies	2,02	1,26	1,31	1,17	5,76
3	T	2,24	1,62	1,60	1,33	6,79
	Craies	2,13	1,86	1,57	1,37	6,93
4	T	2,49	1,96	1,97	2,18	8,60
	Craies	2,53	2,03	2,24	2,11	8,90
5	T	1,16	1,12	1,37	0,79	4,44
	Craies	1,38	1,78	1,52	1,00	5,68
6	T	1,49	1,00	0,82	0,72	4,03
	Craies	1,77	1,71	1,19	0,94	5,69
7	T	2,94	3,60	2,90	2,01	11,40
	Craies	2,86	3,59	2,91	1,83	11,90
8	T	1,76	1,84	1,65	0,97	6,22
	Craies	2,20	1,70	1,50	0,83	6,23
9	T	1,57	1,87	1,72	0,86	6,02
	Craies	1,27	1,99	1,93	0,91	6,10

- l'effet positif, lorsqu'il existe, apparaît dès la première coupe et se maintient tout au long de la végétation.

2. Quantités de phosphore prélevé et teneur des récoltes

Les résultats du tableau III amènent les commentaires suivants :

- la quantité de phosphore prélevé est supérieure en présence d'engrais dans quatre cas : les sols 2, 3, 5 et 6. La comparaison de ces résultats avec les précédents permet de dire qu'une teneur

en P de 1,1 ‰ (sols 5 et 6) dans les plants représente un facteur limitant de la production de matière sèche.

- Les variations des prélèvements en passant d'un sol à l'autre sont bien supérieures à celles obtenues par addition d'engrais sur un même sol.

Ces résultats montrent, même si cela peut paraître banal à certains, l'intérêt d'un choix cohérent entre les sols et les cultures, un ajout d'engrais ne permettant pas toujours de corriger la pauvreté en phosphore des sols.

- TABLEAU III -

Phosphore prélevé : mgP. par pot de 1 kg

Coupes		1°	2°	3°	4°	Total récolté
Sols	Traitements					
1	T	2,45	2,18	4,00	4,51	13,10
	Craies	2,38	2,74	3,62	4,32	13,00
2	T	2,74	1,28	1,36	1,47	6,85
	Craies	2,91	1,54	1,56	2,06	8,07
3	T	3,67	3,21	2,88	3,80	13,50
	Craies	4,20	4,30	3,60	4,63	16,70
4	T	8,14	7,88	7,60	9,95	33,50
	Craies	9,09	7,65	8,56	10,05	35,30
5	T	1,31	1,30	1,29	1,19	5,09
	Craies	1,76	2,48	2,02	2,18	8,44
6	T	1,96	0,85	0,72	0,85	4,38
	Craies	2,44	1,99	1,48	2,00	7,91
7	T	6,54	8,33	8,29	7,23	30,39
	Craies	5,65	8,83	9,45	5,68	29,60
8	T	3,22	3,74	3,77	4,15	14,88
	Craies	4,30	3,61	3,38	4,27	15,56
9	T	6,26	6,55	8,14	6,26	27,20
	Craies	5,45	6,43	8,19	6,71	26,70

3. Coefficient d'utilisation des éléments des craies

a - Méthode directe (tableau IV)

L'utilisation de l'engrais est continue tant pour P que pour Ca. Les coefficients d'utilisation sont dans un rapport 100 entre les situations extrêmes (sol 4 et sol 7) ; il est de 13,9 % dans le cas le plus favorable (sol 7).

