

Étude de l'influence des différentes doses de fumier sur la libération du phosphore d'un sol ferrallitique de Madagascar

Robertine V. RAHARINOSY

Agro-Pédologue, Maître-assistante au Laboratoire des Radioisotopes, Université de Madagascar, B.P. 3333, Antananarivo, Madagascar

RÉSUMÉ

Sur un échantillon agronomique (0-17 cm) de sol ferrallitique fortement désaturé (Ampangabe), ont été étudiés l'enfouissement de différentes doses de fumier seul et associé à NPK en fonction du temps, et l'exploitation du phosphore par le ray-gras après 5 mois 1/2 d'enfouissement d'engrais.

Différentes méthodes chimiques et isotopiques de détermination du phosphore ont été utilisées: CHANG et JACKSON, OLSEN modifié, valeur L et cinétiques de dilution isotopique.

Le fumier provoque un accroissement des formes extraites par les réactifs CHANG et JACKSON, surtout la forme soluble et la forme extraite par NaOH 0,1 N (P-Fe). L'excès de matières organiques par rapport au fer, semble favoriser la fixation du phosphore par des complexes matière organique-fer, soluble à court terme et échangeable à long terme.

L'association de NPK à une dose faible de fumier (5t/ha) accroît le poids de récolte de 30 % par rapport au fumier seul.

MOTS-CLÉS : Sol ferrallitique — Fumier (matière organique) — Phosphore — Valeurs L , $\frac{r_1}{R}$ — Formes extraites selon CHANG et JACKSON — Complexes P-MO-Fe ou Al-P.

SUMMARY

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DIFFERENT AMOUNTS OF MANURE ON THE ASSIMILABILITY OF PHOSPHORUS FROM A FERRALLITIC SOIL IN MADAGASCAR

The burying of manure and the export of phosphorus by the ray-gras after 5 months 1/2 of burying, were studied on a agronomic sample of soil (0-17 cm) extremely desaturated ferrallitic.

Chemical and isotopic dilution of phosphorus analysis were used on soil samples extracted in pots: phosphorus forms (CHANG and JACKSON) modified OLSEN, L value and kinetics.

The manure increases phosphorus forms CHANG and JACKSON soluble form and form extracted by NaOH 0,1 N (P-Fe). The over dose of organic matter with iron increases fixation of phosphorus by complexes (MO-Fe) soluble at short dated and exchangeable at long dated.

The association NPK with a low dose of manure increases the crop yields 30 per cent with manure only.

KEY WORDS : Ferrallitic soil — Manure (organic matter) — Phosphorus — L values $\frac{r_1}{R}$ — Forms extracted through CHANG and JACKSON's method — Complexes MO-Fe or Al-P.

INTRODUCTION

La note résume l'étude faite durant un an, en pots, sur un sol ferrallitique fortement désaturé issu de gneiss, au laboratoire des Radioisotopes, sur l'interaction sol-engrais (NPK-fumier) permettant une fourniture du phosphore à la plante test (ray-gras).

Il est connu que l'apport du fumier contribue à maintenir le niveau organique d'un sol et à accroître la teneur en phosphore organique et minéral. Il y a perte de carbone du fumier et enrichissement en phosphore organique et minéral. « Cette augmentation est supérieure à celle du carbone organique, ce qui permet de supposer que le phosphore apporté

par le fumier reste pour une part sous forme organique, bien que le climat tropical soit favorable à une intense minéralisation » [J. PICHET, TRUONG BIHN, BURDIN, 1973]. Selon B. DABIN (1971), le fumier en suspension dans l'eau avec le sol est en grande partie sous forme colloïdale riche en oxydes d'aluminium et de fer, il semble former un complexe organo-minéral avec le phosphore du sol. Récemment, on a montré que le fumier joue un rôle spécifique lorsqu'il est associé à la dolomie et aux engrais minéraux. A court terme, il fixe le phosphore, pour limiter à plus long terme le transfert du phosphore dans le sol, et accroître la concentration du phosphore dans la solution du sol (RAHARINOSY, 1979).

TABLEAU I

Produits en kg/ha.	en mg de produits / pot de 1 kg de sol						
	TO Témoïn	TI 5 t de fumier	TII NPK	TIII 5 t de F + NPK	TIV 20 t de Fumier	TV 40 t de Fumier	TVI 100 t de Fumier
Urée 300 kg/ha à 45 %	-	-	106	106	-	-	-
KCl 100 kg/ha à 60 %	-	-	36	36	-	-	-
Hyper-Reno 60 kg/ha P ₂ O ₅	-	-	72	72	-	-	-
Fumier -5 t, 20 t, 100 t)	-	330	-	330	1320	2640	6600
Equivalent en P mg/kg de sol	-	2,9	8,8	11,7	11,6	23,2	58

Hyper-Reno : phosphate tricalcique naturel à 31 % de P₂O₅.

Dans la première partie de notre travail, nous étudierons la libération en fonction du temps, du phosphore soluble et assimilable, en relation avec l'enfouissement d'engrais minéraux et organiques. Les méthodes de dosage du phosphore sont celles de CHANG et JACKSON, et celle d'OLSEN modifiée par DABIN. Dans une seconde partie, sera étudiée l'exportation du phosphore par du ray-gras cultivé en pots, après cinq mois 1/2 d'enfouissement de l'engrais.

L'auteur remercie MM. G. AUBERT et B. DABIN (ORSTOM) et M. J.-C. FARDEAU (SB DRA Cada-rache) pour leurs conseils avisés.

1. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET TECHNIQUES D'ANALYSE

Les essais conduits en cultipots de 10×10×13 cm comprennent 2 répétitions de 6 traitements (tabl. I).

Les divers engrais correspondants à chaque traitement sont intimement mélangés à 1 000 g de sol, amendés avec l'équivalent de 500 kg/ha de dolomie soit 180 mg/pot.

Le fumier qui provient de la ferme d'État de Kianjasoa est un fumier de bovins apporté sous forme d'une poudre sèche dont la composition est la suivante :

% H ₂ O	% M.S	en % de M.S							
		C	N	P	K	Ca	Mg	Si	Fe
76,9	23,1	40,6	2,8	0,63	0,10	0,65	0,30	10,5	0,05

TABLEAU II

Phosphore total et phosphore organique

en µg/g de sol	TO témoin	TI 5 t de fumier	TII NPK	TIII 5 T de F + NPK	TIV 20 t de fumier	TV 40 t de fumier	TVI 100 t de fumier
P total	451	462	465	470	495	581	625
Δ P total/témoin	0	11	14	19	44	130	174
F organique	50	63	50	50	81	-	94
Δ F organique/témoin	0	13	0	0	31	-	44

L'Hyper-Reno est un phosphate tricalcique naturel (hydroxy apatite bien cristallisé) à 31 % de P₂O₅.

Une fois en pot, le sol est amené aux 2/3 de la capacité de rétention en eau et conservé en serre. En vue d'analyser l'évolution des différentes formes de phosphates, des prélèvements d'environ 25 g de sol sont effectués après 15 jours, 2 mois, 3 mois et 5 mois 1/2 d'enfouissement. A ce stade 800 g (pesé) de sol sont mélangés à 80 ml d'une solution radioactive PO sans entraîneur dont la radioactivité est de 1 mCi, puis ensemencés avec 2 g de ray-grass.

