

ASSOCIATION INTERNATIONALE DES FABRICANTS DE SUPERPHOSPHATE
ET D'ENGRAIS COMPOSÉS LTD
PARIS

"Phosphore et Agriculture" N° 58, Décembre 1971

**ÉVOLUTION DES ENGRAIS PHOSPHATÉS
DANS UN SOL FERRALLITIQUE
DANS UN ESSAI DE LONGUE DURÉE ***

B. DABIN

avec la collaboration de M^{me} NGUYEN TAN LOI
(O.R.S.T.O.M.***, Bondy, France)

1. INTRODUCTION

Le problème du phosphore dans les sols a donné lieu à un nombre considérable d'études et de publications, d'une part en raison de l'importance de cet élément comme facteur limitant, d'autre part en raison de la complexité des relations entre l'ion PO_4 et les divers constituants du sol.

L'étude présente ne prétend pas répondre à toutes les questions concernant le phosphore, mais apporte seulement quelques résultats analytiques sur des parcelles d'essais en République Centrafricaine, où des apports d'engrais minéraux ont été effectués pendant plus de dix ans en culture cotonnière à la station expérimentale de Bambari.

Des analyses très complètes ont été effectuées sur ces essais concernant la composition des plantes, la structure du sol, la matière organique, les éléments minéraux. Il ne sera donné ici qu'un aspect très partiel de ces études, un rapport plus complet sera rédigé ultérieurement en collaboration avec l'I.R.C.T. responsable de ces essais.

Le sujet est donc limité au devenir de l'anion phosphorique dans les sols, soit en culture continue sans engrais, soit avec apport d'engrais contenant du phosphore, soit avec apport de matière organique, fumier et paille, soit avec une fumure complète organique et minérale.

Les analyses ont été effectuées en surface et à faible profondeur, elles concernent l'ensemble des formes du phosphore et le phosphore assimilable.

Malgré son aspect très incomplet, cette étude permet peut-être de répondre à certaines questions que se posent encore les utilisateurs d'engrais dans les sols tropicaux, en particulier celles de l'utilisation à long terme, de l'insolubilisation et de la pénétration des engrais phosphatés dans les sols de type ferrallitique riches en sesquioxydes et à pH acide.

2. METHODES D'ETUDE

Nous n'avons pas analysé la totalité des parcelles, mais nous avons choisi au hasard trois parcelles de chaque traitement.

* Essai d'épuisement réalisé par l'I.R.C.T. à la station de Bambari, R.C.A.

** Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

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

10 MARS 1972

Collection de Référence¹
n° 5344 Pado.

Sur chaque échantillon, prélevé en surface et en profondeur (0-15 cm, 15-30 cm), ont été effectuées les analyses suivantes :

- Phosphore total, méthode à l'acide nitrique concentré.
- Phosphore assimilable (méthode Olsen modifiée, mise au point à l'O.R.S.T.O.M., Bondy).
- Formes du phosphore :
 - phosphore soluble, phosphore minéral (lié à l'aluminium, au fer, au calcium), phosphore organique (méthode Chang et Jackson, adaptée au Technicon, à l'O.R.S.T.O.M., Bondy).

De nombreuses analyses complémentaires ont été effectuées sur ces échantillons, mais ne figurent pas dans ce rapport.

3. PROBLEME DU PHOSPHORE ASSIMILABLE

La méthode du phosphore assimilable utilisée, a été présentée en 1967 au colloque de Tananarive sur la fertilité des sols tropicaux. C'est la méthode d'Olsen au bicarbonate de soude, modifiée par l'addition de fluorure d'ammonium et de soude (FNH_4 0,5 N + CO_3NaH 0,5 N + NaOH q.s. - pH 8,5).

Cette méthode est appliquée régulièrement depuis plus de cinq ans ; elle est d'un emploi assez aisé du point de vue chimique, facile à utiliser en routine, et a donné jusqu'à présent de bonnes corrélations avec les résultats culturaux.

Un certain nombre de résultats ont été publiés, soit par nous-même (1967-1970), soit par d'autres chercheurs (Latham, 1970 - Vallerie, 1970) concernant les liaisons phosphore assimilable — réponse aux engrais, en culture cotonnière. La teneur critique dans le sol, c'est-à-dire correspondant à une forte probabilité de réponse significative aux engrais, se situe vers 50 ppm P_2O_5 , ceci pour un nombre déjà important de points d'essais situés principalement en Côte d'Ivoire et au Cameroun, ainsi qu'au Tchad.

