

2ème PARTIE - Chapitre V

MATIERE ORGANIQUE ET MOBILITE DU PHOSPHORE DANS QUELQUES TYPES DE SOLS

M. Brossard (*), J.C. Fardeau (**), J.P. Monteau (***) et J.Y. Laurent (*)

((*) ORSTOM, Martinique ; (**) CEN, DB/SRA Cadvache ; (***) ISA, Lille)

V.1. INTRODUCTION

Nous avons vu au chapitre II que :

- les teneurs en phosphore total (P_t) varient fortement selon les types de sols et leur mode d'exploitation, mais sans liaison apparente avec les variations des niveaux des stocks organiques,

- les teneurs en phosphore assimilable (Pass.) sont généralement très faibles pour tous les types de sols.

Afin de préciser ces données générales (effets "minéralogie" et "niveau stock organique") et de les compléter par l'étude du rôle d'amendements organiques (fumiers, boues résiduaires) sur la "mobilité" à court terme du phosphore, avons-nous mis en oeuvre diverses techniques de laboratoire pour mieux connaître :

- la répartition du phosphore dans le sol (fractionnement granulométrique),

- le "pouvoir de fixation P" du sol vis-à-vis des ions PO_4^{3-} en solution (cinétique de dilution isotopique de $^{32}PO_4^{3-}$)

- l'aptitude à la libération d'ions PO_4^{3-} en solution au cours de la minéralisation (sols ou amendements organiques), propriété nommée ici par simplification "pouvoir de minéralisation P" (cinétique d'incubation et dosages PO_4^{3-} en solution).

"Pouvoir de fixation P" et "Pouvoir de minéralisation P" sont les deux processus qui contribuent à la présence d'ions PO_4^{3-} en solution et sont regroupés sous le vocable général "Mobilité du phosphore".

Le plan adopté pour cette étude est le suivant :

- matériel et méthodes ,
- statut phosphoré des sols,
- effet des niveaux des stocks organiques sur la mobilité du phosphore,
- effet, à court terme, d'amendements organiques sur la mobilité du phosphore.

V.2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

Les sols étudiés proviennent des horizons 0-10 cm des diverses situations agropédologiques décrites au Chapitre II. Les échantillons sont conservés frais (humidité du prélèvement) et tamisés à 4 mm.

Les plantes analysées ici proviennent de la récolte de maïs de première année (1986) dont les résultats sont commentés au Chapitre VII.

Les amendements organiques utilisés ici, en laboratoire, sont ceux apportés au champ dans les essais agronomiques et à des doses identiques :

- un fumier de bovin (bouses séchées) prélevé en milieu paysan en Dominique et apporté au sol à raison de 9,4 t MS/ha,

- une boue résiduaire, non séchée, utilisée à l'état pâteux et provenant de la Station d'Épuration de Jarry en Guadeloupe. Cet amendement fait l'objet, pour ses propriétés fertilisantes, d'études par l'INRA depuis plusieurs années. Il est apporté au sol à raison de 10 ou 100 t MS/ha.

La composition de ces amendements est présentée au tableau V.4.

Les apports minéraux sont, selon les traitements :

- du calcaire coralien broyé (produit en Martinique) à teneur en CaCO_3 de 87 % apporté à la dose de 3 t/ha, identique à celle apportée au champ (situation A3).

- des engrais phosphatés apportés en une seule dose à raison de 66 µg P/g sol sous forme de "phosphate naturel" (peu soluble), ou de phosphate monopotassique, KH_2PO_4 (très soluble).

2.2. Méthodes

Fractionnement granulométrique du phosphore. Le sol est fractionné par granulométrie selon la méthode (décrite au Chapitre III pour l'étude de la matière organique) modifiée comme suit : la dispersion du sol n'est plus obtenue par agitation 2 h de la suspension de sol à pH 10 (qsp NaOH 0,1 N), mais par agitation 2 h de la suspension de sol sans addition de NaOH suivie d'une sonication à 26 Khz pendant 10 mn.

Cinétique de dilution isotopique. La méthode utilisée est décrite par FARDEAU et al (1977) et résumée ci-dessous.

Dans un mélange sol-eau de rapport 1/10, agité une nuit pour obtenir un état d'équilibre, on injecte du ^{32}P sous forme $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ sans entraîneur. On prélève régulièrement à l'aide d'une seringue une aliquote de la suspension dans le mélange agité à 200 tours/minute environ. On filtre immédiatement la solution sur des membranes à pores de 0,2 µm ; les prélèvements sont faits à 1,10 et 100 minutes après l'instant d'injection du traceur. La radioactivité des solutions filtrées est déterminée par scintillation liquide. Le mélange restant est centrifugé et la quantité M1 d'ions PO_4^{3-} en solution est déterminée par colorimétrie (FARDEAU, 1981).

Pour la majorité des sols, il existe une équation simplifiée (FARDEAU et al, 1985) susceptible de décrire la cinétique d'échange entre la fraction libre et la fraction retenue des ions phosphates mobiles :

$$\frac{r}{R} = \frac{r_1}{R} \cdot t^{-n}$$

M1 M1

- R est la radioactivité totale introduite dans le système,
- r est la radioactivité présente en solution sous forme d'ions $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ à l'instant-t, exprimé en général en minutes,
- r₁ est la radioactivité présente en solution après une minute d'échange,

- M1 est la quantité de phosphore présente en solution sous forme de phosphate,

- n est un exposant compris entre 0 et 0,5

La caractérisation du phosphore mobile d'un sol repose donc sur trois déterminations, M1, n et $r1/R$ (FARDEAU et JAPPE, 1980).

Par ailleurs, FARDEAU (1981) a montré qu'en conditions normales de culture, les radioactivités spécifiques (RAS) du phosphore de la solution du sol et du phosphore exporté au champ sont identiques. Ceci indique que les plantes prélèvent en priorité dans le "pool" des ions phosphates les plus mobiles. Il est ainsi possible de caractériser le phosphore assimilable par les mêmes paramètres que ceux qui permettent de décrire l'ensemble des ions phosphates isotopiquement échangeables. Cette approche de Pass. est, bien évidemment, beaucoup plus en accord avec l'état "naturel" du sol que les méthodes basées sur des extractions chimiques.

Ainsi, dans la suite de ce travail, le "pouvoir fixateur" sera estimé à partir du rapport $r1/R$, et P assimilable, à un instant donné, par la valeur M1.

Cinétiques de minéralisation (phosphore et carbone) au cours d'incubations de sols et/ou d'amendements organiques.

Les pots contenant 40 g de sol, avec ou sans amendement, sont placés en présence d'un piège à gaz carbonique (10 ml NaOH, 0,25 à N) dans une enceinte hermétique. Le piège est renouvelé tous les sept jours. L'incubation est menée à 28°C, les sols étant maintenus à 80% de leur capacité de rétention en eau, pendant 56 jours. On effectue quatre répétitions par traitement.

La soude carbonatée par CO_2 au cours de l'incubation est acidifiée. Le CO_2 libéré est mis en contact avec un tampon carbonate-bicarbonate coloré par la phénolphtaléine. Selon la concentration en CO_2 , le déplacement de l'équilibre carbonate-bicarbonate induit la décoloration, variable selon la concentration en CO_2 , suivie par colorimétrie à 570 nm.

Pour doser PO_4^{3-} en solution le sol est agité 17 h dans H_2O (rapport sol/solution 1/10) puis, après filtration sur millipore, PO_4^{3-} de la solution est dosé par colorimétrie selon JOHN (1970). Le pH des mêmes extraits eau est mesuré.

Ptotal est dosé, après attaque nitroperchlorique, par la méthode au "bleu" (DUVAL, 1962).

V.3. RESULTATS

3.1. Statut phosphoré des sols selon le type de sol et le système de culture

3.1.1. P total (Pt) et assimilable (Pass) des sols

Nous rappelons rapidement les résultats du Chapitre II :

- les teneurs en Pt varient globalement avec le type de sol selon :

Ferrallitique < Vertisol < Ferrisol < Andosol

- les variations de Pt ou Pass avec les teneurs en matière organique sont complexes, dépendantes à la fois des niveaux des stocks organiques et du niveau de la fertilisation. Seules les situations vertisol V1, cultures maraîchères et prairies, nous permettent d'étudier un effet du stock organique puisque la fertilisation est identique pour ces deux systèmes de culture. On observe alors une augmentation des teneurs en Pt et Pass. en même temps que celles en carbone pour la situation Prairie intensifiée.

Aussi, cette situation a-t-elle fait l'objet d'une caractérisation particulière avec la détermination des teneurs en Pt des différentes fractions granulométriques du sol retenues pour l'étude de la matière organique (cf. Chapitre III).