Quatre techniques d'analyse ont été utilisées :

— le fractionnement des formes du phosphore selon CHANG et JACKSON (1957), en

— présence ou non de phosphore radioactif GACHON (1972);

— la méthode de OLSEN modifiée par DABIN (1967);

— la technique biologique en vases de végétation de CHAMINADE (1965) en présence de phosphore radioactif (LARSEN, 1967).

2. ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU PHOSPHORE DU SOL DURANT 5 MOIS 1/2

2.1. Après 15 jours d'enfouissement

2.1.1. LES FORMES DU PHOSPHORE

Phosphore total

La quantité de phosphore total (P. total) dans tous les traitements est supérieure à celle du témoin. Les augmentations de P. total sont plus fortes que les enrichissements. Le problème du mode d'extraction classique de P. total se pose. Ce P. total n'est en effet qu'une fraction du P. total réel. Pour vérifier cette hypothèse, des essais préliminaires sur témoin par attaque à la fusion alcaline ont été conduits. Comme il est bien connu que les résultats obtenus par fusion alcaline sont supérieurs aux chiffres correspondants par l'attaque par les acides, il s'est avéré que la différence est de l'ordre de 20 % au profit des premiers.

TABLEAU III

Analyse de sol selon CHANG et JACKSON. P. soluble, P-Al, P-Fe, P-Ca en $\mu\text{g/g}$ de sol des fractions P. OLSEN en $\mu\text{g/g}$ de sol

	1er prélèvement (15 j.)					2eme prélèvement (2 mois)						
	P. s	P-Al	P-Fe	P-Ca	ΣP	P. Olsen	P. s	P-Al	P-Fe	P-Ca	ΣP	P. Olsen
Témoin	0,19	12	29	4	45	12	2,6	12	20	10	45	15
5t de fumier	0,33	14	41	5	60	12	2,6	12	22	10	47	14
NPK	0,42	12	34	4	50	16	3,0	18	21	10	52	23
5t de F + NPK	0,36	22	42	8	72	18	3,0	21	27	10	61	26
20t de fumier	0,55	15	48	6	70	16	2,6	17	23	10	53	20
40t de fumier	0,54	19	44	8	72	21	3,5	25	25	12	66	31
100t de fumier	0,66	26	52	9	88	35	4,3	36	20	15	75	41

	3ème prélèvement (3 mois)					4ème prélèvement (5mois $\frac{1}{2}$)						
	P. s	P-Al	P-Fe	P-Ca	ΣP	P. Olsen	P. s	P-Al	P-Fe	P-Ca	ΣP	P. Olsen
Témoin	0,76	8	42	4	55	15	0,11	6	44	2	52	15
5t de fumier	0,60	8	44	4	57	15	0,11	7	47	4	58	17
NPK	0,44	11	42	4	57	20	0,14	9	51	2	62	22
5t de F + NPK	0,52	14	47	11	73	18	0,16	7	65	3	75	23
20t de fumier	0,68	8	47	4	60	17	0,24	6	53	4	63	22
40t de fumier	0,52	14	52	4	71	29	0,27	5	59	2	66	26
100t de fumier	0,82	32	56	5	94	41	0,33	8	70	2	80	36

Phosphore organique

Dans les limites expérimentales et suivant les traitements, il apparaît que c'est le phosphore organique qui joue le plus grand rôle dans l'augmentation du P. total (tabl. III).

Somme des formes du phosphore

La somme des quantités de phosphore de différentes fractions extrait (que l'on appellera par la suite Σ de P) selon la méthode de CHANG et JACKSON augmente du témoin aux traitements (tabl. III), elle croît selon l'ordre suivant : Témoin ou TO < NPK ou TII < 5 t de F ou TI < 20 t de F ou TIV < 5 t de F+NPK ou TIII < 40 t de F ou TV < 100 t de F ou TVI

Les Σ de P sont équivalentes pour les deux traitements 40 t de F et 5 t de F+NPK.

Phosphore lié au fer, phosphore lié à l'aluminium

La quantité de phosphore lié au fer (P-Fe) [extrait par NaOH 0,1 N] est la plus importante, elle s'accroît quand la dose de fumier augmente et augmente moins avec l'apport de NPK. La quantité de phosphore lié à l'aluminium (P-Al) [extrait par NH_4F 0,5 N] ne présente une augmentation importante que pour les traitements 100 t de F, 40 t de F et 5 t de F+NPK. La quantité de phosphore liée au calcium (P-Ca) [extrait par H_2SO_4 0,1 N] est faible, elle augmente aussi quand la dose de fumier croît. La concentration de phosphore [extrait par NH_4Cl 0,01 N et N] dit P. soluble est très faible,

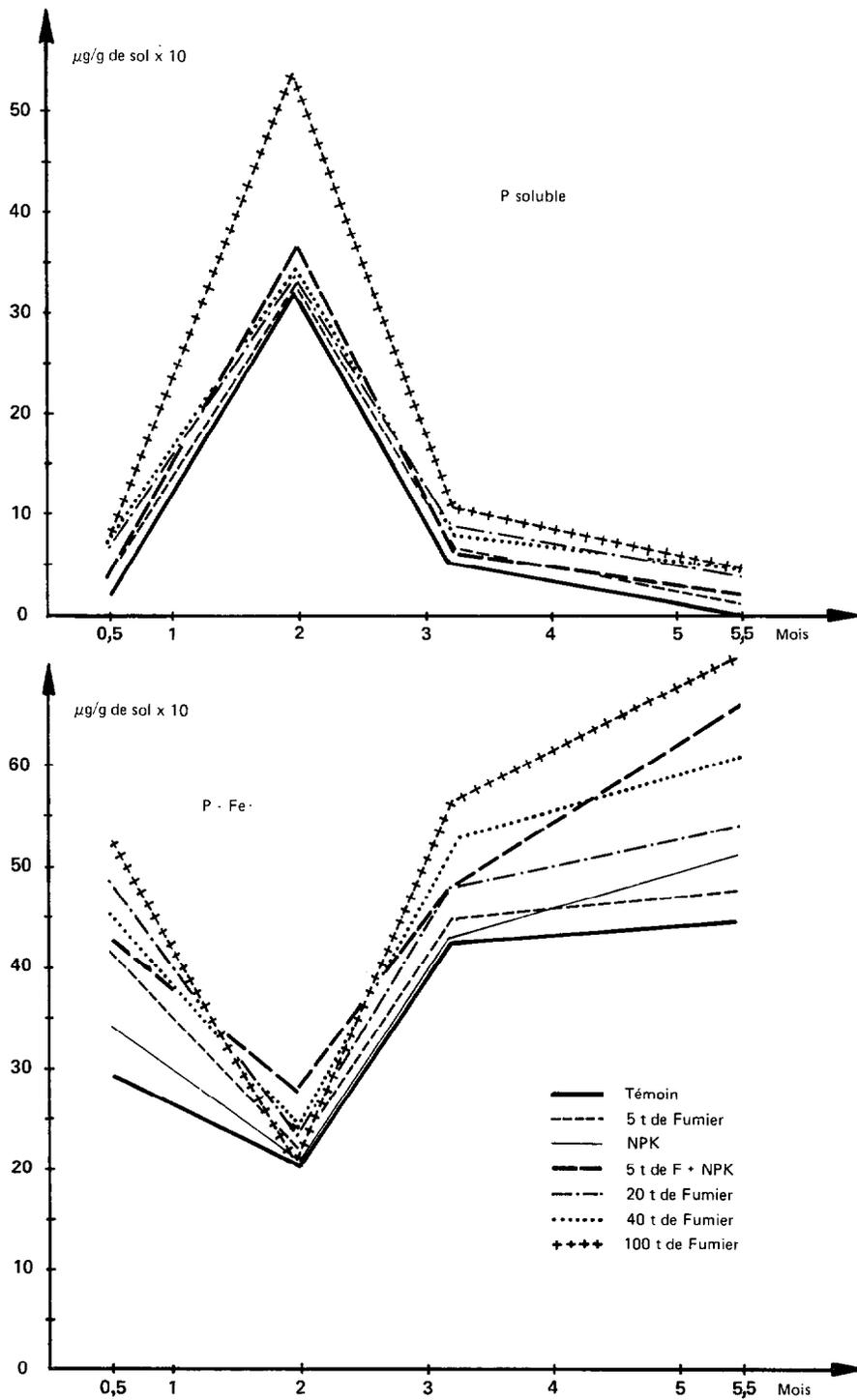


FIG. 1.