L'intérêt de cette méthode par rapport aux méthodes classiques (Truog, Dyer, Bray, Saunder, Olsen simple) est, d'une part, de fournir une gamme de variations assez étalée, les différences mesurables étant de ce fait très supérieures aux erreurs analytiques possibles, ce qui n'est pas toujours le cas pour les autres méthodes, d'autre part, d'être utilisable pour des sols de pH variable.

Néanmoins, aucune méthode utilisant un réactif chimique n'est une panacée, les normes d'interprétation pouvant varier en fonction des cultures et des climats ; cependant cette méthode semble avoir un domaine d'application étendu pour la plupart des cultures sèches de la zone intertropicale.

4. METHODE DE FRACTIONNEMENT

La méthode de fractionnement de Chang et Jackson est à présent largement utilisée ; nous avons facilité son exécution en laboratoire de routine grâce à l'emploi des auto-analyseurs. La méthode comporte l'extraction des formes minérales solubles et adsorbées (P sol - P Al - P Fe - P Ca), la détermination du

phosphore organique et celle du phosphore total. Les formes dites d'inclusion sont obtenues par différence.

5. ESSAI ETUDIE

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

La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 1.500 mm, le sol est de type ferrallitique faiblement désaturé.

Les parcelles sont cultivées en coton en culture continue.

On compare un témoin sans fumure avec des parcelles recevant du paillage, du fumier, des engrais minéraux.

Les traitements étudiés dans ce rapport sont les suivants :

- T = culture de coton continue depuis 1956, sans engrais.
- Fumier + Paillage = 20 t/ha par an de fumier,
20 t/ha par an de paillis.
- Engrais = 350 kg/ha de superphosphate ou bicalcique,
150 kg/ha d'urée,
100 kg/ha de KCl.
- Fumier + Paillage + Engrais (mêmes doses).

A titre de comparaison nous donnons également l'analyse d'une parcelle vierge sous savane.

Il est assez caractéristique de constater que, après plus de onze années d'essais, les rendements des différentes parcelles, y compris le témoin, se sont maintenus constamment à un niveau assez élevé :

- environ 1 400 kg/ha de coton-graine dans le témoin,
- plus de 2 000 kg/ha avec fumier et paille,
- plus de 2 500 kg/ha avec fumier, paille et engrais,
- rendement équivalent avec engrais seul contenant du potassium.

L'apport de potassium à l'engrais amène un accroissement de rendement significatif par rapport à la fumure NPS.

Nous donnons ces chiffres moyens à titre indicatif. Leur interprétation nécessiterait l'étude de tous les facteurs limitants (structure physique, teneur en azote, etc.) qui sera présentée ultérieurement.

Les différents fertilisants agissent d'une façon complexe sur ces divers facteurs, mais, comme nous nous limitons ici à l'étude du phosphore, on peut dire seulement que le sol n'a pas encore atteint un degré de dégradation suffisamment intense pour provoquer une chute brutale des rendements. Nous verrons d'ailleurs que l'on peut justifier cette remarque en interprétant les résultats d'analyse pour le phosphore.

6. ANALYSE DES DIFFERENTES PARCELLES

Dans les deux premiers tableaux, nous donnons les résultats d'analyse détaillés pour toutes les parcelles ; dans les tableaux suivant, seules les teneurs moyennes des trois parcelles de chaque traitement sont présentées.

Tableau I
Evolution des formes du phosphore en surface

| Traitement | P ₂ O ₅ total ‰ | P ₂ O ₅ assi- milable ‰ | Formes de P ₂ O ₅ ‰ | | | | |
|-----------------|---|--|---|--------|-------|-------|-----------|
| | | | 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) | 0,360 | 0,170 | 0,021 | 0,140 | 0,167 | 0,055 | 0,334 |
| 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 | | 0,073 | 0,010 | 0,035 | 0,175 | 0,024 | |