- TABLEAU IV -

Coefficients d'utilisation (%) de P et Ca de la phosphorite

Coupes		1°	2°	3°	4°	Total
Sols	Elément	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	P	0,02	0,07	0,14	0,32	0,55
	Ca	0,06	0,08	0,09	0,092	0,32
2	P	0,48	0,46	0,51	1,0	2,45
	Ca	0,64	0,39	0,43	0,97	2,43
3	P	1,8	1,41	2,16	2,39	7,76
	Ca	0,94	0,07	0,70	0,66	2,37
4	P	0,008	0,016	0,046	0,049	0,12
	Ca	$1,59 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,014	0,036	0,05
5	P	0,8	2,71	1,92	2,17	7,6
	Ca	0,27	0,5	0,3	0,26	1,33
6	P	3,2	3,6	2,5	3,0	12,3
	Ca	1,05	1,1	0,46	0,49	3,1
7	P	1,78	5,06	4,7	2,4	13,9
	Ca	0,27	0,65	0,39	0,27	1,58
8	P	0,03	0,05	0,06	0,06	0,2
	Ca	0,49	0,36	0,24	0,26	1,35
9	P	0,013	0,027	0,05	0,05	0,14
	Ca	0,1	0,2	0,23	0,16	0,69

α - Conditions d'utilisation du phosphore des craies phosphatées

La comparaison des résultats tableau IV, colonne 5 et tableau I montre qu'une faible teneur du sol en forme de phosphore assimilable (sol 1) ne suffit pas à provoquer nécessairement un passage du phosphore des craies vers les récoltes. A l'inverse la présence de réserves assimilables importantes (sol 7) n'est pas un frein à la consommation du phosphore de l'engrais. Le graphique 1