**Tableau V.1 - Répartition granulométrique du phosphore et du carbone total.
Vertisol VI, comparaison prairie-cycles courts, horizons 0-10 cm**

Fraction μm	DC10			PR7		
	P		C	P		C
	% Ptotal	$\mu\text{gP.g}^{-1}\text{ sol}$	% Ctotal	% Ptotal	$\mu\text{gP.g}^{-1}\text{ sol}$	% Ctotal
F	9,7	19,8	18,7	18,3	100,6	34,4
F 5-50	19,1	39,1	24,2	29,8	163,5	25,8
F 0-5	71,2	145,7	57,1	51,8	284,0	39,8
Total	100,0	204,6	100,0	100,00	548,1	100,0
Sol non fractionné		250,6			471,5	

Tableau V.2 - Caractéristiques des cinétiques de dilution isotopique

Sol	Précédent	N° éch.	n	r1/R	M1 ppmP
V1	PR7	1264	0,35	0,07	0,73
	DC10	1249	0,3	0,16	1,96
F4	JP10	1100	0,44	0,02	0,24
	JP2	1103	0,41	0,024	0,25
	DC	1115	0,39	0,016	0,23
F2	PR10	1525	0,43	0,0095	0,2
	DC	1530	0,19	0,0038	0,3
A3	JP10	1503	0,49	0,0059	0,085
	BA	1500	0,41	0,0088	0,068

3.1.2. P total des fractions granulométriques d'un vertisol sous cultures maraîchères (DC 10) ou prairies intensifiées (PR7)

Les résultats sont portés dans le tableau V.1.

L'analyse des différences PR-DC montre que l'augmentation des teneurs en phosphore sous prairie concerne toutes les fractions granulométriques. Les valeurs absolues ΔP ($\mu\text{gP}\cdot\text{g}^{-1}\text{sol}$) varient dans l'ordre :

$$F\ 5-50 > F\ 0-5 > F\ 50-200$$

mais les accroissements relatifs pour chaque fraction sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} F > 50 & \times 5 \\ F\ 5-50 & \times 4 \\ F\ 0-5 & \times 2 \end{array}$$

Ceci met bien en évidence, pour une fertilisation donnée, le rôle important des restitutions racinaires dans le stockage de phosphore dans le sol. La nature des formes du phosphore stocké est à l'étude.

3.2. Types de sols, niveaux des stocks organiques et mobilité du phosphore.
Etude avec ^{32}P

3.2.1. Pouvoir fixateur et type de sol

Les résultats sont portés dans le tableau V.2.

Tous les sols étudiés ont un pouvoir fixateur élevé à très élevé : $r1/R$ est toujours inférieur à 0,2 (FARDEAU et JAPPE, 1978). On notera cependant que le vertisol V1 présente un pouvoir fixateur moindre comparé aux autres types de sols.

Pour les trois grands types de sols étudiés le pouvoir fixateur du sol varie dans le sens :

$$\text{Vertisol} < \text{sol ferrallitique} < \text{alluvions ferrallitisées} < \text{andosol}$$

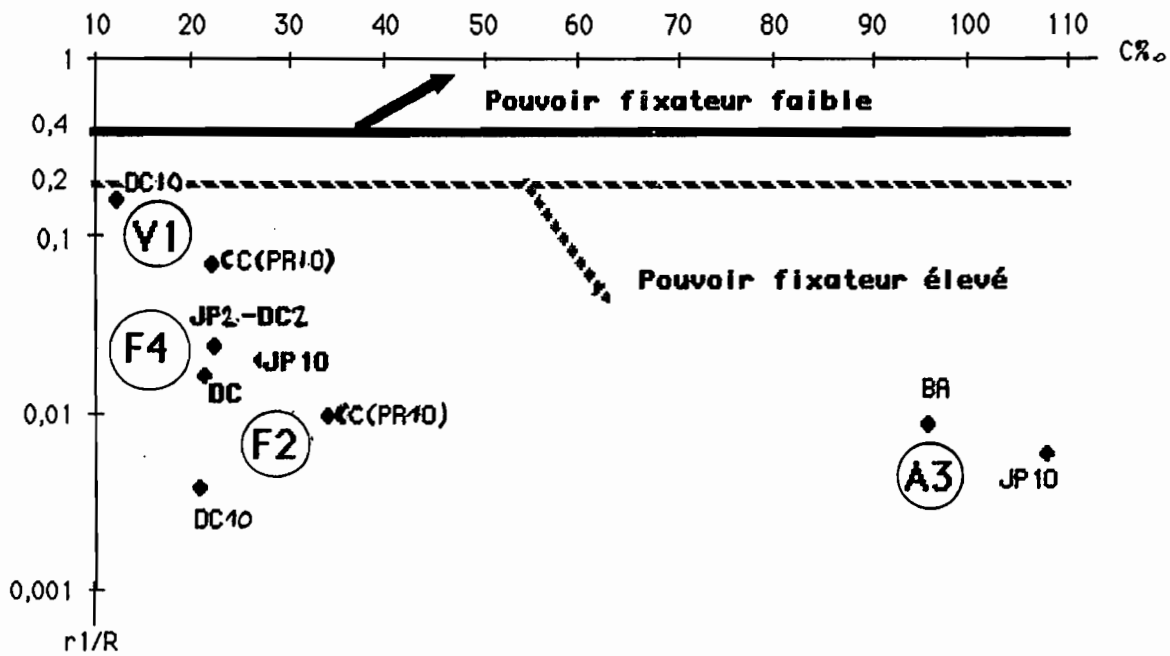


Figure 5.1 - Pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore et teneur en carbone des horizons 0-10 cm

Un travail antérieur pour des sols de la Martinique (CHEVIGNARD et al, 1986) cultivés en canne à sucre, banane ou sous "forêt" donne aussi des valeurs de $r1/R$ très faibles comprises entre 0,01 et 0,11 pour des horizons de surface de ferrisols, sols bruns rouille à halloysite et andosols.

L'inventaire conduit ici pour les agricultures paysannes caribéennes confirme donc le caractère très fixateur vis-à-vis du phosphore des sols développés sur les matériaux d'origine volcanique de la région.

3.2.2. Pouvoir fixateur et niveau des stocks organiques

Les résultats sont schématisés sur la figure 5.1.

On constate que l'augmentation des teneurs en carbone des sols derrière jachères ou prairies ne s'accompagne pas de variations significatives du pouvoir fixateur ($r1/R$) vis-à-vis du phosphore. Il faut noter qu'ici, les teneurs en carbone ne sont jamais inférieures à 10 ‰ même pour les cultures maraîchères continues (V1 DC10). Si l'on rapproche ces résultats de ceux de CHEVIGNARD et al. (1986) on pourrait en déduire que, pour l'ensemble de ces sols naturellement très fixateurs, l'augmentation du pouvoir fixateur n'apparaît que pour des teneurs en carbone inférieure à 10 ‰. Ces auteurs, en effet, ont montré que les "sols remodelés" (*), aux teneurs en carbone comprises généralement entre 0 et 10 ‰, sont encore plus fixateurs que les sols non remodelés correspondants.

En ce qui concerne les valeurs M1 (estimation de Pass.), à l'exception du vertisol (V1), tous les sols sont très pauvres en phosphore assimilable (<1ppmP). Les valeurs de M1 ne varient pas ou peu avec les niveaux du stock organique (comparaisons PR ou JP à DC ou BA).

3.2.3. Pouvoir fixateur vis-à-vis de P-engrais

Les résultats sont portés dans le tableau V3.

a) Apports de phosphates solubles. Les apports de 66 $\mu\text{gP}\cdot\text{g}^{-1}$ sol (soit une fertilisation d'environ 450 $\text{kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$) ne permettent pas de dépasser des quantités M1 supérieures à 0,8 $\mu\text{P}\cdot\text{solution}\cdot\text{g}^{-1}$ sol pour les situations F4, F2,

(*) Les sols "remodelés" sont des sols dont on a arrasé les horizons humifères A et parfois B pour aplanir les reliefs afin de pouvoir mécaniser les cultures (CHEVIGNARD, 1985).

