

# Évolution des phosphates en sols acides des régions tropicales

par B. DABIN

Laboratoires centraux — O.R.S.T.O.M. — Bondy (France)

---

## SOMMAIRE

*Le présent article traite de la fixation du phosphore en sols tropicaux acides du devenir à court terme des différentes formes de phosphore dans la phase solide, de l'action du pouvoir de fixation sur l'alimentation des plantes, soit en pots, soit dans le sol en place ; enfin de l'évolution du phosphore dans le sol en cours d'essais de longue durée et de l'utilisation par les plantes des formes fixées.*

### 1° INTRODUCTION.

L'évolution des phosphates en sols tropicaux acides conduit à une fixation plus ou moins rapide et intense de l'anion phosphorique sur les constituants minéraux et organiques.

Cette fixation du phosphore dans les sols tropicaux a été signalée depuis longtemps ; envisagée surtout dans le cas des sols ferrallitiques (anciennement latéritiques), elle était même considérée par certains comme la cause essentielle de la carence très fréquemment observée dans ces sols. Les recherches plus récentes qui ont été réalisées sur ce sujet montrent d'une part que cette fixation peut être très variable en fonction des types de sol tropicaux, dont les propriétés chimiques et physico-chimiques sont très diverses, d'autre part que même dans les sols les plus fortement fixateurs, principalement ceux qui sont riches en sesquioxydes libres et de pH acide, cette fixation n'est pas aussi irréversible qu'on semblait le craindre à l'origine.

Cependant une forte fixation peut aggraver le phénomène de carence qui est lié essentiellement à une insuffisance quantitative globale en acide phosphorique ; en revanche elle supprime les pertes par drainage. Du point de vue pratique cette fixation amène à augmenter les doses d'engrais phosphatés, mais dans des proportions qui demeurent acceptables, et elle n'empêche pas l'arrière-action des fumures même après plusieurs années.

### 2° MISE EN EVIDENCE ET MESURE DU POUVOIR FIXATEUR.

La fixation du phosphore est par définition le passage de l'ion  $PO_4^{3-}$  de la phase liquide à la phase solide ; le devenir ultérieur du phosphore dans la phase solide peut être variable et aboutir à une rétrogradation plus ou moins poussée ; il y a donc lieu de distinguer les phénomènes en temps court et ceux qui peuvent se produire après plusieurs mois ou plusieurs années de vieillissement.

Actuellement la mesure du pouvoir fixateur est réalisée fréquemment d'après une technique de DEMOLON et al., modifiée selon BLANCHET et al. et reprise par GACHON.

Elle consiste à mettre le sol en contact 24 heures avec des solutions de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, diversement enrichies en phosphore soluble dans un rapport  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{4}$ . D'après

GACHON le pouvoir fixateur d'un sol est la quantité de phosphate soluble nécessaire pour porter la concentration de la solution d'équilibre à la valeur de 2 mg par litre.

Pour notre part nous avons utilisé la méthode CHANG et JACKSON, qui extrait le phosphore soluble par agitation du sol sec dans  $\text{NH}_4\text{Cl}$  N.

Cette extraction est réalisée sur sol non traité ou sur sol enrichi en phosphate. L'enrichissement est obtenu par contact (3 jours) avec des solutions de concentration variable dans un rapport  $\frac{1}{1}$ , puis séchage à faible température (45°).

Cette dernière méthode peut avoir l'intérêt de se rapprocher des conditions des sols tropicaux qui sont soumis régulièrement à la dessiccation.

TABLEAU 1. — Sols de Madagascar (Oliver). Agitation du sol dans  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, 24 heures, rapport  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{4}$

Concentration de la solution en P - ppm (avant équilibre)	0	200	400	800	1 600	2 400
Concentration P Soluble après équilibre ppm						
Sol ferrallitique sur gneiss à Madagascar (Ampangabé)	0,04	0,65	3,06	30,07		
Sol hydromorphe moyennement organique de Madagascar (Mahitsy)	0,03	0,105	0,30	1,45	12,93	52

TABLEAU 2. — Sols de Côte d'Ivoire (Le Buaneé). Sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux. Rapport  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{4}$

Concentration de la solution ppm		200	400	600	800
Sol de la zone forestière (Tehiri) semi-décidue	P fixe ppm	154	245	312	360
	P soluble	46	155	248	440
Sol de la zone forestière Haute altitude (Man)	P fixe	180	323	410	486
	P soluble	20	77	190	314
Sol de la zone de savane centrale (Beheké)	P fixe	166	258	326	372
	P soluble	34	142	274	428
Sol de la zone de savane nord (Banía)	P fixe	62	88	100	124
	P soluble	138	312	500	676

3° QUELQUES RESULTATS OBTENUS.

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 donnent quelques résultats de fixation d'après les techniques indiquées ci-dessus :

D'une part des chiffres fournis par R. OLIVER (1972) sur sols ferrallitiques et hydromorphes de Madagascar, d'autre part des chiffres extraits de la thèse de B. LE BUANEC (1973) sur la « Carence en phosphore des sols sur granite en Côte d'Ivoire », enfin des chiffres extraits d'une étude de B. DABIN (1970) sur la fixation du phosphore sur les sols tropicaux, en particulier sols ferrallitiques de Madagascar, Cameroun, Côte d'Ivoire, sols hydromorphes, vertisols et sols ferrugineux tropicaux du Tchad.

La présentation de ces résultats n'est pas homogène, seul OLIVER ayant appliqué exactement la méthode GACHON.

LE BUANEC indique la quantité de P fixée pour quatre doses de P ajouté en solution (200 - 400 - 600 - 800 ppm) ; nous avons complété nous même par le calcul du P soluble.

$$\text{Ces deux techniques utilisent le rapport } \frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{4}$$

En ce qui concerne les autres chiffres, ils sont obtenus sur les extraits  $\text{NH}_4\text{Cl N}$  d'après la méthode indiquée ci-dessus.

TABLEAU 3. — Sols divers (B. Dabin). Contact trois jours  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{1}$   
dessiccation — extraction  $\text{NH}_4\text{Cl N}$

Concentration de la solution ppm P	0	45	90	115	180	260	350	450
P soluble dans le sol ppm								
Sol de Madagascar ferrallitique - profondeur -	Mad 1	0	0	0	0	0	0	2,1
	Mad 2	0	0	0	0	0	1	1,55 2,1
	Mad 3	0	0	0,45		1,35	3,6	5,3 5
Sol ferrallitique de Madagascar - surface -	Sak 11	0	0	0	1,05			
Sol ferrallitique du Cameroun - surface -	Hy 82	0	0	0	0	0	0	1 2,05
Sol ferrallitique de Côte d'Ivoire - surface -	Ya 15	0			0,52			
Sol ferrallitique du Dahomey - surface -	Cod 3	0			5,2			

TABLEAU 4. — Contact trois jours  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{1}$  — dessiccation — extraction  $\text{NH}_4\text{Cl N}$

Concentration de la solution ppm P	0	45	90	115	180	260	350	450
P soluble ppm								
Sol hydromorphe sableux du Tchad	0	10,5	16		53	50	105	125
Vertisol - Tchad	0	7,2	17,5		74	120	200	270

Si l'on considère la concentration en P soluble après fixation, et que l'on compare avec la concentration initiale de la solution, on peut établir un classement sommaire des sols pour un apport de 100 à 200 ppm de P.

Les divers sols ferrallitiques de zones humides, Madagascar, Cameroun, sud Côte d'Ivoire, donnent moins de 1 % de P soluble par rapport à la quantité ajoutée. Ils sont très fortement fixateurs.