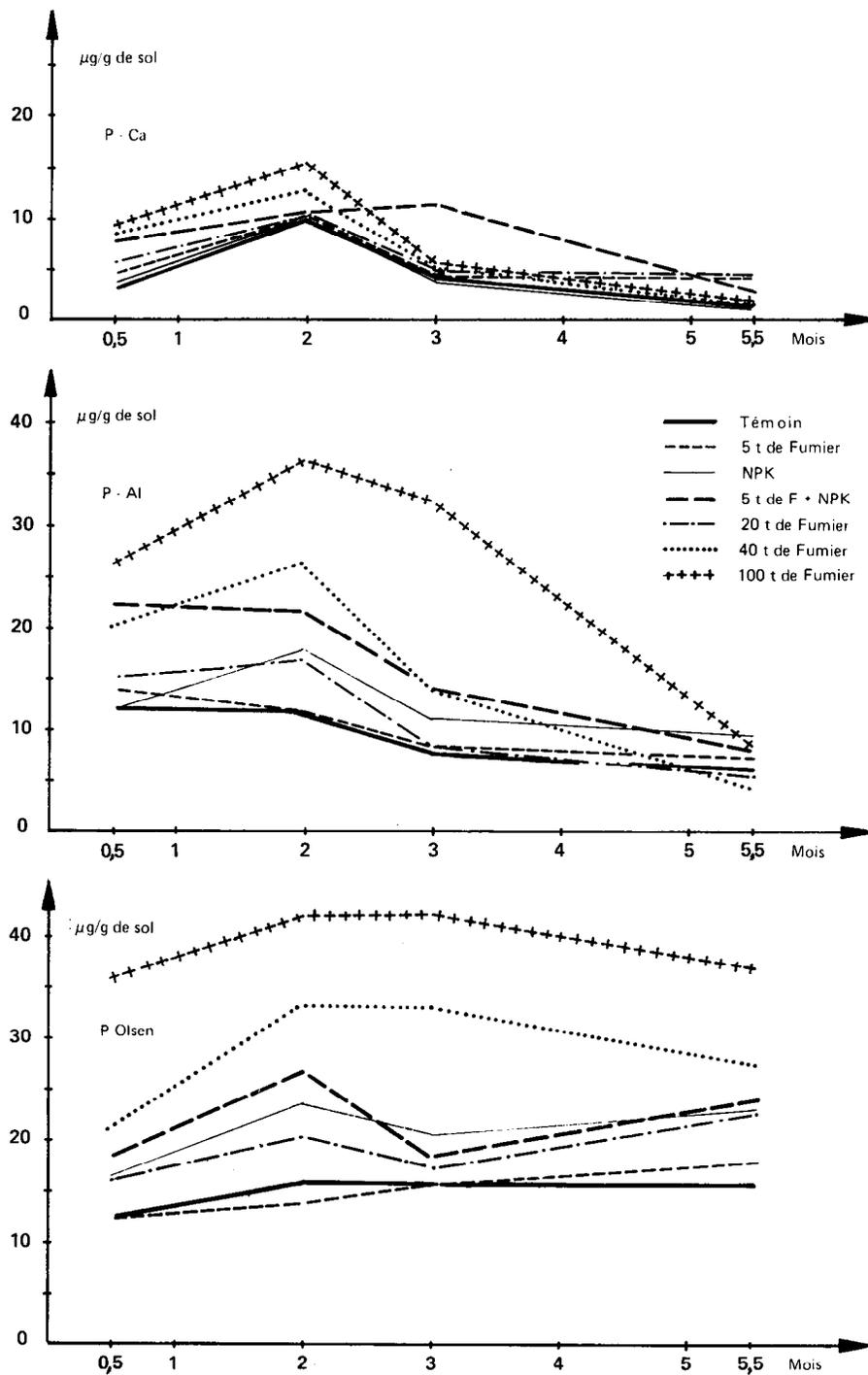


FIG. 2.

cependant les variations, par rapport au témoin des traitements TIII, TIV et TV, sont sensibles (fig. 1 et 2).

L'apport de fumier se traduit donc par une augmentation des différentes formes extraites par les réactifs CHANG et JACKSON.

2.1.2. P. OLSEN MODIFIÉ PAR DABIN

Tableau III, fig. 2.

L'ordre croissant des quantités de phosphore extrait par la méthode de OLSEN (P. OLSEN modifié) est :

T 0, T I < T H, T I V < T III < T V < T V I
 12 16 18 21 35 en $\mu\text{g/g}$ de sol

Cette valeur est une des meilleures méthodes d'estimation du phosphore assimilable des sols tropicaux. Dans ces sols étudiés ici et à ce stade, elle correspond essentiellement au P-Al, les niveaux de P. soluble étant très faibles.

2.2. Après 2 mois d'enfouissement

2.2.1. LES FORMES DE P SELON CH ET J

Tableau III, fig. 1 et 2.

En observant le tableau III, le phosphore soluble a augmenté de plus de $2,4 \mu\text{g/g}$ par rapport à celui extrait au bout de 15 jours. De même pour P-Al, les augmentations par les traitements NPK et 100 t de F sont significatives et respectivement égales à $6 \mu\text{g/g}$ et $10 \mu\text{g/g}$, il n'y a pas de variation dans les autres cas; le P-Fe diminue de 20 % par rapport à la valeur obtenue après 15 jours pour tous les traitements mais plus faiblement pour le traitement combiné 5 t de F + NPK. Le P-Ca s'accroît de 50 % excepté le traitement combiné 5 t de F+NPK qui ne varie que de 20 %. La diminution de P-Fe est symétrique à l'augmentation de P. soluble, de P-Ca (sous forme soluble) pour le témoin et à l'augmentation Ps, PCa et PAl pour le traitement NPK. La Σ de P de différentes fractions a diminué pour tous les traitements sauf pour le témoin et NPK.

2.2.2. P. OLSEN MODIFIÉ

Tableau III, fig. 2.

Le P. OLSEN a augmenté pour tous les traitements et surtout pour le traitement 5 t de F+NPK.

Pour le traitement combiné TIII la valeur de P. OLSEN augmente comme au P-Ca. P lié au Ca l'est sous forme insoluble.

Au bout de 3 mois, une grande partie du P assimilable est sous forme de P-Fe. On remarque que l'apport croissant de fumier ne fait pas varier le P. OLSEN en valeur, excepté pour les fortes doses 40 t et 100 t de F.