Tableau II
Evolution des formes du phosphore en profondeur

| Traitement | P ₂ O ₅ total ‰ | P ₂ O ₅ assi- milable ‰ | Formes de P ₂ O ₅ ‰ | | | | |
|-----------------|---|--|---|-------|-------|-------|-----------|
| | | | soluble | P-Al | P-Fe | P-Ca | organique |
| F+P+E | 0,99 | 0,148 | 0,007 | 0,142 | 0,193 | 0,058 | 0,364 |
| (Fumier+Paille | 0,63 | 0,110 | 0,004 | 0,106 | 0,140 | 0,039 | 0,329 |
| +Engrais) | 0,650 | 0,080 | 0,001 | 0,065 | 0,125 | 0,035 | 0,324 |
| Moyenne | 0,76 | 0,113 | 0,004 | 0,104 | 0,153 | 0,044 | 0,339 |
| F+P | 0,63 | 0,045 | 0,002 | 0,035 | 0,090 | 0,028 | 0,314 |
| (Fumier+Paille) | 0,86 | 0,065 | 0,001 | 0,053 | 0,114 | 0,028 | 0,314 |
| | 0,590 | 0,050 | tr. | 0,047 | 0,105 | 0,027 | 0,314 |
| Moyenne | 0,693 | 0,053 | 0,001 | 0,045 | 0,103 | 0,028 | 0,314 |
| E | 0,530 | 0,055 | tr. | 0,045 | 0,086 | 0,015 | 0,279 |
| (Engrais) | 0,580 | 0,105 | 0,01 | 0,086 | 0,110 | 0,025 | 0,259 |
| | 0,580 | 0,070 | tr. | 0,053 | 0,100 | 0,019 | 0,234 |
| Moyenne | 0,563 | 0,077 | 0,003 | 0,061 | 0,099 | 0,020 | 0,257 |
| T | 0,420 | 0,020 | tr. | 0,021 | 0,06 | 0,013 | 0,224 |
| (Témoin) | 0,480 | 0,025 | tr. | 0,020 | 0,065 | 0,020 | 0,299 |
| | 0,450 | 0,020 | tr. | 0,020 | 0,050 | 0,010 | 0,234 |
| Moyenne | 0,450 | 0,022 | tr. | 0,020 | 0,058 | 0,014 | 0,252 |
| Savane | | 0,025 | 0,009 | 0,023 | 0,057 | 0,017 | |

Tableau III

*Equilibre des formes du phosphore en pourcentage (moyenne de 3 parcelles)
Equilibre à long terme*

EN SURFACE

| Traitement | Somme des formes minérales ‰ ‰ ₁₀₀ | P ₂ O ₅ ‰ de la somme des formes minérales | | | | | P ₂ O ₅ ‰ du total | | |
|------------|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---|---|
| | | P ₂ O ₅ assimilable | P ₂ O ₅ soluble | P ₂ O ₅ Al | P ₂ O ₅ Fe | P ₂ O ₅ Ca | P ₂ O ₅ minéral | P ₂ O ₅ organique | P ₂ O ₅ d'inclusion |
| F+P+E | 0,510 | 42 | 4,1 | 38,3 | 42,2 | 15,2 | 48 | 40 | 12 |
| F+P | 0,212 | 32 | 1,6 | 26 | 55 | 17,2 | 34 | 52 | 14 |
| Englais | 0,349 | 47 | 3 | 43 | 43 | 11,3 | 44 | 39 | 17 |
| Témoin | 0,097 | 29,5 | 1 | 22 | 61 | 16,5 | 22,5 | 66 | 11,5 |
| Savane | 0,244 | 30 | 4,2 | 14,5 | 71 | 10 | | | |

EN PROFONDEUR

| Traitement | Somme des formes minérales ‰ ‰ ₁₀₀ | P ₂ O ₅ ‰ de la somme des formes minérales | | | | | P ₂ O ₅ ‰ du total | | |
|------------|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---|---|
| | | P ₂ O ₅ assimilable | P ₂ O ₅ soluble | P ₂ O ₅ Al | P ₂ O ₅ Fe | P ₂ O ₅ Ca | P ₂ O ₅ minéral | P ₂ O ₅ organique | P ₂ O ₅ d'inclusion |
| F+P+E | 0,305 | 37 | 1,19 | 33,5 | 50 | 14,5 | 40 | 45 | 15 |
| F+P | 0,177 | 30 | 0,6 | 25,3 | 58,7 | 15,8 | 26 | 46 | 28 |
| Engrais | 0,189 | 41,2 | 1 | 33 | 54 | 10,7 | 34 | 45 | 21 |
| Témoin | 0,093 | 23,4 | tr. | 21,5 | 62 | 17,4 | 20 | 57 | 23 |
| Savane | 0,106 | 23,5 | 8,4 | 22 | 54 | 16 | | | |

Tableau IV

*Equilibre des formes du phosphore en pourcentage (moyenne de 3 parcelles)
Equilibre à court terme P₂O₅ ‰ du P₂O₅ soluble ajouté (250 ppm)*