Certains sols hydromorphes acides donnent des chiffres encore plus bas.

Les sols ferrallitiques du Dahomey, de la région de Man, etc., ont moins de 10 % de P soluble par rapport au P ajouté. On peut encore les considérer comme assez fortement fixateurs.

Tous les autres sols ne sont pas fortement fixateurs ; on peut cependant établir entre eux des différences, certains donnent entre 10 et 20 % du P ajouté, d'autres entre 20 et 40 %, d'autres enfin plus de 40 %.

Dans les sols du Tchad dont le pH varie de 5,7 à 7,1, le P soluble varie de 12 à 40 % ; ceux dont le pH est supérieur à 7,5 donnent plus de 50 % par rapport au P ajouté.

Ce classement simplifié relatif à une dose unique n'est pas très rigoureux, mais permet de diminuer le nombre des analyses ; par ailleurs les sols qui ne sont pas fortement fixateurs semblent présenter un certain regroupement de leurs propriétés concernant l'alimentation des plantes.

#### 4° DEVENIR DU PHOSPHORE SOLUBLE DANS LA PHASE SOLIDE.

##### a) METHODOLOGIE : TRAVAUX DE LABORATOIRE.

En ce qui concerne le devenir du phosphore dans la phase solide, il faut considérer les effets à court terme et l'évolution à plus ou moins long terme ; un certain nombre de travaux ont été effectués sur ce sujet, en particulier ceux de CHANG et JACKSON, qui ont mis au point vers 1957 une technique de fractionnement des formes du phosphore largement utilisée par la suite. Cette technique a subi quelques améliorations sans être beaucoup modifiée dans son principe ; parmi les critiques qui ont été faites, la principale est que la séparation en phosphate d'alumine, phosphate de fer, phosphate de chaux, ne correspond pas à des espèces minéralogiques ou chimiques définies, mais seulement à des formes de liaisons souvent transitoires et mal connues, et dont la distinction quantitative est loin d'être parfaite.

Néanmoins l'extraction par les différents réactifs successifs ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  N -  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5 N -  $\text{NaOH}$  0,1 N -  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 N) fournit une répartition des ions  $\text{PO}_4$  en correspondance assez étroite et constante avec la nature des sols étudiés. C'est ainsi que dans les sols acides et riches en fer libre, c'est l'extrait à la soude qui domine largement (défini comme P — Fe) et que dans les sols calciques, c'est l'extrait à l'acide sulfurique qui fournit les teneurs les plus élevées (défini comme P — Ca).

Donc cette dénomination de P soluble ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), P Al ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), P Fe ( $\text{NaOH}$ ), P Ca ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), est conservée d'un point de vue pratique tout en sachant bien qu'il s'agit de l'ion  $\text{PO}_4$  extrait conventionnellement par ces divers réactifs.

Dans la méthode complète, on détermine également le phosphore dit d'inclusion et le phosphore organique. Ces formes peuvent évoluer dans les équilibres à long terme, mais interviennent peu dans les fixations à court terme.

##### b) QUELQUES RESULTATS OBTENUS.

CHANG et CHU (1961) ont montré expérimentalement que lorsqu'on ajoute un phosphate soluble à des sols dont le pH varie de 5,3 à 7,5, la fixation au bout de trois jours se fait essentiellement soit sous forme de P Al, soit sous forme de P Ca, si l'humidité est moyenne. Dans une suspension de sol, la forme P Fe peut être dominante, même en temps court. Après 100 jours en sol moyennement humide, P Al et P Ca diminuent et P Fe augmente ; cette augmentation apparaît plus rapidement en sol très humide.

## PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX

Il semble donc que la fixation est fonction de la surface d'adsorption (en particulier celle des ions  $Al^{+++}$  de l'argile, du calcaire fin ou du calcium de la fraction argileuse), et que par ailleurs les formes évoluent plus ou moins rapidement vers la forme la plus stable, qui est P Fe dans les sols acides. Les sesquioxydes libres peuvent représenter des surfaces de contact variables et leur réactivité varie suivant leur nature. D'une part il y a une relation entre l'adsorption de P et la quantité de ces oxydes libres, d'autre part Alan WILD, en 1950, a indiqué que la goëthite, la gibbsite et la bauxite absorbent bien  $PO_4$ , mais que l'hématite est peu réactive.

En ce qui concerne la rapidité d'évolution, SHELTON et COLEMAN (1968), sur des sols de Caroline, ont montré qu'elle est faible, et s'échelonne sur plusieurs années. De fortes applications d'engrais peuvent maintenir un taux notable de phosphore assimilable pendant un temps suffisamment long (méthode Nord Caroline).

### c) TRAVAUX RECENTS.

Dans les expériences de fixation dont les résultats ont été présentés dans les tableaux 3, 4 et 5, l'extraction de P soluble au  $NH_4Cl$  a été suivie des divers fractionnements P Al - P Fe - P Ca, et également d'une mesure du phosphore dit assimilable par la méthode modifiée d'OLSEN ( $NH_4F$  0,5 N +  $NaHCO_3$  0,5 N + NaOH q.s. pH 8,2, agitation 1 heure, sol/liquide =  $\frac{1}{50}$ ).

Le graphique n° 1 représente cette fixation sur sol hydromorphe sableux du Tchad à humidité moyenne ; ce sol est peu humifère et moyennement acide (pH = 6).

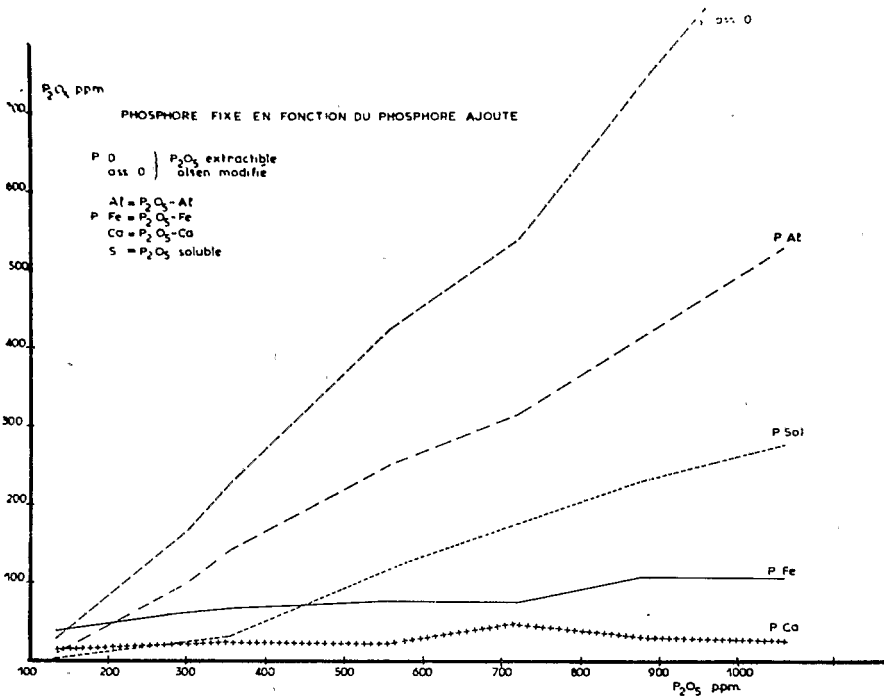
Après trois jours de fixation, les différentes formes extraites montrent une variation sensiblement linéaire par rapport au phosphore total ; seul le phosphore soluble montre une inflexion nette à partir de 350 ppm de  $P_2O_5$  total. Le phosphore assimilable OLSEN croît linéairement et représente 80 à 90 % de la quantité de  $P_2O_5$  soluble ajouté.