P. OLSEN est supérieur à la somme de P-Al + P-Ca + P soluble, sauf pour le traitement 5 t de F+NPK.

2.3. Après 5 mois 1/2 d'enfouissement

2.3.1. LES FORMES DE P. SELON CHANG ET JACKSON

Tableau III, fig. 1, fig. 2.

Le P-Al continue à décroître pour tous les traitements et ceci en faveur de P-Fe qui augmente d'autant.

Les valeurs de P-Fe sont les suivantes en valeurs absolues :

T < 5 t < NPK, 20 t < 40 t de F < 5 t + NPK < 100 t
 44 47 51 53 59 65 70 en $\mu\text{g/g}$
 de sol

Les valeurs de P-Fe sont équivalentes pour les 2 traitements NPK et 20 t de F ($51-53 \mu\text{g/g}$ de sol).

2.3.2. P. OLSEN MODIFIÉ

Tableau III, fig. 2.

Les valeurs de P. OLSEN augmentent par rapport aux valeurs obtenues après 3 mois sauf pour le traitement 100 t de fumier, sans atteindre toutefois les valeurs maximum observées à 2 mois. Les valeurs de P. OLSEN peuvent être classées comme suit :

T < 5 t < NPK, 20 t de F < 5 t de F + NPK < 40 t de F < 100 t

Elles sont équivalentes pour les traitements NPK seul et 20 t de fumier seul, il en est de même pour P-Fe, alors qu'antérieurement il y avait une bonne corrélation avec les formes P-Al et P-Ca. Le phosphore estimé assimilable est maintenant sous forme P-Fe alors qu'antérieurement il était constitué de P-Al et de P-Ca. A long terme, il y a fixation du phosphore par des complexes (MO-Fe) échangeables.

2.3.3. P. ISOTOPIQUEMENT ÉCHANGEABLE DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS ET LES POURCENTAGES DES FORMES SELON GACHON

Après 5 mois 1/2 d'enfouissement, le sol a été marqué au $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ et a subi une extraction selon la méthode décrite par GACHON.

Les résultats sont mentionnés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

	E			P soluble			P-Al			P-Fe			P-Ca		
	ug/g sol	e ug/g	% labilité	e	%	l	e	%	l	e	%	l			
Témoin TO	6,2	0,05	100	0,6	11	19	3,7	87	32	0,04	1	19			
5t de F TI	3,8	0,05	3	82	0,4	14	7	2,6	82	6	0,03	1	2		
NPK TII	2,6	0,06	6	100	0,7	28	8	1,5	65	6	0,03	1	2		
5t de F + NPK TIII	3,0	0,06	7	75	0,7	20	5	1,7	72	3	0,02	1	2		
20t de F TIV	4,0	0,12	4	88	0,6	14	7	3,1	79	5	0,05	1	2		
40t de F TV	5,9	0,13	5	80	0,6	12	11	4,2	79	6	0,06	2	3		
100t de F TVI	5,8	0,14	6	70	0,8	12	11	4,2	79	6	0,08	2	4		

E = Phosphore isotopiquement échangeable, mobile ou labile.

% = pourcentage de P labile de chaque forme par rapport au P total labile, labilité l = $\frac{P \text{ labile}}{P \text{ extrait}} \times 100$

Dans le tableau, lire $\mu\text{g/g}$ sol et e $\mu\text{g/g}$.

TABLEAU V

	C %	MO %	N %	C/N	Al échangeable / 100g	Fe libre %	P d'inclusion en % P total
Témoin	14,2	24,6	1,18	12,0	27,6	3,6	75
5t de fumier	14,4	24,9	1,20	12,0	5,3	4,8	64
NPK	14,2	24,6	1,26	11,0	21,5	3,5	65
5t + NPK	14,8	25,6	1,27	11,7	17,7	4,4	60
20t de fumier	14,5	25,1	1,08	13,4	7,0	4,5	64
40 t de fumier	14,6	25,3	1,04	14,0	6,4	4,7	-
100t de fumier	16,2	28,1	1,01	15,6	0,0	4,6	59

La valeur E (après 4 jours d'équilibre isotopique augmente dans l'ordre NPK < 5 t + NPK < 5 t de F < 20 t de F < 40 t de F < 100 t de F. La valeur de E (témoin) est surestimée à cause des erreurs dues à la présence de particules en suspension dans la solution du sol. L'ajout de NPK à 5 t de fumier fait diminuer cette valeur. La variation de e soluble n'est sensible qu'à partir de 20 t de F. e (P-Al) du traitement NPK est supérieur à tous les autres traitements. e (P-Fe) du traitement NPK est le plus faible. L'apport d'engrais minéraux favorise la forme P-Al. Les fractions labiles P-Fe %

sont les plus abondantes de 65 à 80 %, les fractions labiles P-Al % suivent avec 11 à 28 % ensuite celles de P-solubles labiles de 1 à 7 %. Les quantités de P-Ca dans tous les traitements ne sont pas mobiles.

Le degré de labilité de P soluble du traitement NPK est de 100 %, ceux des traitements fumier seuls sont plus faibles, c'est-à-dire qu'une grande partie de P n'est pas concernée par les échanges isotopiques.

Les formes de P-Al sont plus labiles que P-Fe (exemple : e (P-Al) = 11 ; e (P-Fe) = 6) pour le

traitement 100 t de F. Cependant les quantités de e (P-Fe) sont 4 fois plus importantes que celles de e (P-Al) en valeur absolue, les formes P-Fe vont représenter plus de $PO_4^=$ labiles que P-Al.

2.4. Principales caractéristiques chimiques du sol après 5 mois 1/2 d'enfouissement d'engrais

— Les apports de fumier seul (5 t, 20 t et 100 t de F) font varier respectivement de 0,2; 0,3 et 2,0 ‰ la teneur absolue en carbone par rapport au témoin. L'apport du fumier entretient le sol en carbone.

— La teneur en azote ne varie pratiquement pas sauf pour le traitement NPK seul et 5 t de F+NPK. Le rapport C/N montre que la matière organique est bien évoluée pour NPK.

— L'apport de fumier libère une quantité de fer : de 1 % par rapport au témoin.

— L'aluminium échangeable diminue du témoin aux différents traitements. Il est nul pour le traitement 100 t de F. On peut penser que l'aluminium est associé au fumier en formant un complexe organo-minéral stable.

— Le phosphore d'inclusion défini comme P. total — Σ des formes (P-organique + Σ P-extrait selon CHANG et JACKSON), diminue de 10 à 15 % pour tous les traitements par rapport au témoin. Il y aurait libération de P occlus par action du fumier.

2.5. Conclusions

Compte tenu du fait que c'est un test en vases de végétation, l'action des traitements doit être extrapolée avec prudence. Cependant, quelques tendances générales peuvent être dégagées permettant de limiter le nombre de traitements à mettre en œuvre au champ.

De l'étude en fonction du temps des différents traitements appliqués, on peut déduire que l'apport de fertilisants 2 mois avant le semis semble opportun : le P soluble augmente de plus de 10 % du témoin aux traitements sauf pour les traitements 5 t et 20 t de fumier. Le P-OLSEN atteint son maximum et est sous forme de P-Ca et P-Al.