EN SURFACE

| Traitement | P ₂ O ₅ assimilable | P ₂ O ₅ soluble | P ₂ O ₅ Al | P ₂ O ₅ Fe | P ₂ O ₅ Ca |
|------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| F+P+E | 96 | 16,5 | 84,5 | 20,5 | 5,9 |
| F+P | 104 | 17,6 | 81,2 | 29 | 6,5 |
| E | 109 | 6,9 | 94,4 | 18,9 | 3,3 |
| T | 94,3 | 7,9 | 84,4 | 29,7 | 2,9 |

EN PROFONDEUR

| | | | | | |
|-------|-----|------|----|------|-----|
| F+P+E | 94 | 16,5 | 80 | 32 | 8,4 |
| F+P | 89 | 13,3 | 75 | 33 | 6,3 |
| E | 101 | 9,3 | 90 | 9,4 | 2,4 |
| T | 100 | 10,6 | 81 | 30,5 | 4,3 |

Ces tableaux indiquent :

a) la variation des teneurs absolues en P_2O_5 (mg/g) total, assimilable, formes minérales, forme organique, en surface et en profondeur, pour les divers traitements (tableaux I et II) ;

b) la variation des mêmes valeurs en pourcentage de P minéral ou de P total (tableau III) ;

c) la répartition des formes d'adsorption en temps court de P soluble en pourcentage de P_2O_5 soluble ajouté (tableau IV).

Ces deux dernières valeurs permettent de prévoir l'évolution des engrais phosphatés apportés au sol, d'une part au moment de leur introduction, d'autre part après plusieurs années de culture et de fertilisation. La dernière méthode est basée sur un test de laboratoire. Elle fournit des renseignements intéressants sur la nature et l'importance des facteurs de fixation du phosphore dans les sols (on met le sol en contact pendant trois jours avec 250 ppm de P_2O_5 soluble et, après dessiccation ménagée, on analyse le phosphore assimilable et les différentes formes d'adsorption).

Dans une publication récente (1970), nous avons montré que les formes du phosphore adsorbées en temps court évoluaient très lentement dans les sols et que le test de fixation en laboratoire pouvait être considéré comme représentatif du comportement du phosphore dans le sol au cours des quelques mois de culture qui suivent l'application de l'engrais. Au cours des années suivantes, il se produit des équilibres d'échange entre les différentes formes. Ces changements peuvent être appréciés en comparant les valeurs relatives des formes du phosphore à différents stades de fertilisation.

Les tableaux de chiffres sont complétés par des graphiques. Dans les graphiques 1 et 2, les moyennes des valeurs absolues (en ‰) des différentes formes de P minéral, déjà présentées aux tableaux I et II, sont portées en ordonnées et les traitements sont comparés deux à deux.

Dans le graphique 3, pour chaque traitement, nous comparons, d'une part les valeurs relatives (en ‰) des différentes formes de P minéral (tableau III), d'autre part les valeurs relatives des différentes formes d'adsorption de P soluble obtenues par un test rapide de fixation au laboratoire. Les premières valeurs représentent l'équilibre à long terme, les secondes l'équilibre à court terme tel qu'il serait réalisé peu après l'apport des engrais.

7. INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation est assez complexe, sauf en ce qui concerne la comparaison savane et témoin sans fumure où l'on peut étudier l'appauvrissement absolu du sol par la culture continue. En ce qui concerne les autres parcelles, l'interprétation est plus difficile car il y a une concurrence entre un appauvrissement continu, qui peut être variable en fonction des rendements, et un enrichissement régulier dû aux traitements qui sont renouvelés chaque année. Mais en ne

comparant que les parcelles cultivées, traitées et non traitées, on peut estimer l'enrichissement absolu ou relatif dû à chaque traitement.

A) Culture continue par rapport à la savane

En ce qui concerne la savane, nous ne possédons actuellement que les valeurs de P minéral. Le phosphore lié au fer (P-Fe) domine très largement. Par contre, P assimilable se situe à une valeur nettement plus basse bien que légèrement supérieure au taux critique (50 ppm). Cette grande différence permet de penser que P-Fe n'est pas directement assimilable dans ces sols. Par contre, P assimilable représente la somme P-Al + P-Ca + P soluble. P soluble est loin d'être négligeable (10 ppm). On sait par des études antérieures que P soluble est généralement en équilibre avec P-Ca et indique la solubilité plus ou moins grande de cette forme.

Sous l'influence de la culture continue, toutes les formes diminuent : le phosphore soluble devient presque nul, P-Ca et P-Al diminuent moyennement, et, paradoxalement, c'est P-Fe qui diminue le plus fortement en valeur absolue et même en valeur relative. Le phosphore assimilable diminue proportionnellement à la somme des formes, mais il se rapproche de plus en plus de P-Al.