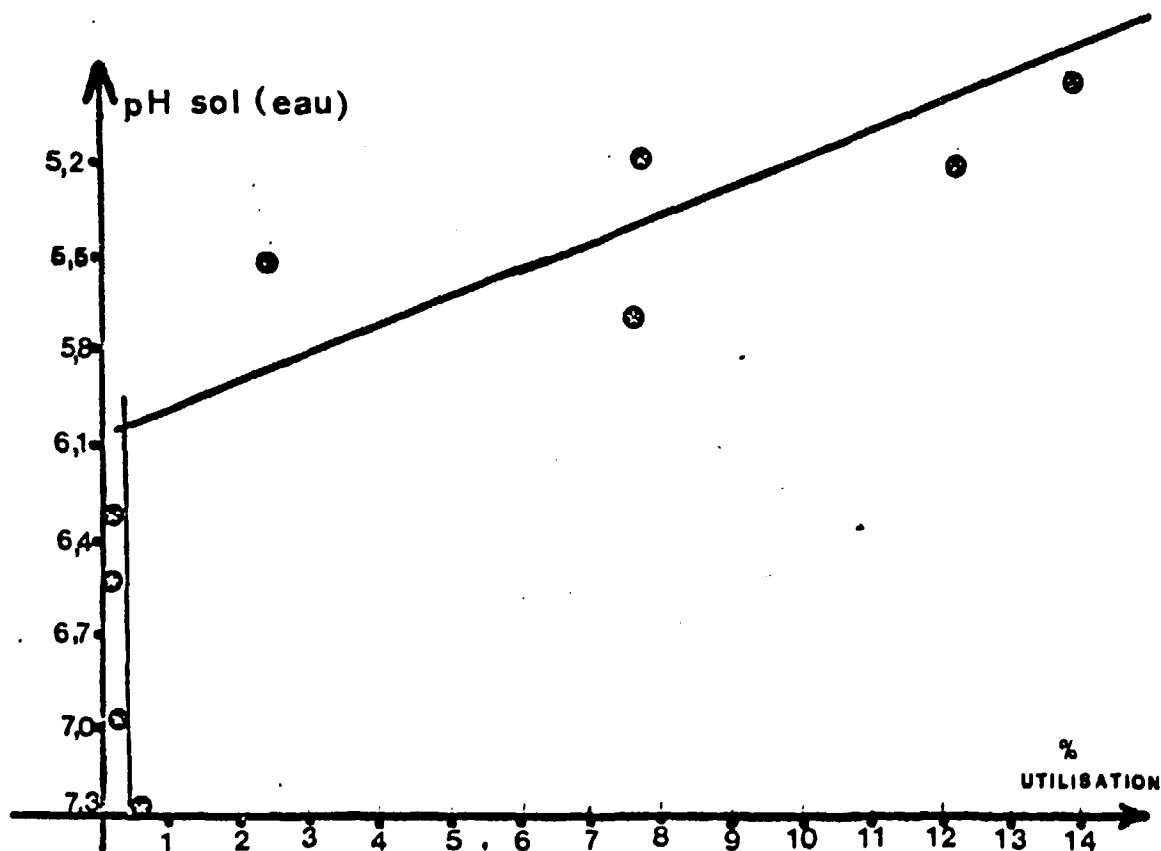


Fig 1 : % Utilisation P des craies et pH

illustre que le pH du sol est un des facteurs essentiels qui contrôle les possibilités d'utilisation du phosphore des formes d'engrais insolubles ; il permet également de situer aux alentours de pH = 6,1 la zone limite de l'action de ces engrais. Cette même valeur a été proposée à partir d'autres expériences effectuées avec d'autres phosphates naturels, plus riches en phosphore, enfouis dans des sols de nature très différente (FARDEAU J.C. et al 1983).

β - Utilisation comparée du phosphore et du calcium de l'engrais

Les valeurs obtenues et citées au tableau IV amènent les conclusions suivantes :

- le phosphore et le calcium de l'engrais sont prélevés dans le rapport où ils se trouvent dans la craie phosphatée uniquement dans le sol n° 2. Hormis les sols 8 et 9 pour lesquels les coefficients d'utilisation sont très faibles, le prélèvement du phosphore est en général supérieur à celui du calcium. Cette disjonction pourrait conduire à terme, à former une gangue d'ions Ca^{++} autour des particules d'engrais et rendre le phosphore inaccessible (ASLYNG H.C. 1954).
- le rapport de P à Ca provenant de l'engrais ne varie guère au long des coupes successives pour un sol donné sauf pour le sol n° 1 dont les prélèvements dans l'engrais sont très faibles. Les fluctuations du rapport P/Ca ne vont pas dans le sens de l'immobilisation du phosphore. On peut donc penser que le calcium non prélevé est lessivé hors de la zone de dissolution. Il devrait par conséquent être possible, du fait de la longue période (145 jours) du ^{45}Ca de préciser l'effet résiduel du phosphore d'un engrais phosphaté insoluble sur une durée de 3 à 4 ans en utilisant la valeur du rapport P/Ca mesurée durant les 6 premiers mois de culture avec le ^{32}P et le ^{45}Ca .

b - Méthode directe (tableau V)

Les résultats présentés dans la colonne 1 du tableau V correspondent uniquement aux observations relatives à la 4ème coupe, les autres conduisant à des valeurs très voisines. Seul apparaît évidemment le phosphore puisque l'expérimentation ne comportait pas de pots LARSEN avec ^{45}Ca .

- TABLEAU V -

Utilisation du phosphore des craies (Méthode indirecte)
et Phosphore "assimilable" des sols (4ème coupe).

Sol	Coefficient d'utili- sation P (Méthode indirecte) % de l'apport (1)	Valeur L ppmP (2)	Valeur A ppmP (3)
1	- 1,52	50	1.310
2	1,58	62,3	181
3	4,5	109,8	171
4	0	737	15.563
5	3	50	66
6	4	48	40,8
7	4	236	309
8	0	187	6.502
9	0	354	11.428

c - Comparaison des méthodes directe et indirecte de détermination du coefficient d'utilisation du phosphore des engrais

Les deux méthodes donnent des résultats qui ne sont pas significativement différents (tableau IV, colonne 4, et tableau V, colonne 1).

La méthode indirecte utilise une différence de radioactivité spécifique, laquelle est au mieux déterminée avec un coefficient de variation de 5 %. Elle présente donc l'inconvénient de donner une valeur moins précise que la méthode directe du coefficient d'utilisation de l'élément de l'engrais et elle nécessite obligatoirement la présence de culture sans engrais.