Au cours de 5 mois 1/2 d'enfouissement on constate que le phosphore est d'abord lié à l'aluminium puis au fer. Le fumier a une action sur le maintien du phosphore soluble; les apports de 20 t et de 100 t de fumier font varier P-soluble respectivement de 0,05 $\mu\text{g/g}$ de sol et 0,10 $\mu\text{g/g}$ de sol. Cette augmentation de 0,05 est considérée par les spécialistes des sols tropicaux comme suffisante pour permettre un rendement optimum (KATYAL J.-C., 1978). Le fumier

semble aussi favoriser la mobilisation des réserves surtout en P-Fe. Il apporte donc du phosphore, une partie sous forme organique et une autre sous forme minérale. Les valeurs de P-Fe et de P-OLSEN sont équivalentes pour les traitements NPK et 20 t de fumier. La combinaison du fumier aux engrais minéraux, fait croître la fraction de P-Fe par rapport aux traitements fumier seul et NPK seul.

On peut suggérer une fertilisation précédant de 2 mois la mise en culture.

Par la suite les fortes quantités de matière organique ont tendance à rendre le fer plus mobile et provoquer la formation de P-Fe qui reste partiellement assimilable (complexe mixte Fe-Humus-Phosphore).

3. RÉSULTATS DE L'ESSAI EN VASES DE VÉGÉTATION

(Manipulation décrite en annexe).

Les parties aériennes des plantes sont récoltées à 4 et 8 semaines. Après la 2^e coupe les collets et les racines sont récupérées par tamisage (résultats en annexe). 100 g de sol sans les racines sont analysés.

3.1. Poids de récolte en mg de MS et exportations en mg de P/vase

Si l'on examine le tableau VI, les poids de récolte de la 1^{re} coupe croissent selon l'ordre suivant :

$$T 0 < T I < T IV < T II < T V < T III < T VI$$

Les poids de récolte de la 2^e coupe sont plus faibles que ceux de la 1^{re} coupe, sauf pour le traitement 100 t de fumier. Les rendements totaux obtenus sont en concordance avec les valeurs de P-OLSEN modifié (analyse à 5 mois 1/2 d'enfouissement).

L'apport de 5 t de fumier donne un rendement plus faible à la 2^e coupe que celui du témoin, mais la récolte totale est un peu plus forte. L'apport de 100 t de fumier triple les poids de récolte totale. Le fumier appliqué seul jusqu'à 20 t n'influe pas beaucoup sur le poids de récolte totale. Les traitements avec NPK augmentent de 100 mg de MS/vase (c'est-à-dire environ 50 %) par rapport au témoin.

Les exportations en P varient dans le même sens que les poids de récolte sauf pour le traitement 20 t de fumier.

3.2. Résultats d'analyses isotopiques de la plante et du sol

— On rapporte les valeurs des activités des différentes parties de la plante et des échantillons de sol à la quantité de $^{32}PO_4^=$ total introduite.

TABLEAU VI

	Poids de récolte en mg de MS/vase			Exportations en mg/vase			P des engrais mg/800 g de sol
	1ère coupe	2ème coupe	Total	1ère coupe	2ème coupe	Total	
TO témoin	1 200	1 010	2 210	1,75	0,50	2,25	-
TI 5t de fumier	1 505	880	2 385	1,52	0,46	1,98	2,3
TII NPK	1 680	1 590	3 270	2,16	0,68	2,84	7,0
TIII 5t de F + NPK	1 850	1 450	3 300	2,24	0,80	3,04	9,4
TIV 20t de F	1 520	955	2 475	1,89	0,49	2,38	9,3
TV 40t de F	1 810	1 435	3 245	2,59	1,06	3,65	16,6
TVI 100t de F	2 770	3 540	6 310	3,28	3,68	6,96	46,4

TABLEAU VII

	Plante		Export mg P 31P/vase	32 P %	32 P 31 P	L mg de P/800 g	Sol CH et J 32P %	32P % fixé au sol
	récolte réelle	Teneur %						
TO	210	0,10	0,150	2,1	14	7	5,1	92,8
TI 5t de F	385	0,08	-	1,7	-	-	5,2	93,0
TII NPK	1270	0,09	0,740	3,6	4,9	20	5,0	91,4
TIII 5t de F + NPK	890	0,08	0,936	4,0	4,3	23	5,1	89,8
TIV 20t de F	475	0,09	0,280	3,0	10,7	10	5,3	91,7
TV 40t de F	1245	0,12	1,550	5,8	3,7	27	4,6	89,9
TVI 100t de F	4310	0,11	4,860	19,4	4,0	25	4,9	75,7

— RAS en 1/10 000 de radioactivité introduite.
D'après le tableau VII suivant les traitements
les pourcentages de PO_4^{3-} labiles dans les plantes :

$TI < TO < TIV < TII < TIII < TV < TVI$

— Les analyses de sol après l'essai en vases de
végétation montrent que 5 % de la quantité de
 $^{32}PO_4^{3-}$ introduite dans le sol sont labiles et 76 à 93 %
sont fixés au sol. Le pourcentage de P fixé au sol
diminue quand la dose de fumier croît. Ce qui montre
que la capacité de fixation du phosphore par le sol
tend à diminuer (de 17 % pour le traitement TVI
par rapport au traitement TO).

La valeur L, pour les traitements TIII et TV
sont remarquables par rapport au témoin.

— Les cinétiques de dilution isotopique sur les
échantillons de sol après culture (tableau VIII et
fig. 4) montrent que les concentrations de phos-
phore (p) dans la solution du sol sont très faibles
pour les traitements fumier seul jusqu'à 20 t, et
NPK seul, il en est de même pour les valeurs de E_1 .
Les traitements TIII et TV sont encore pourvus
en p et en E_1 (phosphore isotopiquement diluable
à 1 mn). Les valeurs de $\frac{r_1}{R}$ après culture caractérisant
le pouvoir fixateur des sols sont inférieures à celle du

TABLEAU VIII

	Témoïn (T O)	5 t de F (T I)	NPK (T II)	5 t de F + NPK (T III)	20t de F (T IV)	100 t de F (T VI)
A V A N T C U L T U R E						
$\frac{r1}{R}$	0,03		0,035	0,045	0,066	
n	0,49		0,50	0,52	0,46	
p en $\mu\text{g/g}$	0,065		0,06	0,12	0,31	
E_1	1,30		1,71	2,67	4,70	
M_2	0,20		0,08	0,37	0,66	
$Q = p + M_2$	0,27		0,14	0,49	0,97	
A P R E S C U L T U R E						
$\frac{r1}{R}$	0,022	0,013	0,012	0,014	0,0087	0,07
n	0,49	0,43	0,43	0,45	0,49	0,43
p en $\mu\text{g/g}$	0,05	0,04	0,04	0,15	0,05	0,58
E_1	2,21	3,15	3,81	10,7	5,72	8,29
M_2	0,17	0,10	0,08	-	0,12	0,31
$Q = p + M_2$	0,22	0,14	0,11	-	0,16	0,99

témoïn (0,02) pour tous les traitements excepté 100 t de F(0,07), le niveau de fertilité du sol en P est inférieur au témoïn. La figure 4 représente l'évolution de $\frac{r}{R}$

en fonction du temps en coordonnées logarithmiques. La droite 100 t de fumier se détache de l'ensemble des droites, ce qui permet d'expliquer l'amélioration des réserves assimilables du sol par le fumier

(tabl. VIII). Avant culture les valeurs de $\frac{r1}{R}$ sont 3 fois supérieures à celles d'après culture (TII et TIII). Il est à remarquer aussi que les rendements augmentent avec les traitements. Il serait à souhaiter d'apporter tous les ans après culture ou au moins 2 mois avant la culture, une fumure d'entretien pour rehausser le niveau de fertilité du sol. Les valeurs de n (pentes des droites) ne varient presque pas ce qui confirme la pauvreté de ce sol ferrallitique. La quantité totale des ions phosphates dans le pool le plus mobile ($Q = p + M_2$) pour le traitement VI est encore 5 fois plus importante que celle du témoïn.