L'autre forme la plus importante est P Al qui augmente linéairement en fonction de l'enrichissement.

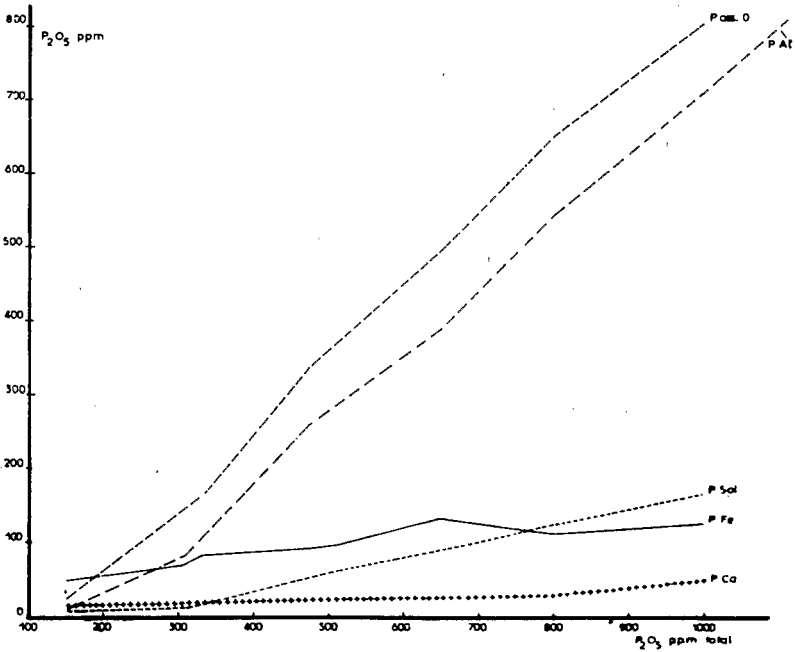
Les formes P Fe et P Ca n'augmentent que faiblement par rapport aux teneurs du sol d'origine.

TABLEAU 5. —  $\frac{\text{sol}}{\text{liquide}} = \frac{1}{1}$ , extraction  $NH_4Cl$  N

Concentration de la solution - ppm P				Concentration de la solution - ppm P			
		0	115			0	115
Sols du Tchad		P soluble ppm		Sols du Tchad		P soluble ppm	
Solonetz solodisé	Harde 1	0	15	Ferrugineux trop lessivé	Bebed 11	12	56
Sol ferrugineux à pseudogley	Ba Illi 11	4,2	53	Ferrugineux trop lessivé	Begada 11	30	92
Sol ferrallitique faiblement désaturé	Kelo 1	3	23	Ferrugineux trop lessivé	Bangoul 21	32	88
Sol ferrugineux tropical lessivé	Bangoul 11	3	42	Ferrugineux trop lessivé	Bangoul 31	62	130
Sol ferrugineux trop lessivé	Begada 21	4	46	Sol hydromorphe humifère calcique	Bo1 271-1	110	185
				Sol hydromorphe argileux, acide	Our 1	0	0



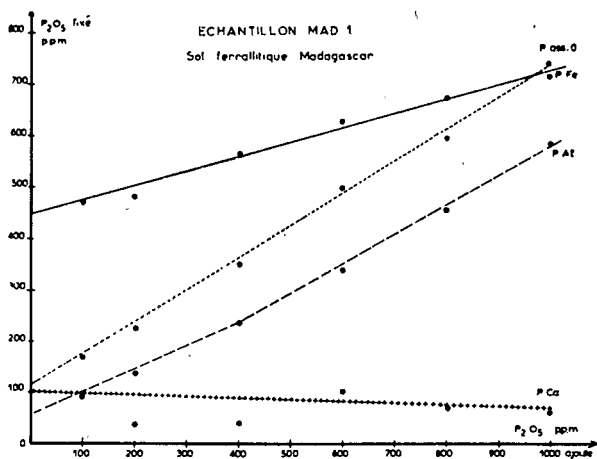
— Sol hydromorphe exondé sableux. Contact 3 jours.



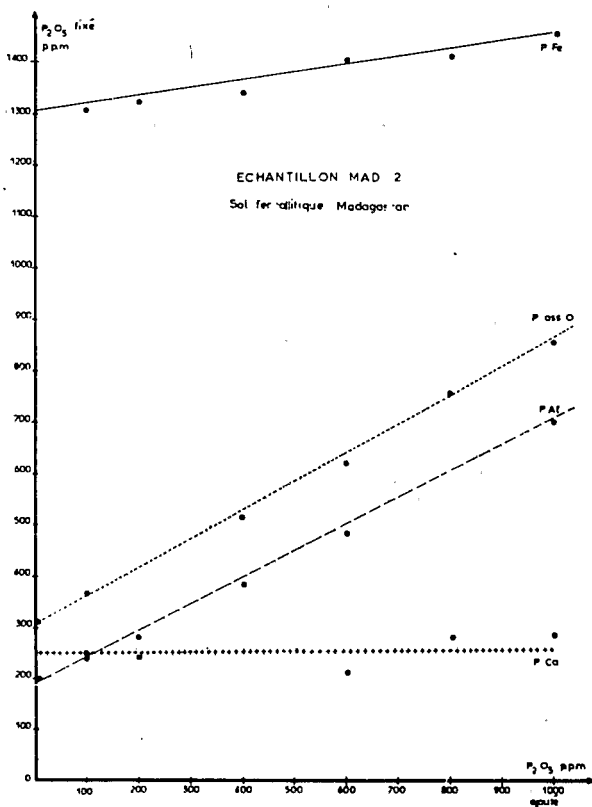
— Sol hydromorphe sableux exondé. Contact 45 jours.

FIGURE I

# PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX



— Phosphore fixé en % du phosphore ajouté.



— Phosphore fixé en % du phosphore ajouté.

FIGURE II

Le P assimilable représente à peu près la somme du P Al et du P soluble.

Après quarante-cinq jours, la représentation des différentes formes est toujours linéaire, P assimilable a très peu varié, P Al augmente et P soluble diminue dans des proportions équivalentes, P Fe ne croît que faiblement, P Ca reste inchangé.

D'autres expériences du même genre ont montré que durant cette période de six semaines, à part le phosphore soluble, les différentes formes ainsi que le phosphore assimilable ne montraient que des variations assez faibles.

Pour un sol ferrallitique sur gneiss (Madagascar), OLIVER a montré qu'il y avait en six mois augmentation nette du P Fe et diminution du P Al et du P Ca, pour une fertilisation de 500 ppm de P. La variation est plus importante dans le cas du phosphate d'ammoniaque, et du phosphate tricalcique, et plus lente dans le cas du phospal.

En raison de la lenteur de cette évolution, les essais pratiques de fixation du phosphore au laboratoire sont réalisés en temps court.

La figure V présente la fixation du phosphore sur des sols ferrallitiques de Madagascar, à profondeur faible et moyenne (Mad 1 - Mad 2). Ces sols sont relativement argileux, riches en fer libre (10 à 15 %) et de pH acide : 4,5 à 5,5. Le phosphore soluble représente moins de 1 % du phosphore ajouté, même pour des apports de 450 ppm P.

