

## SUR UNE METHODE D'ANALYSE DU PHOSPHORE DANS LES SOLS TROPICAUX

Par

B DABIN

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

Services Scientifiques Centraux

BONDY (France)

### ALIMENTATION PHOSPHATEE DES PLANTES DANS LES SOLS TROPICAUX

Il est admis que les sols tropicaux sont en majorité très pauvres en acide phosphorique, ce qui les maintient à un niveau de fertilité souvent très bas, le phosphore agissant non seulement sur l'alimentation des plantes supérieures, mais aussi sur certains métabolismes biologiques du sol qui sont générateurs de fertilité (évolution de la matière organique, fixation d'azote atmosphérique etc )

Cette pauvreté a été constatée depuis longtemps par l'analyse du sol à l'aide de techniques couramment pratiquées dans les sols des pays tempérés, en particulier la détermination du « phosphore assimilable »

Ces méthodes indiquent parfois des niveaux tellement bas que l'on est amené à se demander comment les plantes peuvent s'alimenter en phosphore dans ces sols

Or l'analyse des plantes montre qu'elles exportent des quantités non négligeables de phosphore provenant du sol, et pouvant atteindre 25 à 30 kg de  $P_2O_5$  par hectare et par an, parfois plus, et dans de nombreux sols seuls les engrais azotés agissent provoquant des accroissements spectaculaires de rendement avec exportation supplémentaire de phosphore.

Dans d'autres sols les engrais phosphatés ont une action efficace, parfois seuls, parfois en présence d'azote.

Dans la plupart des sols des pays africains de la zone semi-aride, la carence en phosphore n'apparaît pas toujours d'une façon nette dans les essais d'engrais, car c'est l'azote qui est le facteur limitant principal des rendements, il faut donc corriger cette carence, et il suffit que les rendements atteignent un niveau élevé pour qu'apparaisse le besoin en phosphore.

Le plus souvent dans les cultures artisanales on se contente de rendements assez médiocres, insuffisants pour faire apparaître la carence.

L'addition de doses croissantes d'azote peut faire apparaître la carence phosphatée, de même la diminution du volume de terre à la disposition des plantes, en particulier dans les essais en pots, fait apparaître plus rapidement la carence en phosphore, alors qu'elle est difficile à mettre en évidence dans les essais

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

30 NOV 1969

Collection de Référence

n° 13544

en plein champ .

Néanmoins dans d'autres sols le phosphore peut être la carence principale avant même l'azote mais ces cas sont plus rares.

En résumé : L'état du phosphore dans les sols tropicaux est extrêmement variable d'un point à un autre et il est important de pouvoir différencier la richesse relative des différents sols au point de vue phosphore par un test de laboratoire.

Les conditions à remplir sont les suivantes :

- Test suffisamment rapide et pouvant être exécuté en série.
- Résultats analytiques suffisamment élevés pour ne pas donner lieu à des erreurs relatives trop importantes au moment du dosage.
- Variation nette des résultats en fonction de la fertilité des sols constatée sur le terrain

## DIFFERENTES METHODES UTILISEES

### Phosphore assimilable « TRUOG » et « DYER »

Les techniques classiques du phosphore assimilable telles que la méthode « TRUOG » (acide sulfurique 0,002 N + Sulfate d'ammoniaque pH = 3,5) ou la méthode « DYER » (acide citrique à 2 %) ont généralement donné des résultats insuffisants

FORESTIER (1961) signale que dans des sols R C A. bien pourvus en acide phosphorique pour la culture caféière, la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> TRUOG est de 15 ppm ou 0,015 ‰

La méthode à l'acide citrique à 2 % DYER donne des résultats plus satisfaisants en particulier dans des sols de régions humides (sols ferrugineux tropicaux lessivés ou sols ferrallitiques) lorsqu'ils sont relativement bien pourvus en phosphore

Les études faites par DABIN et LENEUF (fruits 1959) sur culture bananière, et plus récemment par GODEFROY I F A.C sur banane et ananas dans les sols ferrallitiques très désaturés de basse Côte d'Ivoire, montrent que la méthode à l'acide citrique à 2 % est utilisable pour déterminer les variations de richesse en phosphore de ces sols

Néanmoins dans les sols plus pauvres, cette méthode fournit des chiffres trop bas, sa précision analytique devient douteuse et les résultats sont difficilement interprétables

### Phosphore total

La méthode de détermination du phosphore total par attaque à l'acide nitrique concentré et bouillant est utilisée depuis longtemps et avec succès pour différencier la richesse en phosphore de certains sols. B. DABIN (1951 - 1954 - 1956), S. BOUYER (1958) ont montré que cette méthode d'utilisation assez simple, donne des chiffres analytiquement variables. et que sous un climat donné, dans un type de sol donné, fournit des résultats en corrélation avec le comportement cultural des sols et la réaction aux engrais phosphatés.