On peut conclure que le fumier joue un rôle spécifique sur le plan minéral et organique du sol.

Il doit être en large excès pour diminuer le pouvoir fixateur à court terme, ou associé à des engrais minéraux.

3.3. Liaison entre les différentes variables selon le traitement

Dans le tableau IX, figurent les quantités obtenues par les méthodes chimiques et isotopiques et leurs accroissements par rapport au témoïn avant le test en vases de végétation.

Les augmentations de la ΣP extrait selon CHANG et JACKSON sont proches des quantités de phosphore théoriques apportées par les engrais pour les traitements NPK et 20 t de fumier. Elles sont particulièrement nettes pour P-Fe et négligeables pour P-Al. Il est à remarquer que ΔCH et J est le double de la quantité phosphore apporté par les engrais (23 $\mu\text{g/g}$ de sol contre 11,7 $\mu\text{g/g}$ de sol) pour le traitement 5 t de F+NPK. Il semble que le phosphore apporté par le fumier se retrouve en grande partie sous forme P-Fe, le reste demeurant en phosphore organique à l'exclusion du traitement 5 t de F+NPK.

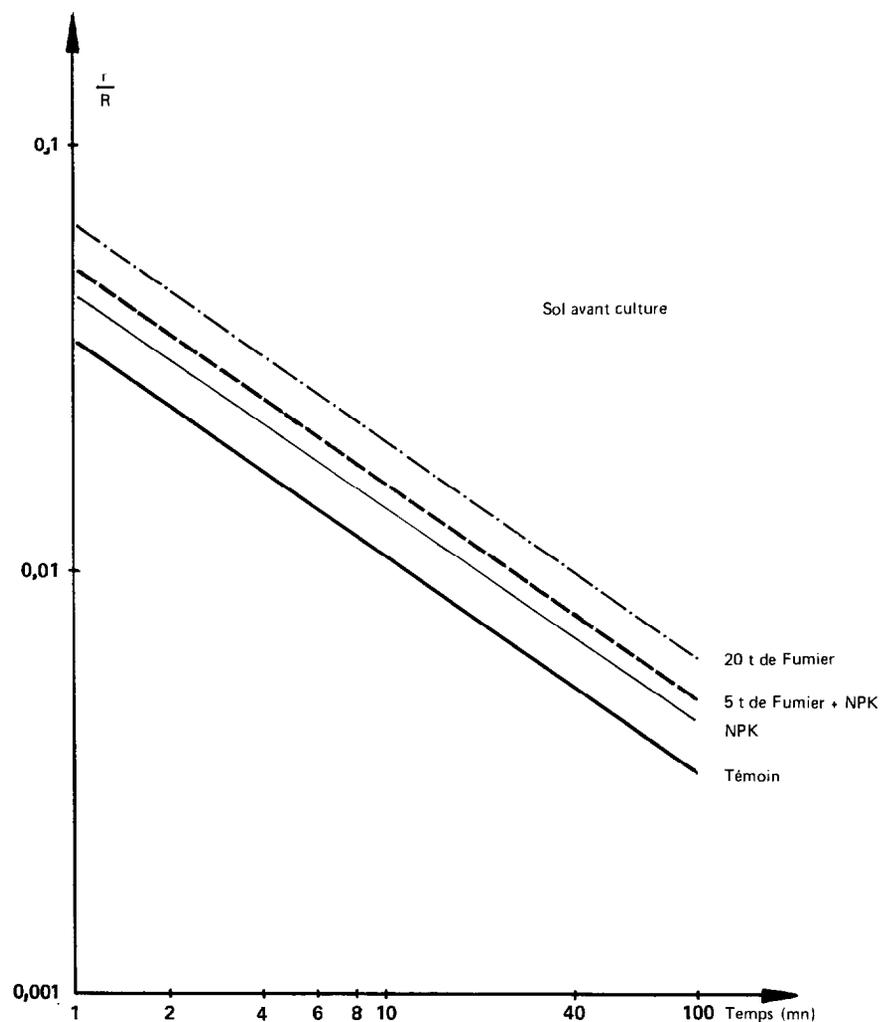


FIG. 3.

TABLEAU IX
En $\mu\text{g/g}$ de sol

	P des engrais	P OLSEN	Δ P OLSEN	Σ (CH et J)	(Σ Δ CH et J)	P soluble	Δ P solu- ble	P-Fe	Δ P-Fe	P-Al	Δ P-Al	E_4	E_1
Témoin	0	15	0	52	0	0,11	0	44	0	6	0	6,2	3,5
5t de F	2,9	17	2	58	6	0,11	0	47	3	7	1	3,8	3,2
NPK	8,8	22	7	62	10	0,14	0,03	51	7	9	3	2,6	3,8
5t de F+NPK	11,7	23	8	75	23	0,16	0,05	65	21	7	1	3,0	10,7
20t de F	11,6	22	7	63	9	0,24	0,13	53	9	6	0	4,0	5,7
40t de F	23,2	26	11	66	14	0,27	0,16	59	15	+ 5	- 1	5,9	-
100t de F	58,0	36	21	80	28	0,33	0,22	70	26	8	2	5,8	8,3

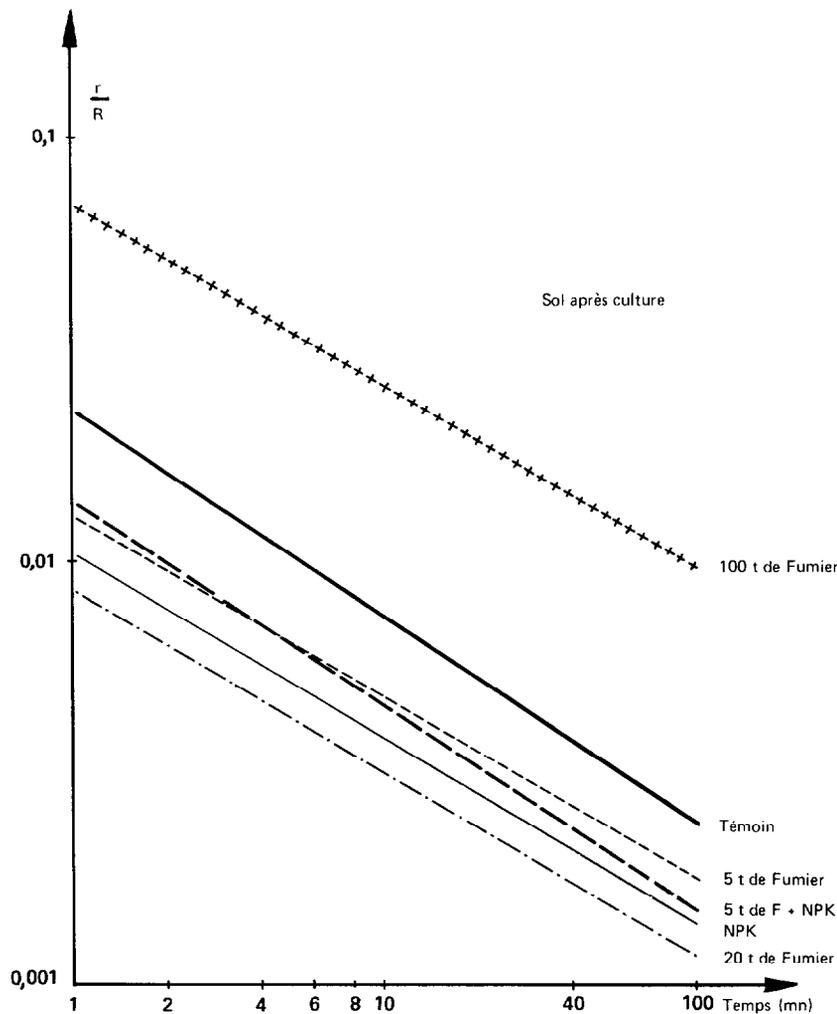


FIG. 4.