En ce qui concerne la fixation sur la phase solide, les différentes formes augmentent linéairement en fonction du P ajouté. La pente des différentes droites varie avec la réactivité des éléments fixateurs. Elle est maximum pour P Al, plus faible pour P Fe et pratiquement nulle pour P Ca. Le P assimilable représente 55 à 60 % du P soluble ajouté, il est très proche de P Al.

La figure III correspond à l'échantillon de Madagascar (Mad 3) et à un sol du Cameroun Hy 82, également argileux et riche en fer libre (13,7 %) et de pH acide ; dans ce dernier la teneur en phosphore au départ est plus faible, mais il faut observer, d'après la pente respective des droites, que la réactivité de P Fe est du même ordre que celle de P Al ; le P Ca est très faible, le P soluble est nul jusqu'à 260 ppm de rajout, le P assimilable ne représente que 40 % du phosphore ajouté.

Dans les autres essais nous nous sommes limités à un rajout de 115 ppm de P, soit 250 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ce qui correspond néanmoins à des doses de 500 à 600 kg/ha.

La figure IV correspond — d'une part à un sol du Dahomey God 3 dont le P soluble représente plus de 5 % du P ajouté, c'est-à-dire qu'il est moins fixateur que les sols précédents ; il est argileux, de pH acide (5,2), moyennement riche en fer (3,2 %). La réactivité avec l'aluminium est supérieure à celle de P Fe ; le phosphore assimilable représente 63 % de la dose ajoutée ; — d'autre part à un sol de Côte d'Ivoire Ya 15, en zone de forêt humide ; il est argileux, assez riche en fer (7 %) et plus acide (4,5 %) ; dans ce cas, c'est la réactivité avec le fer qui est dominante, P Al a une pente plus faible ; quant à P Ca et P soluble, ils sont très bas. Il faut noter que P assimilable ne représente que 35 % de la dose ajoutée. La fixation préférentielle sur la forme P Fe diminue donc le phosphore assimilable.

Indépendamment de la richesse en fer libre et du pH acide, les sols des régions humides de Côte d'Ivoire et du Cameroun où les oxydes de fer sont plus hydratés montrent une réactivité plus rapide et plus importante de P Fe par rapport à P Al alors que c'est l'inverse dans le cas des zones sèches (Dahomey).

Sur la même figure sont représentés les résultats obtenus avec deux sols hydro-morphes, l'un acide, l'autre neutre et calcique ; dans ce dernier cas il faut noter la teneur particulièrement élevée en P soluble (S). C'est la forme P Ca qui est dominante par rapport à P Al et à P Fe, lequel est faible. Le phosphore assimilable (O) représente 100 % de la dose ajoutée.

Enfin la figure V correspond à une série de sols du Tchad, essentiellement ferrugineux tropicaux sur alluvions, de pH moyennement à faiblement acides (5,7 à 6,9). Les teneurs en argile et humus sont faibles, les teneurs en fer libre inférieures à 1 %, la proportion de P soluble (S) représente de 12 à 40 % du phosphore ajouté. La réactivité de P Al est importante, celles de P Fe et P Ca sont relativement faibles. P assimilable (O) constitue 80 % et plus de la dose ajoutée ; ces sols peuvent être considérés comme peu fixateurs.



PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX

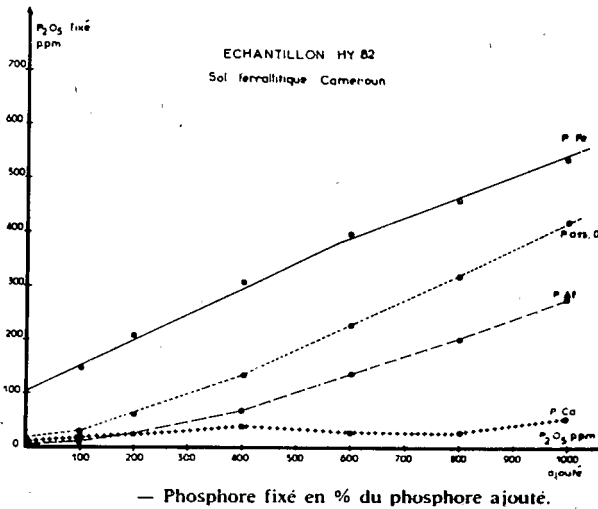
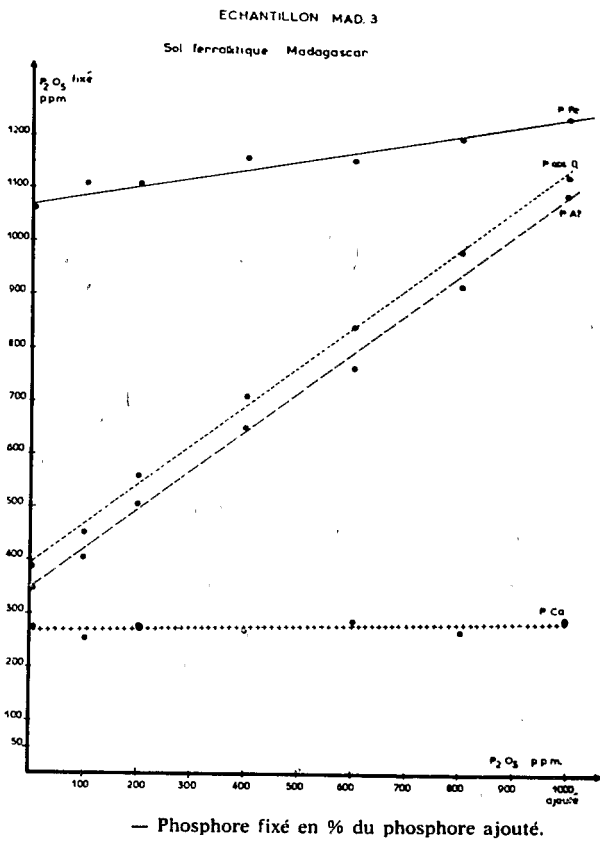
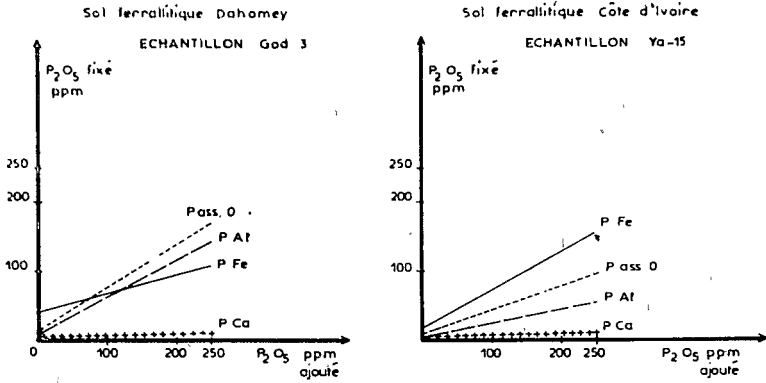
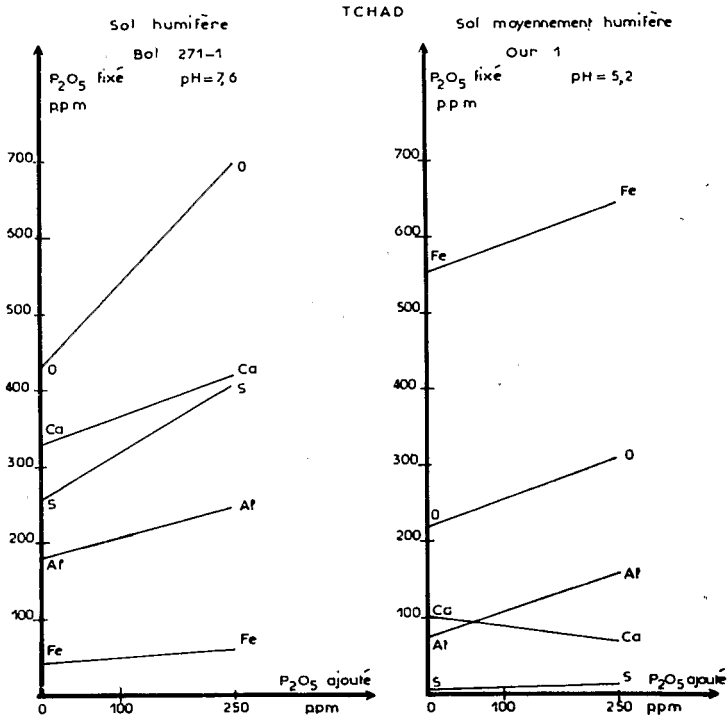


FIGURE III



— Phosphore fixé en % du phosphore ajouté.