Cela peut s'expliquer par la disparition de P soluble, mais aussi par une perte d'assimilabilité de P-Ca. Cette perte d'assimilabilité est due vraisemblablement à l'acidification progressive du sol sous l'action de la culture.

Dans les sols très cultivés, il semble donc que P-Al reste une des seules formes directement assimilables, mais alors on devrait assister à sa disparition rapide. En fait c'est P-Fe qui disparaît principalement. On peut émettre l'hypothèse que cette forme se comporte comme une réserve non directement assimilable, mais qui peut s'équilibrer avec P-Al, et reconstituer partiellement cette dernière forme au fur et à mesure de son prélèvement par les plantes. Cette perte de P-Fe peut correspondre à la minéralisation de complexes insolubles P_2O_5 - Fe - acides humiques (différents du phosphore organique), mais peut provenir également de composés d'adsorption sur le fer amorphe qui s'équilibrent avec l'aluminium de l'argile.

En conclusion, toutes les formes minérales ou complexées du phosphore participent à l'alimentation des plantes, les formes assimilables diminuent moins vite que les réserves en P-Fe.

Il faut signaler enfin une perte importante de matière organique entre savane et témoin, le taux de carbone passant de 1,6 % à 1%. Cette dernière valeur est encore moyenne en valeur absolue, ce qui explique les rendements encore assez élevés du témoin.

En profondeur (15 - 30 cm), on ne constate qu'une très faible diminution des différentes formes minérales, à part P soluble ; on peut en conclure que dans les sols non fertilisés cet horizon participe peu à l'alimentation phosphatée du cotonnier.

B) Fertilisation par fumier et paillis seul

En surface :

Par rapport au témoin, on observe un accroissement des différentes formes minérales, mais les proportions relatives de ces formes sont du même ordre. Le phosphore libéré par la décomposition de la matière organique sert en partie à l'alimentation des plantes ; une autre partie enrichit les différents sites de fixation.

Si l'on compare avec la savane, on observe le maintien de P assimilable, l'accroissement des formes P-Al et P-Ca, mais une diminution nette de P-Fe. On assiste donc au maintien ou au léger accroissement des formes facilement échangeables, mais à une perte importante des réserves. Cette perte n'est pas aussi considérable que chez le témoin. La quantité de phosphore provenant de la matière organique ne compense que partiellement les exportations. Elle permet le maintien du phosphore assimilable et l'économie d'une partie du phosphore des réserves minérales. Le bilan global des formes minérales est cependant légèrement déficitaire en surface.

Si l'on considère la fixation à court terme de P soluble dans le témoin et dans la parcelle (fumier + paille), c'est la forme P-Al qui est largement prédominante, mais la fixation sur le fer reste notable. L'apport de matière organique modifie peu cet ordre de fixation, mais peut expliquer malgré tout l'accroissement relatif de P-Al : le phosphore minéralisé se fixe de préférence sous cette forme. Un autre point intéressant est l'amélioration nette du phosphore soluble dans la parcelle matière organique par rapport au témoin. Cette amélioration peut s'expliquer par un net enrichissement en bases dans la parcelle matière organique par rapport à T (les analyses ont été faites mais ne figurent pas dans cette note) ; à longue échéance, cette fraction de P soluble non fixée par Al s'équilibre avec P-Ca et explique l'accroissement de cette forme.

En résumé, l'apport de matière organique modifie peu l'équilibre P-Al/P-Fe, mais améliore l'équilibre P soluble/P-Ca (par rapport au témoin). Elle permet le maintien du phosphore assimilable, mais n'empêche pas la diminution des réserves.

En profondeur

On note un accroissement absolu de toutes les formes minérales, excepté P soluble ; P assimilable augmente nettement.

Les apports de matière organique parviennent en partie jusqu'à cette profondeur, peut-être par le labour, peut-être directement, et les exportations à ce niveau sont faibles comme nous l'avons vu précédemment.