Malgré ces deux inconvénients (précision moindre et nombre de pots de culture plus grand) elle permet de tester n'importe quel engrais même si celui-ci n'est "marquable" ni par synthèse, ni par activation, comme c'est le cas pour les formes granulées dont tout le liant organique est généralement détruit par l'irradiation neutronique.

B - Analyse du statut phosphorique des sols1. Cinétique de dilution isotopique

- TABLEAU VI -

Indices caractéristiques de cinétiques
de dilution isotopique

Sol	Sol sans engrais			Sol + Phosphorite $\frac{r_1}{R}$ (4)	Sol + Superphos- phate $\frac{r_1}{R}$ (5)
	P $\mu\text{gP}\cdot\text{g}^{-1}\text{sol}$ (1)	n (2)	$\frac{r_1}{R}$ (3)		
1	1,5	0,21	0,27	0,25	0,36
2	0,018	0,44	0,016	0,020	0,034
3	0,17	0,38	0,045	0,047	0,058
4	8,7	0,28	0,43	0,42	0,46
5	0,08	0,43	0,042	0,036	0,071
6	0,05	0,42	0,022	0,033	0,039
7	0,6	0,5	0,47	0,37	0,48
8	0,15	0,29	0,021	0,020	0,025
9	1,35	0,26	0,075	0,072	0,085

L'ensemble des caractéristiques cinétiques ($\frac{r_1}{R}$, net P) des sols sans engrais (tableau IV, colonnes 1, 2 et 3) indique que trois sols (sols 1, 4 et 7) ont un pouvoir fixateur faible à très faible puisque r_1/R est supérieur à 0,2 (FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1978) et les six autres sols ont un pouvoir fixateur très élevé ; pour ces derniers la politique de fertilisation à retenir ne pourra en aucun cas être celle de l'accroissement des réserves assimilables comme certains auraient pu l'envisager pour les sols 2, 5 et 6 qui sont pauvres en formes mobiles (ANSIAUX J.R.; 1978. FARDEAU J.C. et al, 1983). C'est d'ailleurs ce que confirment les essais effectués avec les ajouts de phosphate soluble (superphosphate) ou insoluble (craies) (tableau VI, colonnes 4 et 5) pour lesquels seules ont été indiquées les valeurs de r_1/R , celles de p et de n ne faisant que les confirmer ; on note en effet que le pouvoir fixateur du sol reste, en présence de la forme soluble,

très élevé pour les sols fixant beaucoup. De plus il faut signaler que l'addition de phosphorite accroît dans 2 circonstances (sols 5 et 7) la rétention du phosphore par le sol. Il s'agit là d'un phénomène déjà observé soit en présence de phosphates naturels, soit avec des amendements calcaires (FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1983).

2. Valeur L, valeur A et fertilité phosphorique des sols

La méthode indirecte de mesure du coefficient d'utilisation des éléments des engrais permet de calculer, selon leurs auteurs, des quantités de phosphore assimilable présentes dans les sols.

La valeur "L" (LARSEN S. 1952) est calculée à partir du traitement sans engrais ; elle représente la quantité de phosphore assimilable du sol, estimée par dilution isotopique et révélée par une plante-test (tableau V, colonne 2). Sur les bases de GACHON (1977), 5 sols (3, 4, 7, 8 et 9) peuvent être considérés comme normalement pauvres à riches.

La valeur "A" (FRIED M. et DEAN L.A. 1952) calculée ici à la 4ème coupe (tableau V, colonne 3) représente la quantité de phosphore assimilable du sol, en présence de l'engrais, considéré comme étalon.