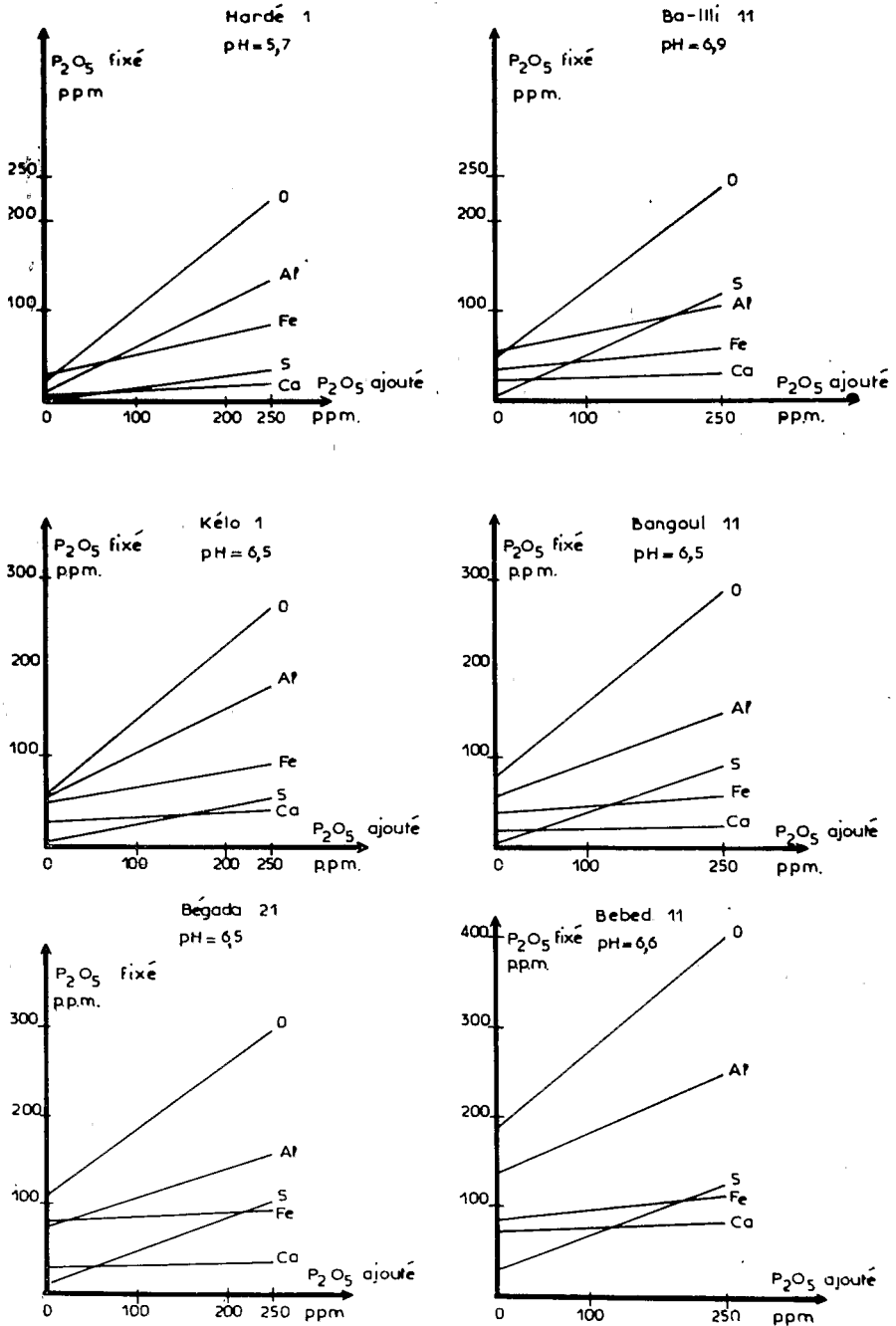
SOLS HYDROMORPHES



— Phosphore fixé en % du phosphore ajouté. (\*)

FIGURE IV

PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX



— Phosphore fixé en % du phosphore ajouté. Sols ferrugineux tropicaux. Tchad.

FIGURE V

## 5° MESURE DE FIXATION DANS DES ESSAIS EN POTS ET AUX CHAMPS.

Nous donnons ici un certain nombre de résultats de la thèse de LE BUANEC, présentée à Abidjan en 1973, sur les différents sols de Côte d'Ivoire dont le pouvoir fixateur a été indiqué au tableau 1 (Tehiri - Man - Beheké - Bania). LE BUANEC a réalisé des essais en pots d'après la méthode CHAMINADE (pots de 1 kg), en enrichissant le sol avec 7 doses de  $P_2O_5$  correspondant en kg à l'ha à 0 - 75 - 150 - 125 - 300 - 375 - 450 - 900 kg ; de même des essais de courbes de réponse en phosphore ont été mis en place sur le terrain, avec les quatre premières doses.

La plante test choisie a été le maïs. Trois récoltes successives sont effectuées au bout de trente-quatre jours avec replantation après chaque récolte.

Dans les essais aux champs, la courbe de réponse porte sur un premier cycle, avec étude des arrière-fumures au cours de deux à quatre cycles successifs de maïs.

Des analyses de plantes et de sols ont été réalisées.

En ce qui concerne les plantes, le phosphore a été dosé dans la feuille de l'épi au stade de la floraison mâle.

Dans les sols, les analyses suivantes ont été effectuées :

- P total par attaque nitrique ;
- P assimilable (méthode de SAUNDER et méthode OLSEN modifiée) ;
- Fractionnement (méthode CHANG et JACKSON).

De même l'analyse isotopique a été effectuée avec mesure de la valeur L de LARSEN.

Les différentes valeurs du P assimilable SAUNDER et OLSEN, ainsi que les différentes formes du phosphore (P Al, P Fe, P Ca) présentent une variation linéaire en fonction du P total ; elles présentent entre elles des corrélations statistiques élevées. Les résultats les plus précis sont obtenus avec les réactifs les plus puissants, extrayant de fortes quantités de phosphore, en particulier P total et P SAUNDER.

De même les liaisons statistiques entre les différentes formes de phosphore et la valeur L de LARSEN sont très étroites.

Par ailleurs l'analyse du phosphore de la feuille de maïs montre une liaison nette avec les valeurs des différentes formes de cet élément dans le sol.

Donc, quelle que soit la forme de phosphore considérée, il y a pour chaque catégorie de sol une corrélation forte entre la teneur en phosphore et l'alimentation minérale du maïs.