Tableau V.3 - Effets d'apports de phosphates naturel et soluble sur les indices des cinétiques de dilution isotopique

Situation Précédent		n° éch.	Forme P	indices		
				n	r1/R	M1 ppmP
V1	PR7	1264	O	0,35	0,07	0,73
			Pnat.	0,27	0,16	1
			KH ₂ PO ₄	0,25	0,25	5,13
	DC10	1249	O	0,30	0,17	1,96
			Pnat.	0,19	0,26	2,0
			KH ₂ PO ₄	0,18	0,40	12,0
F2	PR10	1525	O	0,43	0,009	0,20
			Pnat.	0,34	0,023	0,41
			KH ₂ PO ₄	0,38	0,016	0,44
	DC10	1530	O	0,19	0,004	0,30
			Pnat.	0,40	0,005	0,16
			KH ₂ PO ₄	0,47	0,008	0,13
F4	JP10	1100	O	0,44	0,02	0,24
			Pnat.	0,36	0,07	0,54
			KH ₂ PO ₄	0,36	0,08	0,62
	JP2	1103	O	0,41	0,024	0,25
			Pnat.	0,37	0,08	0,50
			KH ₂ PO ₄	0,37	0,08	0,66
	DC10	1115	O	0,39	0,016	0,23
			Pnat.	0,33	0,07	0,76
			KH ₂ PO ₄	0,33	0,06	0,71
A3	JP10	1503	O	0,40	0,006	0,085
			Pnat.	0,50	0,006	0,27
			KH ₂ PO ₄	0,50	0,006	0,11
	BA	1500	O	0,41	0,009	0,068
			Pnat.	0,45	0,009	0,15
			KH ₂ PO ₄	0,47	0,01	0,23

A3, soit seulement 1% de l'apport et ne modifient pratiquement pas les valeurs de $r1/R$ qui restent inférieures à 0,1.

Le caractère moins fixateur du vertisol V1 est confirmé ici puisqu'on trouve des valeurs de M1 respectivement égales à 5 et 12 $\mu\text{gP solution.g}^{-1}$ sol pour PR7 et DC10, soit environ 8 et 18% de l'apport.

b) Apports de P naturel. Pour les situations F4, F2 et A3 les quantités de phosphore en solution, M1, ne sont significativement pas différentes de celles obtenues après un apport de phosphate soluble, les valeurs de $r1/R$ restant très faibles ($<0,1$).

Pour le vertisol V1, la valeur M1 de P en solution varie peu, comparée à l'échantillon sans apport. Ceci est dû, probablement, à la faible solubilité (compte tenu de la durée des expériences, 18 h) de P naturel.

3.2.4. Discussion et conclusions

a) Mobilité du phosphore dans les sols des Petites Antilles. A l'exception du vertisol, l'ensemble des sols étudiés est pauvre à très pauvre en phosphore assimilable et présente un fort pouvoir fixateur. Le pouvoir fixateur généralement élevé des sols tropicaux a été signalé depuis longtemps. Dès 1956, SAUNDER (cité par DABIN, 1970) montre qu'il existe une bonne corrélation entre le phosphore lié à certains constituants minéraux du sol (fer et aluminium) et les rendements des principales cultures en Rhodésie. Il est possible de confronter les caractéristiques texturales et minéralogiques des sols étudiés aux principales conclusions de la synthèse bibliographique de VELAYUTHAM (1980) sur le déterminisme du pouvoir fixateur des sols. En effet, tous les sols examinés sont caractérisés (cf. tableaux II.6 à 9) par :

- des teneurs en éléments fins (0-20 μm) élevées, supérieures à 60%,
- des teneurs en oxyhydroxydes Fe et Al moyennes à élevées, souvent sous forme amorphe, complexée ou crypto-cristalline,
- des pH généralement acides (pH eau $< 5,5$) ou faiblement acides

ensemble de caractères favorables à un fort pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore.

Par ailleurs, les apports de phosphates, même solubles, ne restent pas isotopiquement échangeables, les cinétiques étant très peu modifiées. Ceci indique qu'un engrais phosphaté n'aura qu'un effet immédiat sur la culture. Dès lors, l'apport d'engrais solubles est déconseillé et l'utilisation de phosphates naturels calciques pour ces sols acides, paraît plus intéressante (ROCHE et al., 1968 ; TRUONG, 1984).

Le cas des vertisols est différent : pouvoir de fixation plus faible, teneurs en PO_4^{3-} solubles après apports d'engrais plus élevé, modifications des caractéristiques de la cinétique de dilution isotopique avec la fertilisation, permettent de considérer ce sol comme moyennement fixateur seulement.

b) Effet du niveau du stock organique du sol sur la mobilité du phosphore.

Le fort pouvoir fixateur naturel de ces sols à caractères ferrallitiques ou andiques limite la perception d'un éventuel effet positif du niveau des stocks organiques sur la mobilité du phosphore. Il semble qu'il faille des teneurs en carbone inférieures à 10 ‰, ce qui n'est jamais le cas dans les agricultures paysannes, pour voir encore augmenter le pouvoir fixateur de ces sols, les teneurs élevées n'ayant aucun effet significatif.

Dans le cas du vertisol, les augmentations des teneurs en matière organique derrière prairie ne s'accompagnent pas non plus d'une augmentation de la mobilité de P, on observe même une tendance inverse, mais le problème pour ce sol est moins important que pour ceux cités ci-dessous.

3.3. Effet, à court terme, d'amendements organiques sur la mobilité du phosphore

L'étude concerne ici uniquement les situations andosol A3 et alluvions ferrallitisées F2, avec pour A3 des apports de fumier (Fu) et pour F2 des apports de boue résiduaire (Bo).

Les expérimentations sont menées "in vitro" au cours d'incubations.

Au cours des incubations on suit les cinétiques de minéralisation du carbone (dégagement CO_2), du phosphore (PO_4^{3-} en solution) et de l'azote (*) ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$).

(*) Résultats non rapportés ici.

Tableau V.4 - Composition des amendements organiques et doses apportées

	Composition			Dose apportée ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ sol)			
	Unité	Fumier	Boue	Fumier (9,4t)	Boue (10t)	Boue (100t)	
M S	(% MS)	100	100	($\times 10^3$)	20,36	24,16	241,6
H ₂ O	"	1 1,3	69,7				
C	"	37,3	33,5	($\times 10^3$)	7,59	8,09	80,9
N	"	2,41	5,16	($\times 10^3$)	0,49	1,25	12,5
C/N		15,5	6,5				
Phosphore (‰)							
total		3,207	6,600		65,3	159,5	1595
minéral		1,752	5,350		35,7	129,3	1293
organique		1,455	1,250		29,6	30,2	302
soluble eau		0,230	1,300		4,7	31,4	314
pH-eau							
		8,3	7,8				
Cations échangeables							
Ca (meq/100g)		69,8	32,4				
Mg	"	67,9	15,6				
K	"	4,99	4,73				
Na	"	0,76	5,85				

Tableau V.5 - Teneur en phosphore des grains, essais maïs sur andosol A3

Précédent	Traitement	ppmP	C.V. %
BA	T	2669	4,38
	Ca	2865	9,66
	F _u	3539	2,54
	F _u + NPK	3042	8,12
	NPK	3481	11,39
A3 JP10	T	2578	6,08
	NPK	2540	12,75