La signification de la valeur "A" a été antérieurement commentée (FARDEAU J.C. et GUIRAUD G. ; 1972). Son calcul conduit, dans l'expérience présente, à des valeurs de "phosphore assimilable" supérieur au phosphore total des sols (sols 1, 4, 8 et 9) ; on ne peut trouver meilleur exemple pour répéter que la quantité ainsi calculée est fictive et que l'utilisation de cette méthode pour apprécier la fertilité phosphorique des sols n'est pas justifiée.

La comparaison des valeurs "L" aux quantités de phosphore prélevé dans le sol fait apparaître le rôle du pouvoir fixateur dont on rappelle qu'une des meilleures estimations est la valeur de $\frac{r_1}{R}$ (FARDEAU J.C. ; 1981).

A quantité de réserves égales (sol 1, 4 et 5) le prélèvement est d'autant plus faible que le pouvoir fixateur est élevé. La comparaison des résultats des sols 1 et 3 montre également qu'une quantité de

réserves double n'accroît pas systématiquement les prélèvements : la raison réside dans un pouvoir fixateur beaucoup plus élevé. Le pouvoir fixateur est un frein au transfert du phosphore du sol vers la plante.

Enfin si l'on compare les valeurs L au P assimilable JORET-HEBERT il apparaît que la mesure LARSEN est plus appropriée à caractériser la fertilité. En effet selon JORET-HEBERT seul le sol 4 serait suffisamment pourvu alors que la croissance est correctement assurée dans les sols 3, 4, 7 et 8. Le tableau 6 indique que les sols 3, 7 et 8 sont à très fort pouvoir fixateur : on peut supposer qu'au cours de l'extraction JORET-HEBERT une partie de phosphore dissous est très rapidement réadsorbé par les particules de sol ; on devrait, si tel est le cas, diminuer les seuils de fertilité P JORET-HEBERT pour les sols à fort pouvoir fixateur, la tendance actuelle étant plutôt l'inverse.

C - Analyse du rôle des engrais phosphatés

Le tableau VII regroupe les divers effets observés

- TABLEAU VII -

Analyse de l'effet des craies phosphatées

Effet	Sols				
Augmentation de la matière sèche			5	6	
Accroissement du prélèvement P	2	3	5	6	
Utilisation significative du P engrais	2	3	5	6	7

Selon le critère retenu l'engrais peut être considéré comme efficace ou non ; le cas du sol 7 associé aux craies, est particulièrement exemplaire. Il s'agit d'un sol riche, portant des récoltes à teneur élevée en P ; malgré cela, du phosphore de l'engrais passe dans la récolte sans que la quantité de phosphore prélevé par la végétation soit accrue ; le résultat en est une économie des réserves assimilables du sol qui peut être également considérée comme un critère d'efficacité d'un engrais.

- CONCLUSIONS -

1. La mesure du coefficient d'utilisation du P des craies phosphatées (4,3 % P) indique qu'elles peuvent être utilisées par des cultures si le pH du sol est inférieur à 6,1. L'efficacité est d'autant plus importante que le pH du sol est plus faible, même si le sol est riche en phosphore assimilable ce qui n'avait pas été vu précédemment (CHIEN S.H. 1978 ; KHASAWNEH F.E. and SAMPLE E.C. 1978).
2. L'analyse des cinétiques de dilution isotopique montre que les craies phosphatées n'accroissent pas les réserves phosphatées assimilables dans les sols étudiés même lorsqu'elles présentent une efficacité immédiate sur la récolte. Pour modifier ces réserves, il faut utiliser une forme soluble ; cette pratique est cependant inefficace, aux doses économiquement possibles, dans les sols à fort pouvoir fixateur ($r_1 / R < 0,2$).
3. Le pouvoir fixateur des sols à l'égard des ions phosphate est un indice aussi important à déterminer que la quantité de réserves assimilables.
4. La méthode indirecte de mesure du coefficient réel d'utilisation d'un élément d'un engrais, basée sur une méthode de dilution isotopique inverse et qui repose sur le marquage du phosphore mobile du sol, est certes moins sensible et précise que la méthode directe utilisant un engrais marqué mais elle permet de tester l'efficacité de n'importe quelle substance dont le marquage par synthèse ou par irradiation neutronique est irréalisable.