L'apport de 20 t de fumier augmente la concentration en P. soluble de 0,13 $\mu\text{g/g}$ de sol.

L'apport de fumier a une action très faible sur la valeur E (4 jours).

E_1 est 3 fois plus important pour le traitement combiné 5 t de F+NPK par rapport au témoin, après culture.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Malgré donc le faible nombre de répétitions effectuées, quelques tendances générales peuvent être dégagées :

(1) L'hyper-Réno a une action favorable sur les teneurs en phosphore assimilable et en phosphore lié à l'aluminium. Après deux mois, il y a décompo-

sition du fumier et production peut-être de produits organiques solubles qui augmentent le phosphore soluble, puis il y a *humification et les acides humiques donnent des complexes mixtes de fer et de phosphore beaucoup moins solubles mais qui restent extractibles par le réactif OLSEN modifié*. Le fumier a une action sensible sur les teneurs en phosphore lié au fer à long terme et en phosphore dit soluble à court terme. L'action augmente avec la dose; le fumier seul à dose faible ou moyenne augmente peu les rendements et à forte dose augmente le rendement. La combinaison du fumier et des *engrais minéraux à des doses moyennes* permettent d'obtenir des rendements optimum. En considérant le phosphore OLSEN et le phosphore lié au fer, on constate une équivalence entre les effets de NPK seul et 20 t de fumier.

(2) Des essais en vases de végétation, on peut déduire que le fumier appliqué seul n'influe pas sur les poids de récolte en dessous de 20 t à l'hectare, par contre l'association de NPK au fumier, accroît le poids total de récolte de 30 % par rapport au témoin et au fumier seul (5 t à l'hectare). Les pourcentages de phosphates labiles dans les plantes sont liés à l'augmentation de la dose de fumier. Pour les traitements 5 t, 20 t, 40 t et 100 t de fumier, on retrouve dans la plante respectivement 1,6 %, 3 %, 5,8 % et 19,4 % de phosphates labiles, 5 % dans les fractions labiles du sol et respectivement 93 %, 89,8 %, 89,9 % et 75,7 % fixés au sol.

(3) Si l'on considère les cinétiques de dilution isotopique; avant culture avec apport de 20 t de fumier, la valeur de $\frac{r1}{R}$ est supérieure à celle du témoin (respectivement 0,03 et 0,066); après culture, cette valeur est inférieure à celle du témoin. Si les quantités de matière organique sont faibles ou moyennes, il y a plutôt augmentation du pouvoir fixateur, par contre, s'il y a excès de matières organiques, les complexes mixtes (MO-Fe-P) sont solubles. Il est

possible de fertiliser le sol avec du fumier seul et difficile de diminuer à court terme le pouvoir fixateur du sol. Cependant il semble nécessaire d'apporter tous les ans avant la culture une dose combinée de fumier et de NPK pour limiter la capacité de fixation en phosphore.

Lorsqu'il y a excès de matières organiques par rapport au fer, il y a fixation de phosphore par des complexes (MO-Fe) solubles à court terme et échangeables à long terme.

Lorsqu'il n'y a pas excès de matière organiques par rapport au fer, les complexes (P-MO-Fe) sont peu solubles.

Le phosphore de l'engrais ne passe que lentement sous forme de complexe P-MO-Fe (au bout de 5 mois 1/2).

Durant cette année culturale 1981-1982 des essais factoriels depuis 1976-1977, continuent avec les doses de fumier suivantes : 5 t/ha et 20 t/ha et les doses de phosphore (hyper-Réno) 0 et 60 U de P₂O₅/ha.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 18 mai 1983

BIBLIOGRAPHIE

- BHAT (K. K. S.), TRUONG (B.), BOUYER (S.), 1969. — Détermination de la valeur L d'un sol ferrallitique. Action de la chaux. Coll. OUA/IAEA, Kinshasa.
- CHAMINADE (R.), 1965. — Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique. Résultats. *Agron. Trop.*, 20-11 : 1101-1162.
- CHANG ET JACKSON, 1957. — Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 34 : 133-144.
- DABIN (B.), 1966. — Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. 1^{re} partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* vol. III n° 4 : 335-366.
- DABIN (B.), 1967. — Sur une méthode d'analyse du phosphore (Olsen modifié) dans les sols tropicaux. C. R. du colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive tome 1 : 99-115.
- DABIN (B.), 1971. — Évolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée. *Phosphore et agriculture*, n° 58 : 1-14.
- FARDEAU (J. C.) et JAPPE (J.), 1978. — Fertilité et fertilisation phosphorique des sols intertropicaux jugées par la méthode des cinétiques de dilution isotopique. Communication orale.
- GACHON (L.), 1972. — Fractionnement du phosphore labile en relation avec le type de sol. *Ann. Agron.*, 23 : 429-444.
- KATYAL (J. G.), 1978. — Conduite de la fertilisation phosphatée sur rizière. *Phosphore et agriculture*, n° 73.
- LARSEN (S.), 1967. — Soil phosphorus. *adv. in Agron* : 151-210.
- MARINI (P.), VILLEMIN (P.). — Dosage du P par la méthode au sulfate d'hydrazine et par l'acide ascorbique à froid. (Laboratoire des Radioisotopes).
- PICHET (J.), TRUONG (B.) et BURDIN, 1973. — Évolution du phosphore dans un sol ferrallitique soumis à différents traitements agronomiques. *Agro-Tropicale*, 28, n° 2.
- RAHARINOSY (R.), 1979. — Étude de la dynamique du phosphore dans quelques sols ferrallitiques des hauts plateaux de Madagascar. Application à des essais de fertilisation. Thèse Doc. 3^e cycle.

ANNEXE I

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DU SOL TÉMOIN
0-20 cm

granulométrie

pH eau	Argile 0-2 μ	Limon fin 2-20 μ	Limon gros 20-50 μ	Sable fin 0,05-0,2mm	Sable gros. 0,2- 2mm	TOTAL
5,2	18,0	24,0	6,0	15,0	34,0	97,0

Cations échangeables mē/100 g

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Σ	CEC	T
0,42	0,06	0,10	0,03	0,61	9,0	7,0

Matière organique ‰

C	N	C/N	C. humique	C. fulvique	C.totale	Taux d'ex- traction
14,2	1,18	12,0	0,78	2,70	3,48	25,7

ANNEXE II

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DU SOL TÉMOIN — HORIZON 0-20 CM

Granulométrie

pH	Argile 0-2 μ	Limon fin 2-20 μ	Limon grossier 20-50 μ	Sable fin 0,05-0,2 mm	Sable grossier 0,02-2 mm	TOTAL
5,2	18,0	24,0	6,0	15,0	34,0	97,0