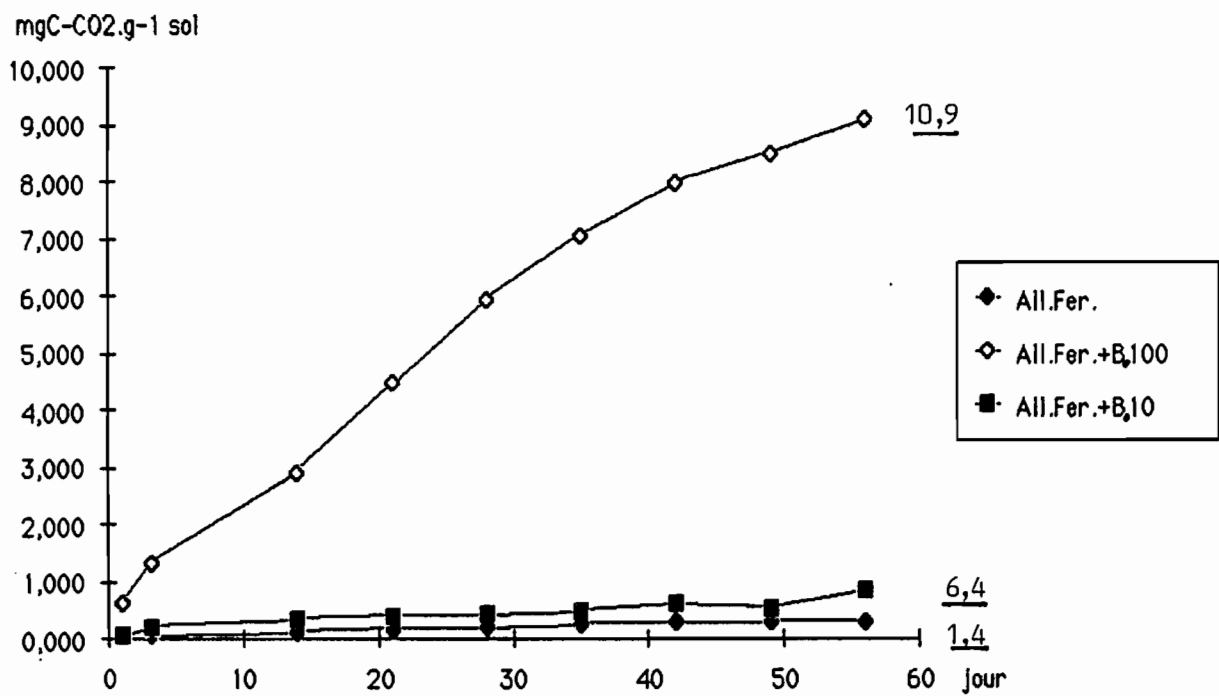
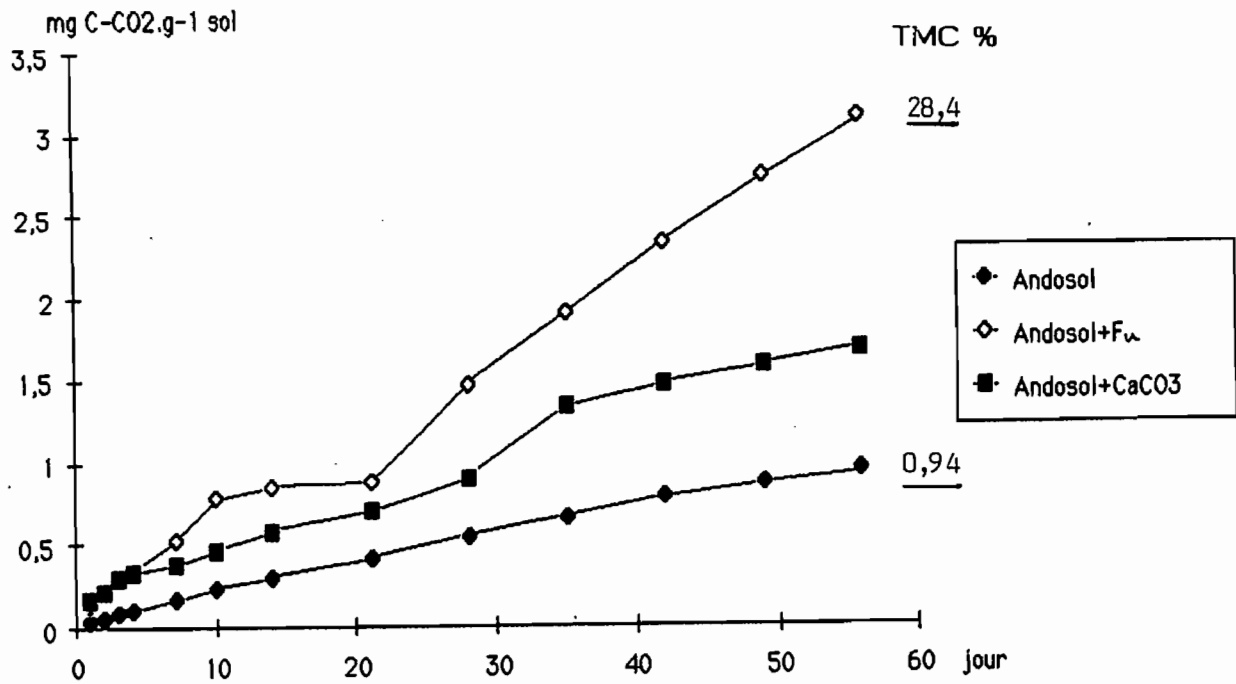
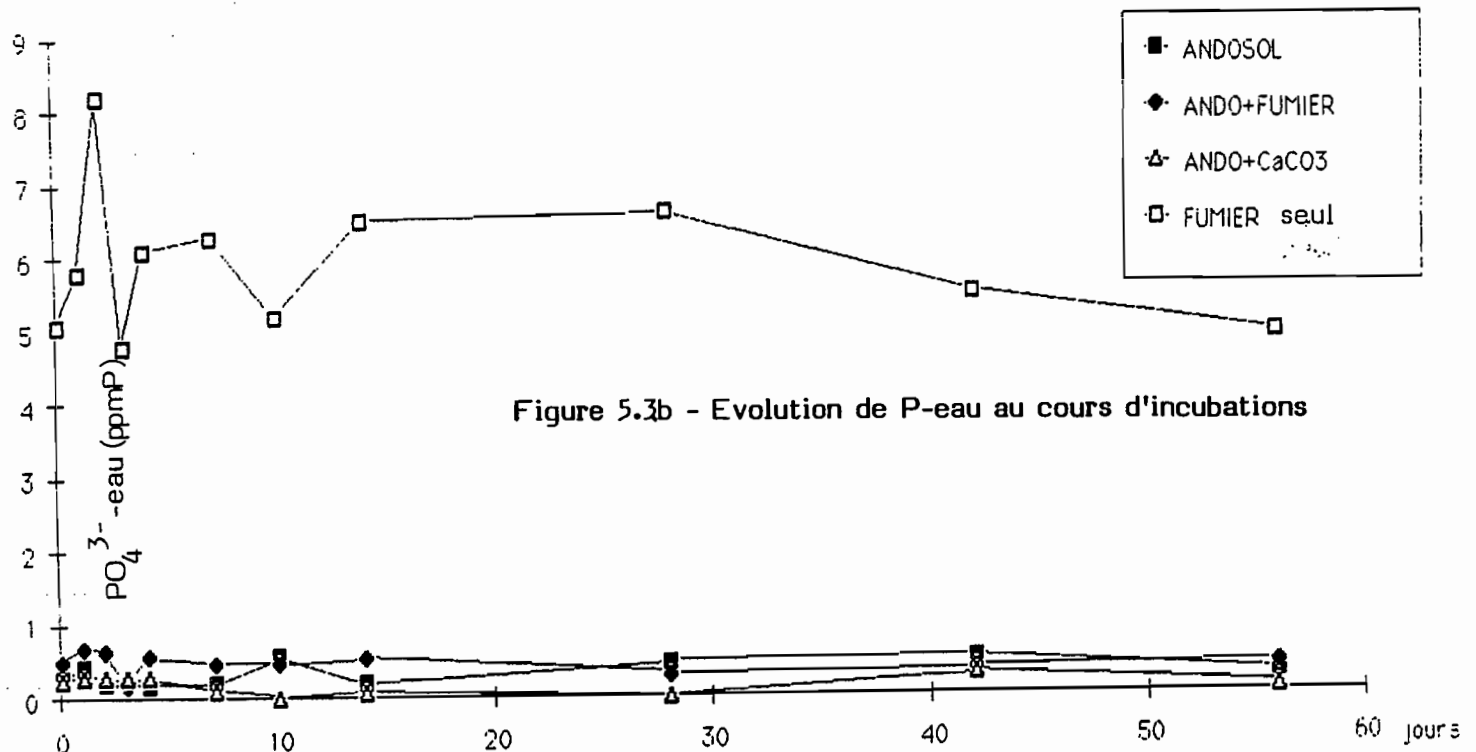
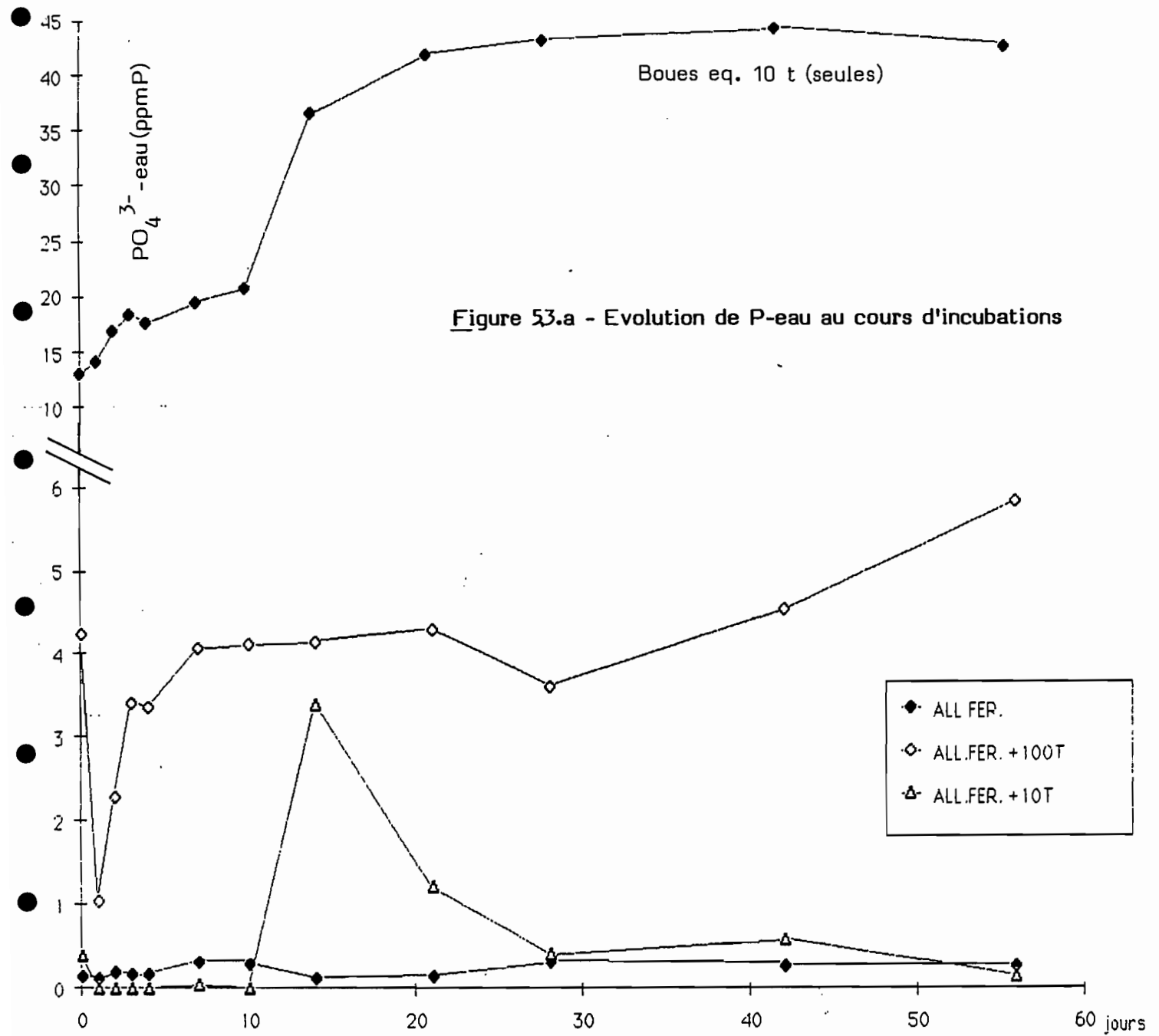