C) Fertilisation par l'engrais seul

En surface

L'apport d'engrais E modifie très fortement les équilibres de fixation par rapport au témoin. On observe des accroissements considérables des teneurs en P

assimilables et P-Al qui sont étroitement parallèles. Ces accroissements s'expliquent par la relation particulière de P-Al avec le phosphore soluble des engrais. Comme les apports d'engrais sont faits chaque année, cette forme de fixation n'évolue que partiellement vers des formes plus stables, et reste prédominante. Elle constitue la quasi-totalité du phosphore assimilable qui atteint des taux élevés (160 ppm). Bien que P_2O_5 soit apporté sous forme de bicalcique ou super, la fraction qui demeure sous forme soluble est assez faible. On constate une augmentation de P-Ca, mais qui n'est pas supérieure à celle constatée avec la matière organique seule ; en revanche P-Fe montre une augmentation considérable par rapport au témoin et sa valeur tend à rejoindre la quantité existant à l'origine sous savane.

En raison de l'important excès qu'elle présente, la quantité de P_2O_5 apportée sous forme d'engrais suffit à assurer l'alimentation des plantes, à réduire presque complètement l'épuisement des réserves (P-Fe) et à accroître dans de fortes proportions les formes facilement échangeables (P-Al). La faible augmentation relative de P-Ca est due à un certain appauvrissement en bases (moins que dans T) et à une perte également importante de matière organique ($C = 10\%$).

L'équilibre à court terme dans la parcelle engrais est très proche de celui que l'on constate dans le témoin (forte prédominance de P-Al sur P-Fe, faibles proportions de P soluble et P-Ca).

En profondeur

On note une amélioration des teneurs voisines de celles obtenues avec la matière organique en ce qui concerne P-Fe ; par contre P assimilable et P-Al augmentent davantage et P-Ca augmente moins. Malgré tout il faut noter que les engrais employés seuls peuvent pénétrer en profondeur et accroître nettement le phosphore assimilable.

D) Fertilisation avec matière organique + engrais

Dans le graphique, nous comparons, d'une part, matière organique + engrais et matière organique seule, d'autre part, matière organique + engrais avec engrais seul. L'action de l'engrais sur la matière organique est comparable à l'action de l'engrais sur le témoin ; l'action de la matière organique sur l'engrais est comparable à l'action de la matière organique sur le témoin. En ce qui concerne les formes de P assimilable, P-Fe, P-Al et P-Ca, l'action des traitements combinés n'est pas supérieure à la somme des actions des traitements isolés. Par contre, en ce qui concerne P soluble, l'action combinée de la matière organique et de l'engrais est légèrement supérieure à la somme des actions isolées. Ceci se traduit également dans la fixation à court terme. Si l'on compare le traitement (F + P + E) avec le traitement (E), on observe que les équilibres P-Fe/P-Al sont assez peu modifiés par la matière organique, alors que le rapport P soluble/P-Ca est amélioré par l'apport de matière organique.

Ces différences existent aussi en profondeur, mais sont sensiblement atténuées.

En résumé, si l'on considère les teneurs en valeurs absolues, on constate : en surface, les fractions P assimilable et P-Al égalent ou dépassent P-Fe, en pro-

fondeur, la forme liée au fer reste prédominante ; au cours de sa pénétration dans le sol la forme P-Al rétrograde progressivement sous forme de P-Fe.

De toute façon l'association de matière organique et d'engrais provoque un enrichissement du sol ; de toutes les formes du phosphore, même par rapport au sol d'origine sous savane, le pourcentage du phosphore assimilable est accru par rapport aux autres formes.

E) Autres formes de phosphore

En ce qui concerne le phosphore organique et le phosphore dit d'inclusion, ces formes évoluent d'une façon comparable à l'ensemble des formes minérales. Elles sont donc susceptibles de libérer leur phosphore ; il apparaît cependant que, dans le témoin sans engrais, le phosphore organique semble la forme de réserve la moins accessible, car sa proportion relative augmente fortement.