- BIBLIOGRAPHIE -

ANSIAUX J.R. 1977. Le niveau de fertilité phosphorique des sols. Phosphore et Agriculture (70) 1-11

ASLYNG H.C. 1954. The lime and phosphate potentials of soils ; the solubility and availability of phosphate. Year b. Royal Veterin and Agric. Coll. Copenhagen 1.50

CARRIERE P., DEFONTAINES J-P., RAICHON C. 1978. L'Albanie : développement d'une agriculture socialiste et méditerranéenne. Publication INRA 144 p.

CHIEN S.H. 1978. Dissolution of phosphate rocks in solutions and soils. Seminar on phosphate Rock for direct applications 97-129 HAIFA. Publication IFDC.

DEAN L.A. et al 1947. Application of radioactive tracer technique to studies of phosphatic fertilizers utilization by crops : I. Greenhouse experiments Soil Sci Soc Amer Proc 12- 107- 12.

FARDEAU J.C. et GUIRAUD G. 1972. Determination of available soil and fertilizers phosphorus by isotopic dilution method. Phosphorus in Agriculture (60) 19-26.

FARDEAU J.C. et GUIRAUD G. 1972. Détermination simultanée des valeurs A et L du phosphore d'un sol à l'aide de ^{32}P et du ^{33}P . IAEA SM 151.20 ; 499-506.

FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1976. Nouvelle méthode de détermination du phosphore assimilable par les plantes : extrapolation des cinétiques de dilution isotopique. C.R. Acad Sci Paris t 282 D. 1137.1140

FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1978. Analyse par dilution isotopique de la fertilité et de la fertilisation phosphorique de quelques sols du Quebec. Can J. of Soil Sci (58) 251.258

FARDEAU J.C. 1981. Cinétiques de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse d'Etat Paris VI.

FARDEAU J.C. et JAPPE J. 1982 - Intérêt des cinétiques d'échanges isotopiques pour la caractérisation du phosphore assimilable des sols. Science du sol. Bulletin de l'AFES.

FARDEAU J.C. ; DIATTA S. ; NDIAYE J.P. et JAPPE J., 1983 - Choix de la fertilisation phosphorique dans quelques sols du Sénégal : utilisation du phosphore ³²P - Agronomie tropicale (sous presse).

FRIED M. and DEAN L.A. 1952 - A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Science - 73 ; 263-271.

GACHON L. 1977 - Utilité d'un bon niveau de réserves phosphatées du sol. Phosphore et Agriculture - 70 ; 27-33.

GIANINAZZI - PEARSON V. et al 1981 - Source of additional phosphorus absorbed from soils by vesicular and arbuscular mycorrhizal soybeans. Physiologie végétale.

GJERMANI A. 1977. Përcaktimi me anën e hollimit izotopik i rezervave të fosfateve të asimilueshme të tokës. Buletini i Shkencave bujqesore. 1. 5-13.

GJERMANI A. 1978. Kinetika e hollimit - nje metode e re percaktimin e fororit te pervetesueshem. Toka bujqesore. 4. 22-27.

KHASAWNEH F.E. and SAMPLE E.C. 1978. Phosphorus concentration in soil solution as a factor affecting phosphate rock effectiveness. Seminar on phosphate rock for direct application. 130-146. Publication IFDC.

LARSEN S. 1952. The use of ³²P in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil (4) 1-10.

SMIERZCHALSHA K. 1965. Problem of the use of neutron irradiated phosphorus fertilizers in studies of their effectiveness. Symposium AIEA. 1965. SM 65-40.

WHITE R.E. and BECKETT P.M. 1964. Studies on the phosphate potentials of soils. Part I. The measurement of phosphate potential. Plant and Soil 20 (1) 1-16.