Figure 5.2 - Cinétique de minéralisation du carbone



On compare les sols témoins sans amendement (T) à ceux recevant du fumier (T + Fu), du calcaire (T + Ca) ou des boues (T + Bo).

La composition et les doses des apports sont présentées au tableau V.4. Les caractéristiques analytiques des sols sont rapportées en Annexe V.

3.3.1. Cinétique de minéralisation du carbone

On appelle taux de minéralisation complémentaire TMC le rapport :

$$T.M.C. = \frac{C-CO_2(\text{sol} + \text{amendement}) - C-CO_2(\text{sol témoin})}{C \text{ apport}} \times 100$$

Les résultats détaillés sont présentés en Annexe V et schématisés sur la figure 5.2. Ils ont été commentés par ailleurs (MONTEAU, 1987), seules les principales conclusions sont rappelées ici.

On constate que le taux de minéralisation à 56 jours du fumier est nettement supérieur (28,4%) à celui des boues (de 6,4 à 10,9%) mais compte tenu des doses apportées, les quantités de C-CO₂ dégagé à 56 jours au cours des incubations, varient dans le sens :

	Boue 10 t < Fumier 10 t < Boue 100 t		
mgC-CO ₂ .g ⁻¹ sol (56 jours)	0,52	2,16	8,78

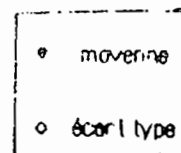
On constate aussi que le taux de minéralisation (0,95%) de l'andosol témoin est inférieur à celui des alluvions ferrallitisées témoin (1,38%) mettant en évidence le caractère stable de la matière organique sous andosol.

Enfin, la différence entre andosol T et le traitement T + Ca est difficile à interpréter car la différence en CO₂ observée peut être dûe partiellement à une décarbonatation de CaCO₃ et pas seulement à l'activité minéralisatrice de la microflore.

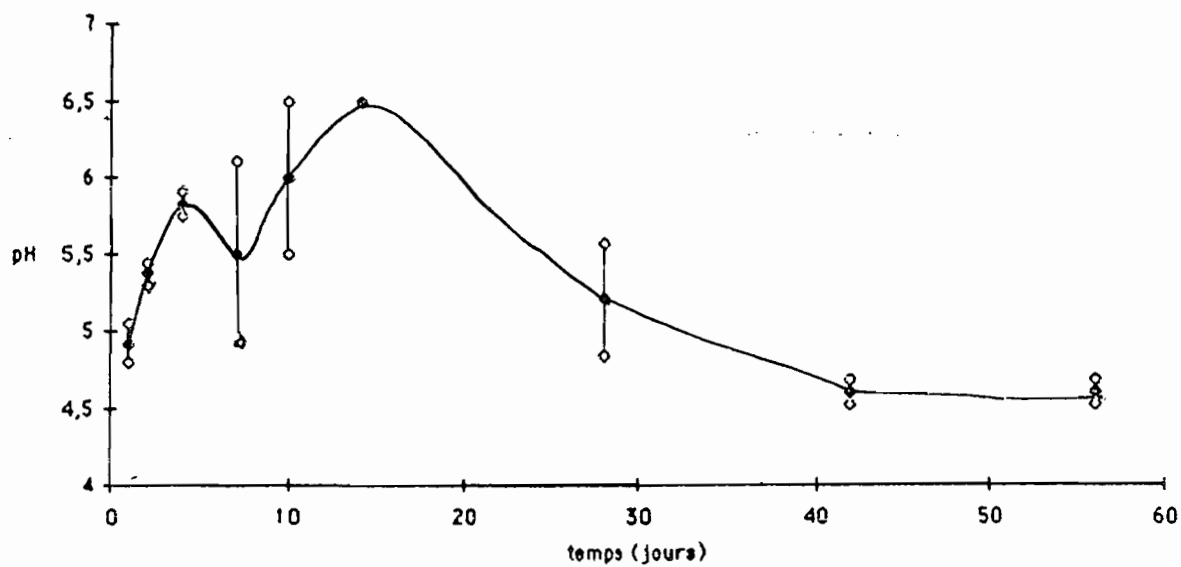
Figure 5.4a - Evolution du pH dans les extraits aqueux. Sol A3

CAS DES INCUBATIONS D'ANDOSOL 4,25 à 4,75

CAS DES INCUBATIONS DE FUMIER 7,2 à 8,2



CAS DES INCUBATIONS DU MELANGE ANDOSOL + FUMIER



CAS DES INCUBATIONS DU MELANGE ANDOSOL + CaCO₃

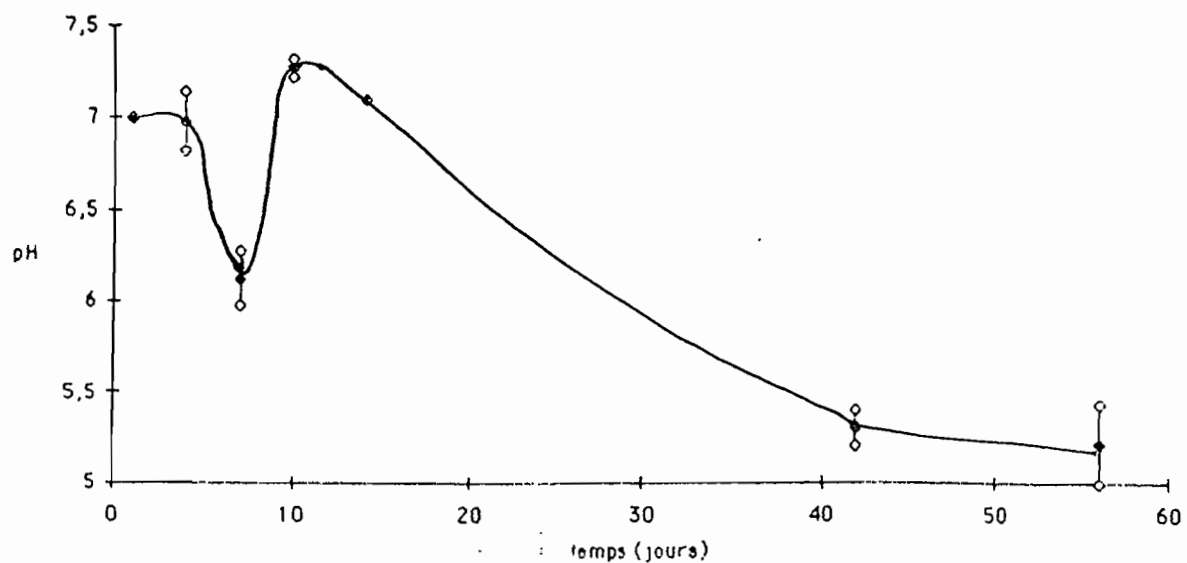
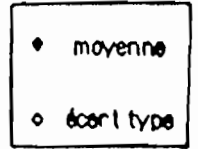