Sous des climats différents et dans des sols différents, les niveaux de phosphore total que l'on peut considérer comme bons, moyens ou mauvais sont variables

- Un niveau moyen que l'on fixe à 0.15 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les sols sableux des régions sèches
- est de 0.2 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les sols argileux
- il passe à 0.5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les sols sableux des régions humides
- il peut être plus élevé encore dans d'autres cas (sols humifères)

B. DABIN (1956) a montré qu'il existait une relation statistique dans l'horizon supérieur des sols entre N total et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total ; le rapport moyen est N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 2 ou P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/N = 1/2. L'expérience a montré que le niveau moyen de phosphore total que l'on peut établir pour les sols, correspond sensiblement à ce rapport moyen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/N. MOULINIER a confirmé ces résultats dans les sols à café et cacao de basse Côte d'Ivoire (mars 1962)

L'explication que l'on peut donner à ces résultats est qu'il n'existe pratiquement pas de minéraux primaires contenant du phosphore dans ces divers sols tropicaux ; de même, la présence de calcaire pouvant fixer de grandes quantités de phosphore à l'état insoluble est très rare.

Dans la plupart des cas de richesse chimique de l'horizon supérieur des sols tropicaux est due à la « remontée biologique » des éléments. Cette remontée biologique est réalisée en majeure partie par les plantes supérieures qui puisent les éléments en profondeur et les ramènent en surface par la décomposition des résidus organiques.

La richesse variable en phosphore de l'horizon humifère est fonction de la richesse du substratum. Mais sur un substratum donné, il existe une corrélation entre la matière organique, donc l'azote total, et les divers éléments minéraux en particulier le phosphore.

La minéralisation de la matière organique provoque la libération d'une certaine quantité d'acide phosphorique qui peut être soit assimilée par les plantes, soit fixée sous des formes minérales diverses dont la solubilité peut être variable.

L'action du rapport N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans la réaction des plantes aux engrais semble montrer que l'alimentation phosphatée des plantes se fait en partie par minéralisation de la matière organique.

D.A. ACQUAYE au Ghana (1963) a étudié expérimentalement cette minéralisation. Une incubation à 27° pendant 70 jours donne 3 à 10 % de phosphore organique minéralisé. Cette proportion croît avec de pH, elle est parallèle à celle de l'azote mais néanmoins supérieure.

L'apport d'engrais azoté et même de phosphore accroît la quantité de P organique minéralisé.

Néanmoins cette minéralisation du phosphore organique, si elle constitue dans certains sols un appoint important pour l'alimentation des plantes, est certainement insuffisante. Cette minéralisation est progressive et elle peut être ralentie par tous les facteurs (humidité, aération, pH) qui conditionnent la transformation de la matière organique ; d'autre part, les plantes comme les microorganismes peuvent avoir besoin à un moment de leur développement d'une source importante et immédiatement disponible de phosphore (surtout en début de croissance). Cette source est constituée par la réserve de phosphore à l'état minéral à l'état minéral dont une partie est facilement assimilable. Cette fraction minérale est vraisemblablement en équilibre avec la forme organique.

#### ETUDE DES FORMES DU PHOSPHORE (CHANG et JACKSON).

La méthode de fractionnement des formes du phosphore due à CHANG et JACKSON est de plus en plus utilisée surtout depuis 1964. Elle permet de séparer des formes minérales du phosphore extraites par des réactifs dilués :

- Fluorure d'ammonium 0,5 N à Ph = 7 pour le phosphore lié à l'aluminium - P Al
- Soude 0,1 N pour le phosphore lié au fer - P Fe
- Acide sulfurique 0,5 N pour le phosphore lié au calcium - P Ca

D'autres formes beaucoup moins solubles sont également séparées, ce sont :

- Le phosphore d'inclusion extrait après réduction et chélation des oxydes de fer qui emprisonnent les molécules d'acide phosphorique.