Cations échangeables mé/100 g							Matières organiques %						
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Σ	CEC	T	C	N	C/N	C Humique	C Fulvique	C Total	Taux d'extraction
0,42	0,06	0,10	0,03	0,61	9,0	7,0	14,2	1,18	12,0	0,78	2,70	3,48	25,7

ANNEXE III

RÉSULTATS EN VASES DE VÉGÉTATION
POIDS DE M. S. ET EXPORTATIONS EN mg/VASE

Phosphore des graines = 2,1 mg de P/2 g de graines

	Parties aériennes		Collets		Racines		Sommes	
	Poids	Exportation	Poids	Exportation	Poids	Exportation	Σ Poids	Σ Exportation
TO témoin	2210	2,25	1110	1,17	1350	0,94	4670	4,39
TI 5t de F m (3,4)	2385	1,98	870	0,89	2690	1,26	5555	4,13
TII NPK	3270	2,84	1130	1,19	2350	1,58	6750	5,61
TIII 5t + NPK	3300	3,04	1114	1,28	1460	1,26	5874	5,90
TIV 20t de F (7)	2475	2,38	1060	1,21	2100	0,97	5635	4,37
TV 40t de F	3245	3,65	1030	1,33	2100	1,45	6375	6,43
TVI 100t de F	6310	6,96	11700	3,15	11530	3,11	29540	13,22

ANNEXE IV

PROTOCOLES

1. **Extraction CHANG et JACKSON marqué** (GACHON)

Préparer 8 tubes Sorval avec bouchon étiqueté.
Peser 2 g de sol.

P-soluble

NH_4Cl 0,01 N : ajouter 40 ml de cette solution, agiter 24 h, ajouter 1 ml de $^{32}\text{PO}_4^{=}$, agiter 4 jours, centrifuger 15 mn à 15 000 t, décanter toujours en filtrant.

P-lié à l'Al

FNH_4 0,5 N, ajusté à H = 8,5 : ajouter au culot 40 ml de cette solution, agiter 1 h, centrifuger 10 mn à 15 000 t, décanter.

Lavage

Ajouter 25 ml de NaCl saturé, agiter à la main (NaCl floccule les colloïdes et permet d'évacuer le liquide précédent, en aucun cas il ne doit ni extraire, ni disperser le sol).

Centrifuger 5 mn, ajouter 25 ml d'eau, agiter à la main, centrifuger 5 mn.

P-lié au Fe

NaOH 0,1 N — ajouter au culot 40 ml de cette solution, agiter 17 h avec goutte de chloroforme, centrifuger 30 mn à 15 000 t, décanter.

P-lié au Ca

H_2SO_4 0,5 N — ajouter au culot 40 ml de cette solution, agiter 1 h, centrifuger 5 mn à 15 000 t, décanter.

Remarque : Pour les solutions NH_4F et NaOH, prendre une partie aliquote 20 cc, ajouter 5 gouttes de H_2SO_4 concentré (pour flocculer la matière organique), ajouter du charbon déphosphoré pour décolorer, centrifuger pour NaOH et filtrer pour NH_4F .

ANNEXE V

2. **Méthode de OLSEN modifiée par DABIN**

Le P est extrait par un réactif mixte constitué d'un mélange de bicarbonate de sodium et de fluorure d'ammonium tamponné à pH 8,5.

1 g de sol broyé à 0,2 mm + 50 ml de mélange $\text{CO}_2\text{NaH} + \text{FNH}_4$ 0,5 N + charbon actif.

Agiter 1 h, centrifuger 5 mn à 4 500 t/m, doser.

3. **Essais en vases de végétation (Chaminade)**

Peser 1 000 g de terre fine séchée à l'air, tamisée à 2 mm.

Étaler l'échantillon dans un bac plastique à fond plat.

Préparer et mélanger les poudres suivant les traitements : 0,133 g de dolomie, 106 mg d'urée, 36 mg de KCl, 72 mg d'hyper Reno, 0,33 g de MS de fumier ou 0,66 g ou 1,32 g ou 2,64 g ou 6,6 g.

Au bout de 5 mois 1/2 d'enfouissement, 800 g de sol sont mélangés à 80 ml d'une solution radioactive sans entraîneur dont la radioactivité est de 1 mCi. Cette solution contient des oligoéléments (Mn, Zn, Cu, acide borique).

Semis

Répandre une mince couche de sable fin afin d'obtenir une surface plane et uniforme.

Dans chaque pot, semer 2 g de Ray-Grass, répartis aussi régulièrement que possible.

Recouvrir complètement le semis d'une mince couche de sable fin de 1 mm de \varnothing .

Apporter ensuite avec précaution sur la couche de sable une quantité d'eau telle que la quantité ajoutée (compte tenu des apports de solutions minérales) corresponde aux 4/9 de la capacité de rétention.

Peser les pots et les placer au laboratoire pendant 4 à 5 jours, disposer ensuite les vases à la serre.

Arrosage

Le principe consiste à superposer 2 vases ordinaires et à maintenir le poids en arrosant tous les jours.

Une fois par semaine, on apporte l'azote par addition de 20 cc de NO_3NH_4 à 25 g/l.

Après chaque coupe on compense les exportations de K par un apport de NO_3K 20 ml à 74,47 g/l.

ANNEXE VI

Réalisation des coupes-analyses

Les coupes sont effectuées par intervalles de 4 semaines aux ciseaux au niveau du bord des pots.

Les feuilles sont récoltées dans des boîtes en carton portées à l'étuve et séchées à 80 °C pendant 48 h.

Après broyage au moulin à café, 500 mg de poudre sont minéralisés par calcination au four à 550 °C pendant 1 h 30.

On imbibe avec 3 gouttes d'eau puis on insolubilise la silice avec 2 ml de HCl concentré, on passe sur filtre et on ajuste à 50 ml en lavant à l'eau distillée. Le précipiter.

Le P est dosé à l'acide ascorbique à froid.

Le $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ est mesuré dans un appareil à scintillateur liquide en utilisant l'instagel.

4. Méthode de dilution isotopique (FARDEAU)

Deux mélanges, l'un T de 13,2 g et 131 ml d'eau placé dans un flacon plastique de 250 ml et l'autre T' de 9,9 g de sol et 99 ml d'eau sont agités une nuit (17 h). L'agitation du contenu T est obtenu par un barreau magnétique. Au temps $t = 0$, on injecte dans T 1 ml de $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ sans entraîneur contenant la radioactivité R. On prélève au moyen d'une seringue 8 ml de suspension qu'on filtre immédiatement sur un dispositif millipore 0,2 μm . 4 prélèvements sont faits entre 1 et 100 mn. Le comptage est effectué sur 1 ml du filtrat limpide et clair pour obtenir la valeur r.

La valeur de r pour $t = 100$ mn correspond à $r\alpha$ dans le processus de détermination du pool le plus mobile. Après 100 mn de dilution isotopique il reste $132 - (8 \times 4) = 100$ ml de solution et 10 g de sol dans T.

Le mélange T' est centrifugé. Le surnageant filtré à 0,2 μm est divisé en 2 fractions, une pour le dosage de p et l'autre 50 ml est ajouté au reste de T. Après 1 à 2 mn d'agitation, on réalise un prélèvement puis une filtration, on détermine $r\beta$.

$M_2 = \frac{p(kr\beta - r\alpha)}{r\alpha - r\beta}$, M_2 = phosphates sur les particules du sol mais ayant même mobilité que p. K = rapport de volumes =

$\frac{100+50}{50} = 1,5$. Q = p + M_2 quantité totale des ions phosphates dans le pool le plus mobile.