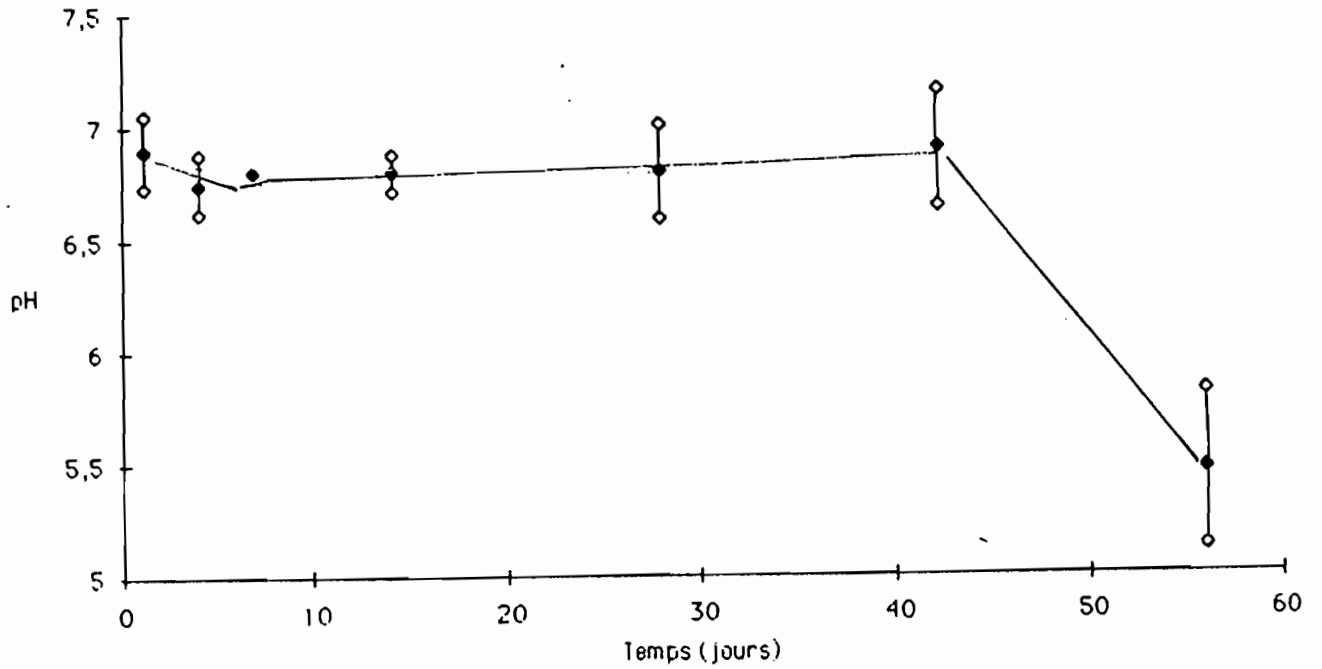
Figure 5.4b - Evolution du pH dans les extraits aqueux. Sol F2

CAS DES INCUBATIONS DES ALLUVIONS FERRALLITISEES: 4 à 6,5

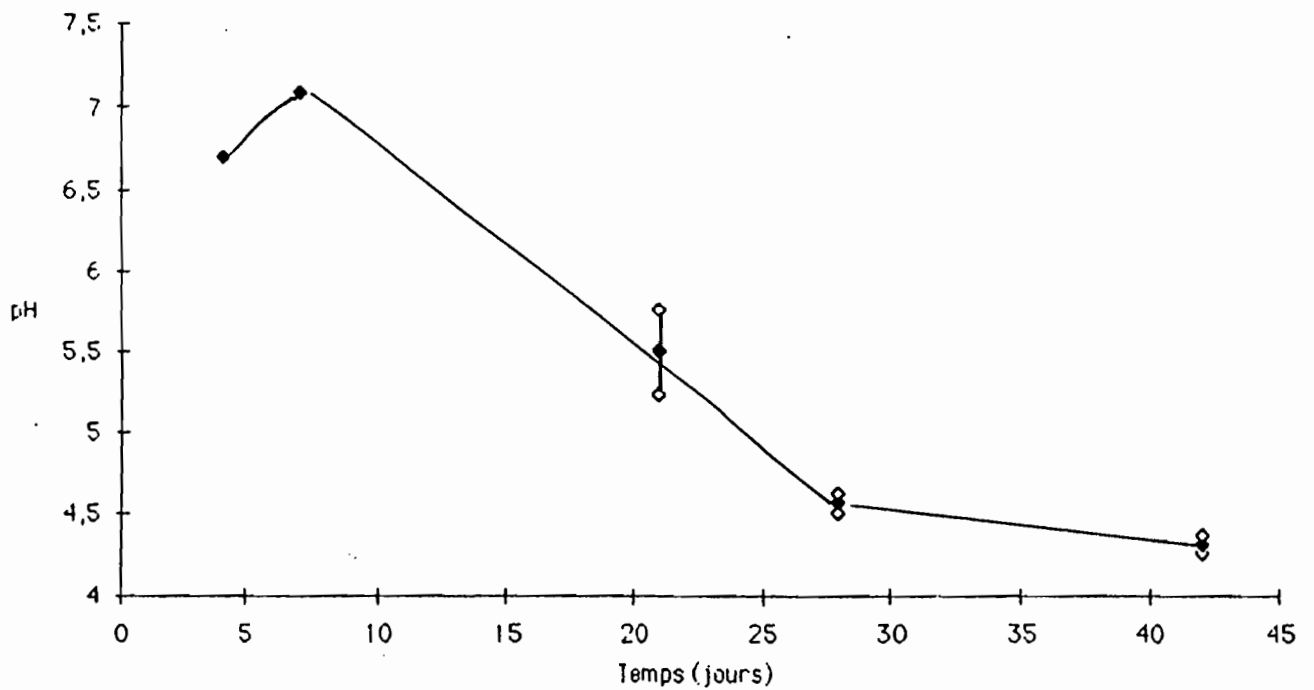
CAS DES INCUBATIONS DE BOUES : 6,5 à 8



CAS DES INCUBATIONS DU MELANGE ALL. FERRALLITISEES+ 100t DE BOUES



CAS DES INCUBATIONS DU MELANGE ALL. FERRALLITISEES+ 10t DE BOUES



3.3.2. Cinétiques d'apparition des phosphates solubles au cours de l'incubation

L'évolution au cours de l'incubation des teneurs en ions PO_4^{3-} solubles est présentée sur la figure 5.3., les résultats détaillés sont en Annexe V.

a) Traitement fumier (Fu) et calcaire (Ca) sur andosol (A3)

Les teneurs moyennes en PO_4^{3-} à chaque prélèvement pour l'andosol témoin varient de 0,2 à 0,5 ppmP, les valeurs par répétitions variant, elles, de 0,05 à 0,8 ppmP. Il n'y a donc pas de variation significative au cours de l'incubation de PO_4^{3-} andosol seul. On peut considérer que 0,4 ppmP représente la valeur moyenne de PO_4^{3-} présent en solution à chaque instant pour ce sol.

Avec l'apport de fumier on note une tendance à une légère augmentation (non significative) de PO_4^{3-} les sept premiers jours (0,5 à 0,7 ppmP), la valeur 0,4 ppmP est retrouvée ensuite.

L'apport de calcaire ne fait apparaître aucun effet sur les teneurs en PO_4^{3-} en solution (de 0,1 à 0,3 ppmP) même si les variations du pH de l'extrait sont, elles, spectaculaires (fig. 5.4).

b) Traitements boues (Bo) 10 t et 100 t sur alluvions ferrallitisées

F2

Pour le sol seul les valeurs moyennes de PO_4^{3-} en solution varient de 0,1 à 0,3 ppmP environ.

L'apport de 10 t de boues fait apparaître une augmentation importante des teneurs en PO_4^{3-} entre 10 et 30 jours avec un maximum ($\sim 3,2$ ppmP à 14 jours). L'apport de 100 t amplifie fortement ce phénomène, puisqu'en fin d'expérimentation, la teneur en PO_4^{3-} soluble est de 6 ppm. Les différences d'évolution observées entre les traitements 10 et 100 t s'expliquent par la présence, dans les boues, de deux formes de P facilement minéralisables, la première entre 0 et 10 jours, la deuxième à partir de 14 jours. Ces observations sont en accord avec les cinétiques de minéralisation du carbone (cas des boues 100 t).

Dans tous les cas, les boues apparaissent comme un matériau particulièrement intéressant pour la production de PO_4^{3-} soluble dans ces sols très fixateurs.

Il faut signaler que l'effet direct de ces boues sur les rendements en maïs sont spectaculaires (GIBOULOT, 1984) ainsi que l'arrière-effet encore décelé au bout de trois années (CLAIRON, Comm. pers.).