Le phosphore organique extrait après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée ou par calcination

### Répartition quantitative des différentes formes

Si l'on compare deux sols fertiles, l'un sol forestier très acide, l'autre sol de savane à pH neutre, les résultats sont les suivants :

	P P M de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
	Sol de forêt pH 4,5		Sol de savane pH = 7	
		Somme		Somme
Phosphore minéral lié à Al - P Al	74,5	193,3	96,6	293,2
lié à Fe - P Fe	104,5		17,2	
lié à Ca - P Ca	14,3		179,4	
Phosphate de fer d'inclusion	368		460	
Phosphore organique	305		246	

Le phosphore minéral représente environ 25 %, le phosphore organique et le phosphore d'inclusion réunis 75 %.

Le phosphore d'inclusion vient en tête avec 30 à 50 % ; puis vient le P organique avec 25 à 30 %.

Ces fractions varient en sens inverse de leur solubilité ; il existe un équilibre entre les différentes formes

### Variations des formes minérales en fonction du pH

Les différentes formes de phosphore minéral liées à l'aluminium, au fer ou au calcium sont en quantités variables en fonction du pH du sol. Dans les sols acides, la forme liée au fer domine largement et la forme liée au calcium est en très faible quantité. Dans les sols neutres ou calcaires, la forme liée au calcium domine et la forme liée au fer est très faible. La forme liée à l'aluminium est intermédiaire.

### Utilité des différentes formes en fonction du pH.

#### Sols acides

B. DABIN (1963 - 1964) a signalé que la forme liée à l'aluminium (extraite par FNH<sub>4</sub> 0,5N) varie en fonction de la richesse du sol et de sa réaction aux engrais phosphatés. Par contre la forme liée au fer (extraite à la soude) ne semble pas représenter une forme assimilable dans les sols acides (Sols de Côte d'Ivoire et des Antilles). Toujours dans les sols acides la forme liée au calcium semble également représenter une forme utile.

#### Sols neutres ou calcaires

Dans les sols neutres ou calcaires, il est possible de doser une forte quantité de phosphore lié au calcium qui n'est pas directement en relation avec la fertilité (exemple : sols du Salvador), une fraction seulement de ce phosphore est donc utilisable.

HANOTIAUX (1964 - 1966), dans des essais de longue durée, a montré que toutes les fractions séparées par la méthode CHANG et JACKSON interviennent plus ou moins dans l'alimentation des plantes. La

fraction qui semble la plus utilisable est celle extraite par FNH<sub>4</sub> (liée à Al), la fraction liée au calcium est également utilisable mais représente aussi une forme de fixation importante. la fraction liée au fer est peu utilisable ; la fraction organique est susceptible de fournir du phosphore aux plantes.

CERBANESCU en 1964 à Bucarest, ALBAN, JACKSON, VACHAROTOYAN aux Etats-Unis (1964) ont confirmé l'importance de la fraction extraite par FNH<sub>4</sub> 0.5 N quelque soit le pH du sol.

## PHOSPHORE ASSIMILABLE

### Méthode OLSEN modifiée

JACKSON, VACHAROTOYAN, ALBAN, PETERSON (1964) ont comparé plusieurs méthodes d'extraction du phosphore sur des sols artificiellement enrichis en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (sols latéritiques) ; ils ont établi en outre une corrélation avec la croissance des plantes en serres et aux champs

Les différentes méthodes donnent des corrélations assez voisines les unes des autres, mais une technique appelée Olsen modifiée N° 3 permet d'extraire 60 % du phosphore ajouté, alors que la méthode Olsen simple n'extrait que 20 % et la méthode Truog 10 %. Nous avons pensé que ce fort pouvoir d'extraction pouvait être intéressant pour l'analyse des sols tropicaux pauvres en phosphore

Ce réactif Olsen modifié N° 3 est le mélange suivant :

FNH 4 0.5 N            +        CO<sub>3</sub>NaH 0,5 à pH 0,5  
(fluorure d'ammonium + bicarbonate de soude)

c'est-à-dire qu'il contient du fluorure d'ammonium à la même concentration que dans la méthode CHANG et JACKSON ; d'autre part, c'est un réactif alcalin qui peut extraire du phosphore alcalino-soluble ; enfin il contient l'ion bicarbonate qui peut extraire partiellement du phosphore lié à l'ion calcium (La méthode Olsen simple au bicarbonate de soude 0.5 N avait été mise au point à l'origine pour les sols calcaires)

Une différence importante avec la méthode JACKSON : le temps d'attaque du sol n'est que d'une heure, alors que pour l'extraction totale du phosphore alcalino-soluble, il faut une agitation d'au moins 8 heures dans la soude N/10 ; enfin, l'ion bicarbonate est moins actif sur le phosphate de chaux que l'acide sulfurique 0.5 N

Il semble donc que ce réactif extrait en totalité le phosphore lié à l'aluminium, et partiellement le phosphore lié au calcium et lié au fer suivant la solubilité variable de ces derniers

### Modifications apportées à la méthode de dosage proprement dite

Le sol est agité pendant une heure avec le réactif dans un rapport sol/réactif = 1/50 à la température ordinaire. Le réactif alcalin dissout une quantité importante de matière humique. Dans la technique d'origine cette matière humique était séparée par le charbon, ce qui offre pas mal d'inconvénients ; cette purification a été remplacée par une simple précipitation par l'acide sulfurique concentré qui a également l'avantage d'éliminer tout le CO<sub>2</sub> en excès.