Par contre, la teneur en phosphore de chaque forme correspondant pour la plante à une carence nulle varie d'un sol à l'autre ; nous donnons ici quelques chiffres extraits du travail de LE BUANEC (tableau 6).

Quant à la méthode isotopique, elle permet comme les analyses chimiques, de diagnostiquer le comportement d'une catégorie de sol vis-à-vis de l'alimentation phosphatée de la plante, mais elle ne permet pas davantage de déterminer des niveaux valables pour des sols de catégories différentes.

Dans ces divers cas, les différences de comportement semblent surtout liées aux différences de texture.

TABLEAU 6. — Teneurs correspondant à une carence nulle (d'après Le Buanec)  
ppm P

	P % feuilles	P total ppm	P SAUNDER	P OLSEN	P Al	P Fe	P Ca	Argile %	N total %
Bania	0,312	108	49	32	24	21	11	7,1	0,36
Beheke	0,316	207	96	26	14	33	6	15,9	0,66
Man	0,297	269	106	72	47	71	10	25,1	1,4
Tehiri	0,312	347	138	26	12	40	11	24,9	1,91

## 6° QUELQUES RESULTATS DES ESSAIS CULTURAUX.

Il n'est pas possible dans cet article de reproduire les longs développements de LE BUANEC ; nous citerons seulement quelques exemples significatifs se rapportant à la fixation du phosphore.

Les essais de fixation présentés dans le tableau 2 montrent une fixation relativement forte pour le sol de Man, une fixation faible pour le sol de Bania, et des valeurs intermédiaires pour Tehiri et Béhéké.

### a) ESSAIS EN POTS

L'influence de cette fixation apparaît assez nettement dans les cultures en pots. Dans le cas du sol de Man en particulier, au premier cycle de culture il n'apparaît pas d'effets des doses croissantes de phosphore, sauf pour celle correspondant à la dose maximum de 900 kg par an.

L'effet diminue au deuxième cycle et s'annule au troisième.

A Béhéké, où le pouvoir fixateur est plus faible, la carence est corrigée dès la première dose de 75 kg par ha. L'effet de la fumure ne diminue que lentement dans les autres cycles.

A Bania on observe le même phénomène, mais la réponse diminue aux deuxième et troisième cycles pour les basses fumures, cela en raison des faibles réserves du sol en phosphore.

### b) ESSAIS DE TERRAIN.

Au cours du premier cycle cultural, dans les quatre emplacements, la carence en phosphore a été corrigée par un apport de 75 kg de  $P_2O_5$  à l'ha (le rendement obtenu est de 40 à 45 qx).

Dans le cas du sol de Man, la fixation qui a joué dans les essais en pots ne semble pas avoir d'action sur le terrain la première année ; par contre, au cours des trois cycles suivants, on observe une diminution assez nette et régulière des rendements. L'auteur indique que l'utilisation d'engrais solide au lieu d'engrais liquide peut diminuer le phénomène de fixation à court terme.

Si on prend le cas opposé, celui de Bania, le comportement sur le terrain, la première année, est identique au comportement en pots : la dose de 75 kg corrige la carence ; au cours du deuxième cycle l'arrière-effet de cette fumure est maximum sur le terrain alors que dans les essais en pots il n'y a que peu d'effet au deuxième cycle pour cette dose.

Le sol de Tehiri présente des propriétés intermédiaires.

Puisque nous nous limitons à l'étude de la fixation, il n'est pas possible de reprendre toutes les conclusions de la thèse de LE BUANEC ; néanmoins cet auteur montre que ce sont les essais en pots de végétation qui permettent le mieux de prévoir les divers comportements des sols ; en ce qui concerne les analyses, aucune des méthodes ne donne de résultats généralisables aux différents sols étudiés ; il propose en conséquence de définir des séries de sols en tenant compte de leur nature minéralogique, de leur texture, de leur matière organique, ce qui permettrait de prévoir leur comportement agronomique vis-à-vis de leur réaction aux engrais.

## 7° ACTION DU POUVOIR DE FIXATION SUR L'ALIMENTATION DES PLANTES.

Relativement au sujet traité, ici on peut tirer divers enseignements de cette excellente étude ; on remarque d'une part que dans les essais en pots c'est le pouvoir fixateur du sol et sa richesse initiale en phosphore qui jouent un rôle important ; en raison de l'intensité de prélèvement par les plantes, on aboutit, soit à une nette diminution de l'efficacité de l'engrais dans le sol le plus fixateur (Man), soit à un épuisement rapide au deuxième cycle dans le sol le moins fixateur, mais à faible réserve (Bania). D'autre part,

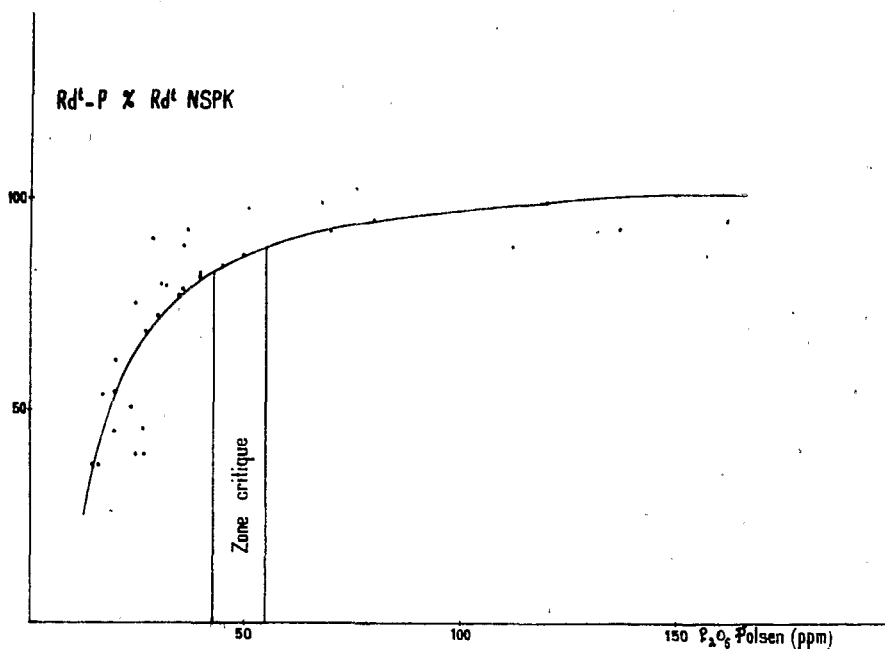
sur le terrain, l'épuisement moins intense résultant du volume plus important de sol atténue très fortement ces phénomènes, en ce qui concerne la fixation au premier cycle à Man, ou l'épuisement au deuxième cycle à Bania.

On peut faire deux autres remarques d'après le tableau d'analyses : d'une part les teneurs limites en P total et P SAUNDER suivent une progression assez parallèle et dans le même sens que le taux d'azote total ; d'autre part le P assimilable OLSEN ne suit pas la même variation, le sol fixateur de Man nécessitant une dose de P assimilable nettement supérieure à celle des autres sols peu fixateurs, qui montrent de leur côté des valeurs assez proches les unes des autres.