8. RESUME ET CONCLUSION

Nous avons présenté l'analyse d'un essai de longue durée de l'I.R.C.T. à Bambari comportant, sous culture de coton continue, des parcelles sans fertilisants, des parcelles avec engrais, avec matière organique, avec les deux réunis. L'analyse du phosphore assimilable et des formes de phosphore montre, dans le témoin par rapport à la savane, un appauvrissement de toutes les formes, mais P assimilable diminue moins vite que la réserve en P-Fe. Par rapport aux parcelles fertilisées, P d'inclusion diminue également dans le témoin, seul P organique montre une certaine résistance à la minéralisation. L'apport de matière organique permet le maintien de P assimilable à son taux d'origine, mais n'empêche pas la diminution des réserves en P-Fe. L'apport d'engrais accroît considérablement la teneur en P assimilable et permet le maintien des réserves en P-Fe, l'apport d'engrais et de matière organique accroît fortement P assimilable, augmente le phosphore soluble et la forme liée au calcium, et accroît toutes les réserves, en particulier P-Fe, par rapport au sol d'origine sous savane. En profondeur il n'y a qu'un très faible appauvrissement en P_2O_5 dans le témoin ; par contre toutes les parcelles fertilisées montrent un accroissement équilibré des différentes formes, en particulier P assimilable. Cet essai montre l'action efficace de l'engrais même employé seul dans un sol ferrallitique, et l'absence de rétrogradation irréversible comme on pouvait le craindre ; la matière organique agit par l'apport supplémentaire de phosphore, et aussi l'apport de calcium qui empêche l'acidification ; l'appauvrissement en carbone des parcelles n'est pas encore suffisant pour que l'action spécifique de la matière organique sur les formes de fixation apparaisse nettement (on observe cependant une dégradation de la structure). Bien que ce type de sol soit assez répandu, on ne peut complètement généraliser, car il existe d'autres sols plus riches en fer et plus acides, où la rétrogradation sous forme de P-Fe est plus intense ; mais il semble que cette rétrogradation joue essentiellement à court terme en diminuant la proportion de P échangeable accessible aux racines et le coefficient d'utilisation annuel de l'engrais, mais n'empêche pas l'utilisation à long terme des réserves ainsi constituées.

OUVRAGES CONSULTÉS

Coton et Fibres Tropicales :

- Activité de P.I.R.C.T. en 1959, vol. XVI, fas. 2, août 1961 ;
- Activité de P.I.R.C.T. en 1966-67, vol. XXIII, fas. 1, mars 1968 ;
- Activité de P.I.R.C.T. en 1967-68, vol. XXIV, fas. 1, mars 1969.

DABIN B. — Application des Dosages Automatiques à l'Analyse du Sol :

- *Cahiers ORSTOM Pédologie*, 1965, 3-4, 335-366, 1^{re} partie.
- *Cahiers ORSTOM Pédologie*, 1967, 5, 3, 257-286. 3^{me} partie.

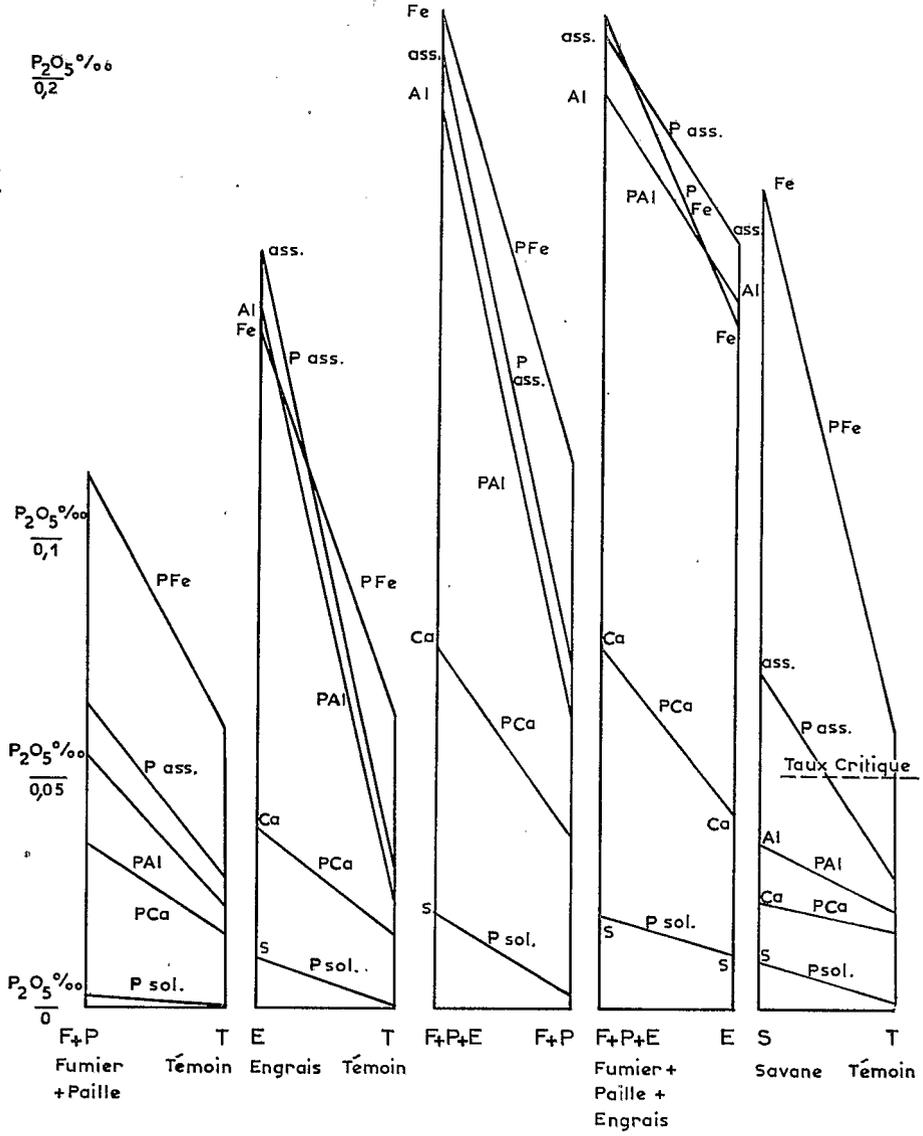
DABIN B. — Sur une Méthode d'Analyse du Phosphore dans les Sols Tropicaux. — *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, nov. 1967, publ. IRAT*, 1, 99-115.