3.3.3. Discussion et conclusions

L'étude de l'incorporation au sol d'un fumier ou de boues résiduelles dans deux sols tropicaux acides fortement fixateurs à l'égard du phosphore montre que ces apports exogènes peuvent jouer un rôle dans la mobilité des ions phosphate.

Le fumier de bovin (C/N = 15) est un matériel riche en phosphore. Sa biodégradation libère des phosphates en solution, mais un apport de 10 t MS/ha à un andosol très fixateur paraît insuffisant pour augmenter les teneurs en PO_4^{3-} en solution au-delà du 7^e jour après l'apport. Or, les expérimentations au champ menées dans le cadre de ce projet ont mis en évidence des effets positifs du fumier et du calcaire sur le rendement en maïs (cf. Chapitre VII). Bien que les apports organiques soient souvent considérés comme favorables, via l'activité microbienne, à une meilleure nutrition phosphatée des plantes (DALAL, 1977 ; COLE et al., 1978 ; HEDLEY et al., 1982) il n'est pas certain, au vu de ces résultats d'incubation d'une part, des teneurs en P des grains, d'autre part (tableau V.5), que ce soit le cas ici. Par contre, les apports de fumier ou de calcaire, par leur effet sur le pH du sol peuvent diminuer la toxicité aluminique soupçonnée dans les parcelles étudiées. Des actions de recherche sont mises en place au-delà de ce projet pour répondre à ces questions.

Les boues résiduelles (C/N = 6) sont très riches en phosphore (Pt = 6,6 ‰) dont 25% sont déjà solubles au moment de l'apport, et une fraction facilement minéralisable apparaît à partir de 10 jours. Un apport de 10 t permet déjà d'obtenir des teneurs en PO_4^{3-} soluble variant de 0,5 à 4 ppmP entre 10 et 30 jours après l'apport, et, un apport de 100 t, des teneurs d'environ 4 à 6 ppmP pendant toute la durée d'incubation à partir du 7^e jour.

Des études sont menées à l'INRA pour mieux comprendre le rôle de cet amendement sur la productivité et la nutrition minérale du maïs, mais l'aspect phosphore apparaît à travers ces premiers résultats comme probablement essentiel.

IV.4. CONCLUSIONS

Les sols développés sur matériaux volcaniques aux Petites Antilles sont caractérisés par une forte hétérogénéité des stocks de phosphore, hétérogénéité ~~due tout à la fois~~ au type de sol, ~~au niveau~~ de la fertilisation phosphatée et à la gestion du stock organique des sols (systèmes de culture à forts ou faibles niveaux de restitutions racinaires).

Tous les sols étudiés, à l'exception des vertisols, ont un pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore très élevé. Bien que les situations d'étude choisies par type de sol soient caractérisées par de grandes variations des stocks organiques (mais avec C ‰ des horizons 0-10 cm toujours supérieurs à 10), il n'a pas été observé de variations significatives du pouvoir de fixation ($r1/R$) et des teneurs en P soluble (M1) selon le niveau du stock organique ou la forme d'engrais phosphaté apportée (P soluble ou P naturel). La fixation de P soluble étant immédiate, sans modification du pouvoir de fixation du sol, il est déconseillé d'utiliser des formes d'engrais solubles.

Si les niveaux des stocks organiques semblent exercer peu d'effet sur la mobilité du phosphore il n'en est pas de même de certains amendements, en particulier de boues résiduaires, et ce, dès la dose 10 t MS/ha. A cette même dose, le fumier de bovin n'a qu'un effet fugace sur l'augmentation des teneurs en PO_4^{3-} solubles du sol, des doses plus élevées seraient donc à tester. Les apports de 3 t/ha de calcaire broyé ne font apparaître aucun effet, non plus, sur la mobilité du phosphore. Il n'en reste pas moins que fumier et calcaire broyé exercent un effet positif sur les rendements du maïs, effet à attribuer, probablement, à une augmentation du pH sur andosol.

BIBLIOGRAPHIE

- ACQUAYE (D.K.) - 1963 - Some significance of soil organic P mineralisation in the P nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and soil*, 19, 65-80.
- BHAT (K.K.S.) - 1970 - Contribution à l'étude de la dynamique du phosphore dans les sols tropicaux et de ses conséquences sur l'alimentation phosphorique des végétaux. Th. Doct. Fac. Sciences Orsay.
- CHAMINADE (R.), ROCHE (P.) et GRIERE (L.) - 1977 - La carence en phosphate dans les sols tropicaux. *C.R. Acad. Agri. Fr.*, 6, 479-482.
- CHEVIGNARD (T.), FARDEAU (J.C.), DOULBEAU-PIASCO (S.), FELLER (C.), TURENNE (J.F.) et VALLERIE (M.) - 1986 - Effet du remodelage parcellaire sur la fixation des phosphates en divers types de sols des Antilles. *Agronomie*, 6 (2), 149-156.
- CLAIRON (M.) et al. - 1984 - Etude des possibilités d'utilisation agronomique de boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines sur sol ferrallitique en milieu humide : I/Effet d'apports annuels et biennaux de deux types de boues. Station agropédologique. I.N.R.A.-C.R.A.A.G.
- COLE (C.), ELLIOTTE (E.), HUNT (H.) and COLEMAN (D.) - 1978 - Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. V-Phosphorus transformations. *Microbial Ecology*, 4, 381-387.
- CONESA (A.P.) et FARDEAU (J.C.) - 1979 - Le phosphore. In : *Pédologie*, 2-Constituants et propriétés du sol. M. Bonneau et R. Souchier éd. Masson.
- DABIN (B.) - 1963 - Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM*, sér. *Pédol.*, 3, 27-42.
- DABIN (B.) - 1964 - Etude des formes du phosphore dans quelques sols des Antilles ; action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre. *Cah. ORSTOM*, sér. *Pédol.*, 2, 5-12.
- DABIN (B.) - 1970 - Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. *Cot. Fib. Trop.*, 25 (3), 1-44.

- DABIN (B.) - 1974 - Evolution des phosphates en sols acides des régions tropicales. Science du sol, Bull. AFES, 2, 87-104.
- DALAL (R.) - 1977 - Soil organic phosphorus. Advances in Agronomy, 29, 83-117.
- DUVAL - 1962 - Ann. Agron., 13, 469-482.
- FARDEAU (J.C.) - 1981 - Cinétique de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse Doct. Etat Univ. Paris 6, 198 p.
- FARDEAU (J.C.), CHABOUIS (C.) et HETIER (J.M.) - 1977 - Méthodes de cinétique de dilution isotopique des ions PO_4 et Ke : application à l'analyse des modifications de fertilité dans les essais de très longue durée. Science du sol, Bull. AFES, 2, 111-122.
- FARDEAU (J.C.) et JAPPE (J.) - 1978 - Analyse par dilution isotopique de la fertilité et de la fertilisation phosphorique de quelques sols de Québec. Can J. Soil Sci., 58, 251-258.
- FARDEAU (J.C.) et JAPPE (J.) - 1980 - Choix d'une fertilisation phosphorique des sols tropicaux : emploi du phosphore 32 . Agron. trop., 35 (3), 225-231.
- FARDEAU (J.C.), MOREL (C.) et JAPPE (J.) - 1985 - Cinétique d'échange des ions phosphatés dans les systèmes sol-solution. Vérification expérimentale de l'équation théorique. C.R. Acad. Sci. Paris 300, série 3 (8), 371-375.
- FOX (R.L.) - 1980 - Soil with variable charge : agronomic and fertility aspects. In B.K.G. THENG (ed), soils with variable charge. New Zealand Soc. Soil. Sci., 195-224.
- FRIEND (M.T.) and BIRCH (H.F.) - 1960 - Phosphate responses in relation to soil test and organic phosphorus. J. Agric. Sci., 54, 341-347.
- FROSSARD (E.), TRUONG (B.) et JACQUIN (F.) - 1986 - Influence de l'apport de composés organiques sur l'adsorption et la désorption des ions phosphatés en sol ferrallitique.
- GUILLET (B.) et SOUCHIER (B.) - 1979 - Les oxyhydroxydes amorphes et cristallins dans les sols (fer, aluminium, manganèse, silicium). In : Pédologie. 2-Constituants et propriétés du sol. Bonneau et Souchien B. éd. Masson, Paris.
- HEDLEY (M.), STEWART (J.) and CHAUHAN (B.) - 1982 - Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivations practices and laboratory incubations. Soil Sci. Soc. of Amer. J., 46, 970-975.