Après séparation des matières organiques par filtration, on provoque la formation de complexe phosphomolybdique après complexation du fluor par l'acide borique. Le complexe phosphomolybdique est réduit à chaud par un excès d'acide ascorbique, la coloration bleue formée est comparée à une gamme étalon.

L'analyse peut se faire manuellement ou avec un appareil automatique comme l'auto-analyseur Technicon. Elle ne représente aucune difficulté particulière, elle est rapide et permet de doser de 5 à 500 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol, la prise étant de 1g (pour des teneurs plus élevées, il suffit de diluer les solutions après extraction)

## RÉSULTATS OBTENUS

### Comparaison de la méthode OLSEN modifiée et de la méthode TRUOG

Cette comparaison est faite sur des sols bruns lessivés sur loess de la région parisienne :

- un profil de sol acide (pH 4,5)

- un profil de sol neutre (pH 7)

P2 O5 ‰

Sol brun lessivé acide			Sol brun lessivé à pH neutre sur loess calcaire		
	P2 O5 Olsen modifié	P2 O5 Truog		P2 O5 Olsen modifié	P2 O5 Truog
Horizon A 11	0,043	0,029			
A 12	0,044	0,012	A 1	0,069	0,065
A 2	0,013	0,010	A 2	0,037	0,043
B 1	0,035	0,013	B	0,041	0,046
B 2	0,092	0,021	BC	0,117	0,114
B 3	0,107	0,072			
C			C loess calcaire	0,017	0,0103

Dans le sol neutre, la méthode Olsen modifiée donne à peu de choses près le même résultat que la méthode Truog : l'horizon A 1 est bien marqué, de même l'horizon lessivé A2 appauvri, l'horizon d'accumulation BC présente une augmentation, le loess calcaire montre une diminution nette du phosphore assimilable (Olsen est supérieur à Truog)

Dans le sol acide : la méthode Olsen modifiée donne des chiffres environ deux fois plus élevés que Truog. La différence entre les horizons est peu marquée avec la méthode « Truog », alors qu'elle apparaît nettement avec Olsen modifiée : appauvrissement net en A2, enrichissement net en B1, B2, B3

La méthode Olsen modifiée semble donc plus représentative pour le sol lessivé acide riche en sesquioxides que la méthode Truog. Les deux méthodes sont à peu près équivalentes dans le sol neutre

#### Comparaison méthode OLSEN modifiée et méthode citrique (DYER)

A la suite d'études réalisées par GODEFROY à l'I.F.A.C. (Côte d'Ivoire) des analyses ont été effectuées par la méthode citrique (GODEFROY), et par la méthode Olsen modifiée à l'O.R.S.T.O.M. Bondy. Il existe une corrélation assez bonne entre les deux méthodes. En moyenne la méthode Olsen modifiée extrait environ 1,5 fois plus de P2O5 que la méthode citrique.