DABIN B. — Méthode d'Etude de la fixation du Phosphore sur les Sols Tropicaux. — *Coton et Fibres Tropicales*, vol. XXV, fasc. 3, septembre 1970.

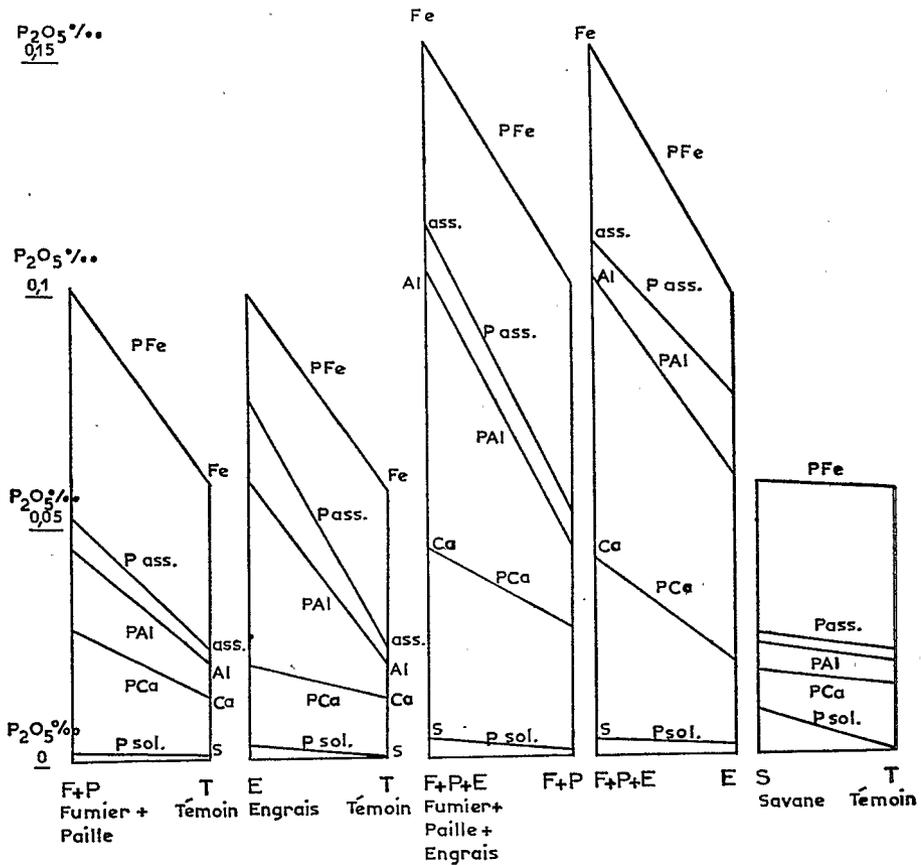
LATHAM M. — Rôle du Facteur Sol dans le Développement du Cotonnier en Côte-d'Ivoire. — *Cahiers ORSTOM Pédologie*, vol. IX, n° 1-1971, p. 29-42.

VALLERIE M. & FRITZ A. — Contribution à l'Etude des Déficiences Minérales en Culture Cotonnière au Nord Cameroun. — *Ronéo ORSTOM, IRCT, République Fédérale du Cameroun*, 1971, 58 pages.

Graphique 1
 Formes du phosphore dans les traitements
 (en surface).



Graphique 2
 Formes du phosphore dans les traitements
 (en profondeur : 15 - 30 cm).



Graphique 3

Equilibre à court terme et à long terme des formes de phosphore (en %).