- JOHN (M.K.) - 1970 - Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. *Soil Sci.*, 109 (4), 214-220.
- LE VAN CAN - 1976 - Effet of chemical fertilizers under humid tropical conditions of Proc. 8th Intern. Congr. Fertilizer, 3, 150-169.
- NURY BEZAMA et AOMINES (S.) - 1977 - Phosphate retention on soils in the central valley of chile. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, 4, 427-435.
- OLIVIER (R.) - 1972 - Etude du statut phosphorique des sols de Madagascar (3è partie). Document IRAM n° 313.
- PICHOT (J.) - 1975 - Le rôle de la matière organique dans la fertilité du sol. *L'agron. Trop.*, 30 (2), p. 170.
- RAHARINOSY (R.V.) - 1983 - Etude de l'influence de différentes doses de fumier sur la libération du phosphore d'un sol ferrallitique de Madagascar. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 20 (2), 129-146.
- ROCHE (P.) - 1983 - Les méthodes d'appréciation du statut phosphorique des sols. Leur application à l'estimation des besoins en engrais phosphatés. 3è Congrès International sur les composés phosphorés. Bruxelles, P. 165-194 - IMPHOS Casablanca, Maroc.
- ROCHE (P.), VELLY (J.) et NGO CHAN Bang - 1968 - Comparaison de diverses natures d'engrais azotés et d'engrais phosphatés en rizières. *Coll. sur la fertilité des sols tropicaux*. Tananarive 19-25 nov. 1968, I.R.A.T. éd. 1122-1126.
- ROCHE (P.), GRIERE (L.), BABRE (D.), CALBA (H.) et FALLAVIER (P.) - 1978 - La carence en phosphore des sols intertropicaux et ses méthodes d'appréciation. *Sci. Sol, Bull. AFES*, 4, 251-268.
- ROCHE (P.), GRIERE (L.), BABRE (D.), CALBA (H.) et FALLAVIER (P.) - 1980 - Le phosphore dans les sols intertropicaux : appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore. IMPHOS éd., Publ. Scientifique n° 2.
- TRUOG (B.) - 1984 - Contraintes à l'utilisation des phosphates naturels. Mise au point d'engrais alternatifs. Séminaire sur "les contraintes à utilisation des engrais". Yamoossouhro, 11-14 déc. 1984.
- VELAYUTHAM (M.) - 1980 - Le problème de la fixation des phosphates par les minéraux et les colloïdes du sol. *Phosphore et Agriculture*, 77, 1-9.
- ZECH (V.), ALT (H.G.), ZUCKER (A.) and KOGEL - 1985 - 31-P-NMR spectroscopic investigations of NaOH extracts from soils with different land use in Yucatan (Mexico). *Zeitschr. Pflanzener. Bodenue.* 148, 626-632.

**FERTILITE DES SOLS DANS LES
AGRICULTURES PAYSANNES CARIBEENNES**
Effets des restitutions organiques

Rapport final

Coordinateur : C. Feller

Organismes ayant participé au projet :

CARDI, Ste Lucie	MFC/TREDU, Ste Lucie
CEA/DB-SRA, France	ORSTOM, Martinique
ENS, France	ORSTOM/ULA, Venezuela
INRA/CRAAG, Guadeloupe	SECI/DDA, Martinique
IRAT/CIRAD, Martinique	Université PARIS VI, France
MFC/TREDU, Dominique	UWI, Trinidad

FERTILITE DES SOLS DANS LES AGRICULTURES PAYSANNES CARIBEENNES

Effets des restitutions organiques

LISTE DES ORGANISMES PARTICIPANTS

- C.A.R.D.I - Caribbean Agricultural Research and Development Institute. Castries, Ste-Lucia.
- C.E.A./D.B.-S.R.A. - Commissariat à l'Energie Atomique. Département Biologie - Service de Radio-Agronomie - Cadarache, France.
- E.N.S. - Ecole Normale Supérieure. Laboratoire d'Ecologie, Paris, France.
- I.N.R.A.-CRAAG - Institut National de la Recherche Agronomique - Centre de Recherches Agronomiques Antilles-Guyane , Guadeloupe.
- I.R.A.T.-CIRAD - Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et de Cultures Vivrières, Martinique. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- M.F.C. - Mission Française de Coopération (Ministère des Relations Extérieures, France). Ste Lucie et Dominique.
- O.R.S.T.O.M. - Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération. Laboratoire Matière Organique des Sols Tropicaux, Fort-de-France, Martinique.
- S.E.C.I. - Station d'Essais de Cultures Irriguées. Direction Départementale de l'Agriculture. Ste-Anne, Martinique.
- T.R.E.D.U. - Training Research and Extension Development Unit. Ste Lucia and Dominica.
- U.L.A. - Universidade Los Andes. Faculdade Ciencias Forestales. Lab. de Suelos. Université Paris VI, P. et M. Curie. Département de Géologie Dynamique. Paris, France.
- U.W.I. - University of West Indies. Department of Soil Science, Saint Augustine, Trinidad and Tobago.

La photo en couverture représente les situations "ferrallitiques" F4 de Ste Lucie (Dugard, exploitation de M. Stanley Sainte-Marie)

AVANT PROPOS

Ce projet a débuté officiellement le 01.07.85 et, après acceptation par la CEE d'une prolongation de 6 mois, s'est terminé le 31.12.87.

Je tiens à remercier vivement Messieurs les Responsables du "sous-programme Agriculture tropicale" de la DG 12 pour leur compréhension quant aux divers retards qui ont pu exister dans la remise des rapports d'avancement et de ce rapport final.

Je souhaite aussi préciser immédiatement que, sans le financement de la CEE, cette recherche n'aurait jamais eu lieu ou, tout au moins, n'aurait jamais pris cette dimension régionale de coopération qui la caractérise. Un certain nombre de recherches initiées de ce fait vont se poursuivre maintenant plusieurs années au-delà de ce projet.

Si j'espère, bien sûr, que les résultats obtenus contribueront à une meilleure connaissance de la fertilité et de la gestion des sols dans les agricultures paysannes caribéennes, j'ajouterai que du côté des participants à ce projet, nous en "émergeons" j'en suis sûr, enrichis et sensiblement différents dans la perception des problématiques recherche/développement de ce que nous étions en nous y "plongeant".

C'est donc pour moi l'occasion d'adresser mes plus vifs remerciements et amitiés à l'ensemble de mes collègues (*) pour le travail fourni et la qualité de cette collaboration, en insistant particulièrement sur le rôle essentiel, tant sur le plan conceptuel que matériel (mise en place d'essais agronomiques en milieu paysan), joué par les équipes MFC/TREDU de Dominique et de Ste Lucie.

C. FELLER

Nancy, mars 1988

(*) Les personnes ayant participé à ce projet sont citées dans le Sommaire.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
<u>PREMIERE PARTIE - INVENTAIRE SOMMAIRE DES SYSTEMES DE CULTURE PAYSANS</u>	6
. Chapitre I - Systèmes de culture, pratiques de la jachère et fertilisation dans les agricultures paysannes des Petites Antilles. E. de Guiran et C. Castellanet	
<u>DEUXIEME PARTIE - SYSTEMES DE CULTURE ET PROPRIETES DES SOLS ..</u>	
. Chapitre II - Systèmes de culture et propriétés générales de quelques types de sols. A. Albrecht, M. Brossard, J.L. Chotte, C. Feller, A. Plenocassagne, J.P. Brizard et L. Rangon	20
. Chapitre III - Systèmes de culture et matière organique de quelques types de sols. M. Brossard, J. Loury, A. Albrecht, J.L. Chotte, J.Y. Laurent et C. Feller	47
. Chapitre IV - Matière organique et propriétés physiques de quelques types de sols. A. Albrecht et L. Rangon	55
. Chapitre V - Matière organique et mobilité du phosphore (³² P) dans quelques types de sols. M. Brossard, J.C. Fardeau, P. Monteau, J.Y. Laurent	69
. Chapitre VI - Systèmes de culture et faune des sols. Quelques données. I. Barrois, P. Cadet, A. Albrecht et P. Lavelle	85
<u>TROISIEME PARTIE - SYSTEMES DE CULTURE, PRODUCTIVITE ET NUTRITION AZOTEE D'UN MAIS</u>	
. Chapitre VII - Précédents culturaux, fertilisation et productivité d'un maïs pour quelques types de sols. Résultats de deux années d'expérimentation. C. Castellanet, E. de Guiran, R. Pilgrim, A. Ramdass, S.M. Griffith, N. Ahmad, M. Clairon, P. Daly, M. Mahieux et J.L. Chotte	97
. Chapitre VIII - Bilans N-engrais et nutrition azotée d'un maïs pour quelques types de sols. Etude avec ¹⁵ N. J.L. Chotte, J.M. Hetier, A. Mariotti, J. Loury et C. Feller	113
CONCLUSION GENERALE	122
VALORISATION, DIFFUSION, FORMATION, PERSPECTIVES	127
ANNEXES I à VIII	