## 8° COMPARAISON AVEC LES RESULTATS D'AUTRES ETUDES.

Une étude de FRITZ et VALLERIE (Contribution à l'étude des déficiences minérales sous culture cotonnière du Nord-Cameroun) présente une trentaine de points d'essais sur divers types de sols (peu évolués, vertisols, ferrugineux, rouges tropicaux, halomorphes), où les teneurs en P (méthode OLSEN modifiée) sont mises en corrélation avec les rendements dans les parcelles sans phosphore exprimés en pourcentage du rendement de la fumure complète ; la figure jointe (fig. VI) montre une valeur critique aux environs de 45 à 55 ppm  $P_2O_5$ , soit 20 à 25 ppm de P, assez proche en définitive de la valeur donnée par LE BUANEC pour les sols peu fixateurs et correspondant à une carence nulle en phosphore (26 à 32).

Une autre étude du même genre faite par LATHAM (en 1971), en liaison avec l'I.R.C.T., sur le rôle du facteur sol dans le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire, donne pour vingt points d'essais une courbe similaire avec une valeur critique de 60 ppm de  $P_2O_5$ , soit 26,5 ppm P.



Relation phosphore O/sol - Rendement des parcelles - P. (Vallerie)

FIGURE VI

En conclusion, pour la détermination des seuils de carence d'après différentes méthodes d'analyse, il semble utile de classer les sols en différentes catégories, en fonction de leur nature minéralogique, de leurs caractéristiques de texture et de matière organique de l'horizon de surface, mais aussi vraisemblablement en fonction du degré de fixation du phosphore.

### 9° ESSAIS DE COURBES DE REPONSE AU PHOSPHORE DANS DES SOLS TRÈS FORTEMENT FIXATEURS.

Nous avons vu dans les chapitres précédents que dans les sols ferrallitiques sur plateau à Madagascar, la fixation du phosphore était très forte. Un certain nombre de courbes de réponse ont été effectuées par VELLY, CELTON, ROCHE, sur sol ferrallitique d'Ampangabé sur gneiss, sur terrasse ancienne à la Sakay, sur terrasses basaltiques à Ambohimandroso, etc.

Ces essais montrent que les rendements maximums peuvent être atteints pour des doses de phosphore beaucoup plus élevées qu'en Côte d'Ivoire, variant de 400 à plus de 1.000 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par ha. Ces rendements maximums, de l'ordre de 6 à 8 tonnes de maïs par ha, sont fonction de la fertilité potentielle de ces sols ; cependant on peut observer, sur les courbes de réponse au phosphore, que même les premières doses de 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par ha donnent des accroissements très significatifs, de l'ordre d'une tonne par ha ; il n'y a pas de blocage important de l'action de l'engrais dû à la fixation, qui est largement supérieure à cette dose dans les essais de laboratoire ; il y a néanmoins une certaine diminution de l'efficacité du phosphore pour les faibles doses, environ de moitié par rapport aux sols peu fixateurs. Les formes d'adsorption du phosphore dans le sol, même non solubles, demeurent donc en partie assimilables, ce qui justifie certaines techniques d'extraction par des réactifs chimiques plus actifs (fluorure d'ammonium, bicarbonate de soude, alcalis ou acides dilués, etc.). Une autre donnée importante concernant l'effet de rétrogradation du phosphore avec le temps est que dans les essais de Madagascar on observe une arrière-action du phosphore encore très visible même après cinq années.

### 10° EVOLUTION DU PHOSPHORE DANS LE SOL DANS UN ESSAI DE LONGUE DUREE.

Il s'agit d'un essai d'épuisement de longue durée, mis en place en 1956 par l'I.R.C.T. à la station agronomique de Bambari en R.C.A.

Le sol est de type ferrallitique faiblement désaturé, moyennement acide et riche en fer.

Dans l'essai, un témoin sans fumure est comparé à des parcelles recevant un paillage, du fumier, des engrais minéraux :

	En kg de coton par ha
T : culture continue de coton pendant 15 ans .....	1.400
Fumier + paille : 20 t de chaque, par an .....	2.000
Engrais minéral, 350 kg de superphosphate ou de phosphate bicalcique. par an 150 kg urée .....	2.500
100 kg KCl .....	
Fumier + paille + engrais (mêmes doses) .....	2.500

Des échantillons de sol ont été prélevés régulièrement dans les parcelles ; un échantillon de référence provient de la savane voisine. Les rendements dans le témoin sont élevés et ont peu varié au cours de l'essai. Malgré la réaction nette aux engrais, les sols étaient relativement peu carencés au départ.

Le tableau 7 montre l'évolution par rapport à la savane de P total, P assimilable, et des différentes formes, soit dans le témoin, soit dans les parcelles fertilisées au cours des quinze années.

L'appauvrissement que l'on observe sur le témoin se répercute sur toutes les formes, mais relativement plus sur P Fe que sur P Al ou P Ca. Inversement l'enrichissement par l'engrais accroît davantage P Al et P assimilable que P Fe.

La matière organique (fumier et paille) empêche l'appauvrissement global, mais maintient un équilibre des formes voisin de celui du témoin sans fumure.

Il semble donc que dans un essai de longue durée la plante s'alimente à partir des formes de fixation du phosphore considérées comme peu solubles, en particulier P Fe ; on peut penser que cette forme constitue une réserve qui s'équilibre partiellement avec P Al et empêche une diminution trop brutale du phosphore assimilable, ce qui explique en partie le maintien des rendements dans le témoin.

Par contre la reconstitution de P Fe à partir de P Al est moins rapide que l'enrichissement de ce dernier par les engrais solubles. La figure VII montre cette évolution dans les parcelles comparées 2 à 2.

TABLEAU 7. — Evolution des formes du phosphore en surface

Traitement	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable %	Formes de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %				
			soluble	P-Al	P-Fe	P-Ca	organique
F + P + E	1,15	0,200	0,015	0,195	0,233	0,081	0,434
(Fumier + Paille	1,16	0,270	0,025	0,260	0,240	0,075	0,429
+ Engrais)	0,860	0,170	0,021	0,140	0,167	0,055	0,384
Moyenne	1,06	0,21	0,020	0,198	0,213	0,078	0,416
F + P	0,730	0,065	0,005	0,050	0,110	0,037	0,304
(Fumier + Paille)	0,600	0,070	0,002	0,0610	0,114	0,034	0,314
	0,650	0,068	0,003	0,0560	0,127	0,038	0,419
Moyenne	0,660	0,068	0,003	0,0557	0,117	0,036	0,346
E	0,680	0,130	0,004	0,112	0,125	0,024	0,304
(Engrais)	0,810	0,175	0,015	0,162	0,170	0,039	0,319
	0,850	0,180	0,014	0,177	0,150	0,057	0,289
Moyenne	0,780	0,162	0,011	0,150	0,148	0,040	0,304
T	0,435	0,035	tr.	0,025	0,064	0,014	0,214
(Témoin)	0,440	0,020	tr.	0,016	0,060	0,019	0,394
	0,430	0,030	0,002	0,023	0,052	0,015	0,259
Moyenne	0,435	0,028	0,0007	0,021	0,059	0,016	0,289
Savane	0,650	0,073	0,010	0,035	0,175	0,024	0,300

## 11° CONCLUSION.

L'article présent n'est pas une étude originale mais un bref essai de synthèse à partir de travaux déjà publiés de plusieurs auteurs, dont nous nous sommes efforcé de ne pas modifier la pensée, tout en cherchant à tirer quelques enseignements généraux.

L'évolution des phosphates solubles apportés au sol conduit à une fixation sous différentes formes qui évoluent lentement avec le temps.



PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX

La fraction de l'ion phosphorique qui reste soluble définit le pouvoir fixateur du sol ; les autres fractions liées au sol, qui sont déterminées conventionnellement par la méthode CHANG et JACKSON, ou qui correspondent à des extraits de phosphore assimilable, varient d'une façon linéaire en fonction de l'enrichissement du sol.

Le rapport entre ces différentes fractions caractérise la nature et l'importance de la fixation ; par ailleurs elles sont en corrélation entre elles et avec l'alimentation des plantes pour un type de sol donné.

Cependant les valeurs correspondant à une carence nulle varient d'un sol à l'autre ; il est donc nécessaire pour interpréter ces valeurs de classer les sols par nature minéralogique, texture, taux de matière organique, et aussi pouvoir de fixation.

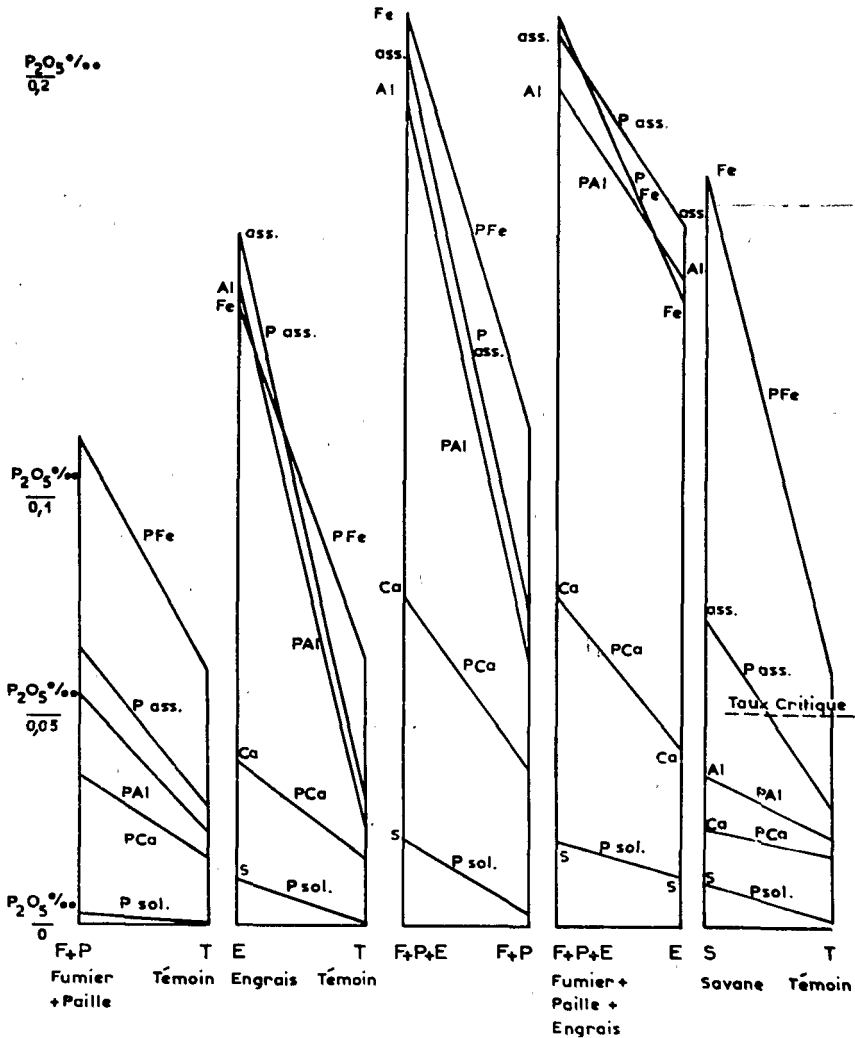


FIGURE VII. — Formes du phosphore dans les traitements (en surface)

La richesse globale en phosphore et le pouvoir de fixation jouent un rôle important dans l'alimentation de la plante, mais se manifestent plus intensément dans les pots de culture que dans le sol en place.

L'efficacité des engrais phosphatés est quelque peu diminuée dans les sols fortement fixateurs ; les accroissements de rendements restent néanmoins significatifs même aux doses moyennes, et les arrière-effets des fumures sont toujours visibles après plusieurs années. L'analyse du sol, en essais de longue durée, montre que la plupart des formes de fixation, même réputées peu solubles, interviennent dans l'alimentation phosphatée des plantes.

Reçu pour publication : mai 1974.

## Bibliographie

- BLANCHET R., STUDER R., CHAUMONT C. (1963). — Appréciation détaillée du niveau phosphorique des sols par des techniques chimiques simples. — C.R. Acad. Agr., 49, 348-355.
- CHANG S.C. et CHU W.K. (1961). — The fate of soluble phosphate applied to soils. — J. Soil Sci. Oxford, 12, 2, 266-293.
- CHAMINADE R. — Bilan de trois années d'expérimentation en vases de végétation. *Agr. Trop.*, nov. 1965.
- DABIN B. (1970). — Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. — « Coton et fibres tropicales », vol. XXV, 3, 1-44.
- DABIN B. (1971). — Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée. — Association Internationale des fabricants de superphosphates et d'engrais composés, « Phosphore et Agriculture », 58, 1-14.
- DEMOLON A., BOISCHOT P., LAFON J. (1953). — Réaction des divers sols à l'apport des engrais phosphatés solubles, son importance dans l'établissement des fumures. — *Ann. Agron.*, 4, 291-330.
- FRITZ A. et VALLERIE M. — I.R.C.T. - O.R.S.T.O.M. : Contribution à l'étude des déficiences minérales sous culture cotonnière du Nord Cameroun. — Rapport multigraphié, 55 pages.
- GACHON L. (1966). — Phosphore isotopiquement diluable et pouvoir fixateur des sols en relation avec la croissance des plantes (Ray-Grass). — C.R. Acad. France, 1108-1115.
- GACHON L. (1969). — Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols. — « Bulletin A.F.E.S. », 4, 17-33.
- LATHAM M. (1971). — Rôle du facteur sol dans le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. — Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol IX, 1.
- LE BUANEC B. (1973). — Contribution à l'étude de la carence en phosphore des sols sur granit en Côte d'Ivoire. — Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université d'Abidjan le 7 juin, 130 pages.
- OLIVER R. (1972). — Etude du statut phosphorique des sols de Madagascar (3<sup>e</sup> partie), I.R.A.T. Madagascar. — Rapport de recherche 1971, document 313, 29 pages.
- SHELTON J.E. et COLEMAN N.T. (1968). — Fractionnement du phosphore inorganique et relations avec les valeurs résiduelles de fortes applications de phosphore, sur des sols à forte capacité de fixation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 1, 91-94.
- VELLY J., CELTON J., ROCHE P. (1968). — Fertilisation de redressement après diagnostic des carences minérales sur les sols de culture sèche à Madagascar. — C.R. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, I.R.A.T., 1, 874-915.
- WILD A. (1950). — The retention of phosphate by soil. — J. Soil Sci., 1, 2, 221.

## PHOSPHATE EVOLUTION IN ACID SOILS OF TROPICAL REGIONS

### SUMMARY

*This paper deals With the fixation of phosphore in tropical acid soils; what happens in a short time, with different forms of phosphore in the solid phase; the action of the fixation power on plant alimentation, either in a pot or in the soil on the spot; the evolution of phosphore in the soil during long trials; and, finally, the use of fixed forms by the plant.*

(Extrait de Science du Sol - Bulletin de l'A.F.E.S., n° 2 - 1974.)

## Évolution des phosphates en sols acides des régions tropicales

par B. DABIN

Laboratoires centraux — O.R.S.T.O.M. — Bondy (France)

---

19 DEC. 1974

O. R. S. T. O. M.

Ex 1

Collection de Référence

n° B7276 Pado