#### Comparaison méthode OLSEN modifiée et méthode CHANG et JACKSON

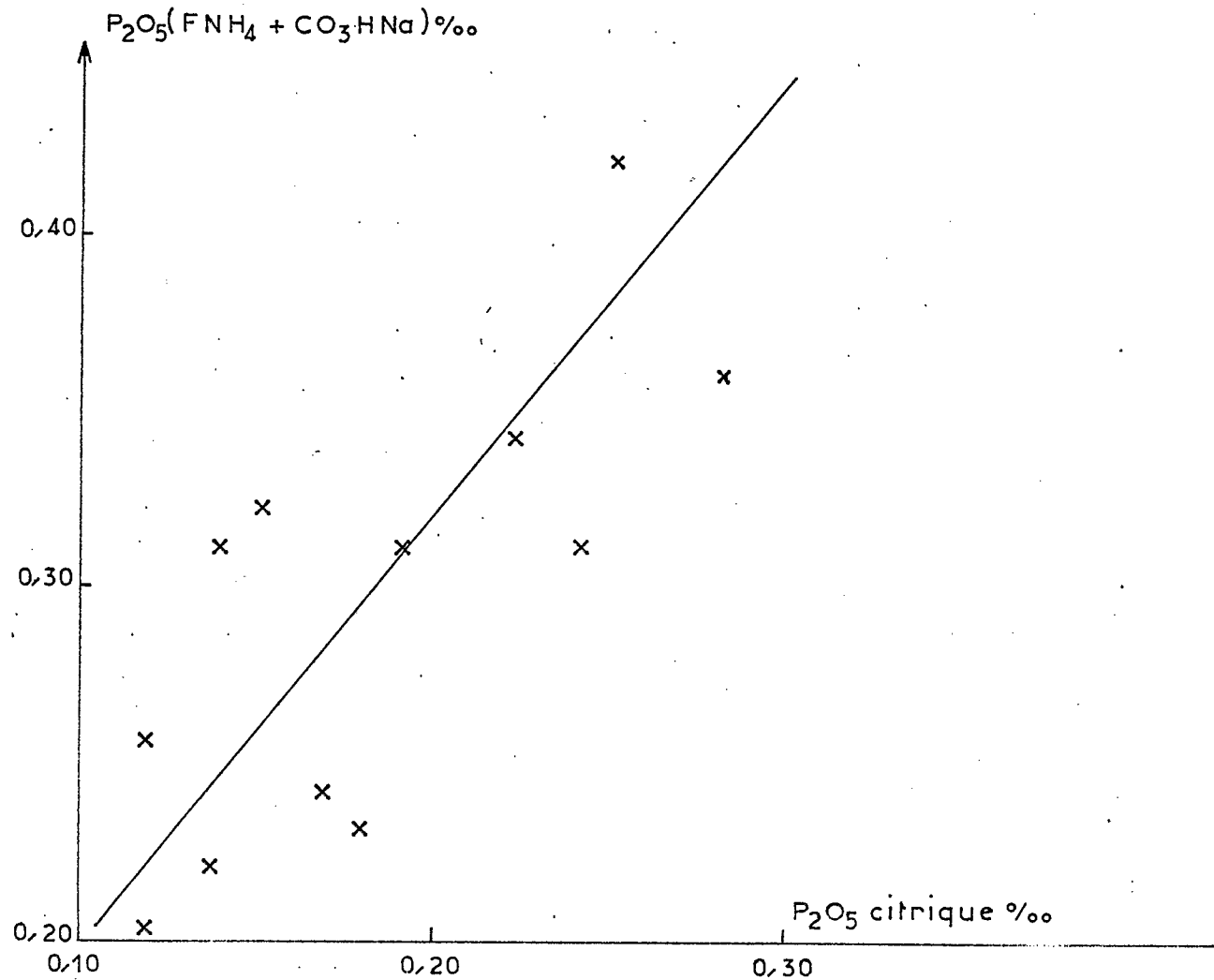
Sols acides de basse Côte d'Ivoire : Des essais de fertilisation sur ananas et banane ont été réalisés par GODEFROY de l'I.F.A.C. Les analyses ont été effectuées à l'O.R.S.T.O.M. Bondy

##### 1) Essai ananas (ANGUEDEDOU)

Les résultats sont la moyenne d'analyses effectuées sur dix répétitions des parcelles d'essais

	Méthode CHANG et JACKSON P2O5 ‰			P OLSEN modifié P2O5 ‰	P Ca + P Al P2O5 ‰
	P Ca	P Al	P Fe		
Parcelles 1 A ananas sans fumure	0,04	0,041	0,268	0,103	0,081
Parcelle 4 A ananas avec fumure minérale et organique	0,056	0,115	0,221	0,195	0,171
Parcelle 4 B fumure minérale et organique sans culture	0,053	0,115	0,227	0,181	0,168

Graphique 1: Comparaison des méthodes Dyer et Olsen, modifiée n°3  
Essai de fumure à Azaguié (D'après Godefroy (IFAC))



L'amélioration par la fumure augmente de plus du double la fraction P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> liée à l'aluminium et extraite par FNH<sub>4</sub> 0,5 N.

La fraction liée au calcium augmente peu dans les parcelles fumées et la fraction liée au fer a tendance à diminuer.

La méthode OLSEN modifiée suit, à 20 ppm près, la variation de la somme P Al + P Ca (CHANG et JACKSON), elle est représentative de la variation de fertilité dans les parcelles. La fraction liée au fer semble peu ou pas attaquée par la méthode Olsen modifiée.

## 2) Essai sur banane (AZAGUIE)

Egalement moyenne des analyses sur dix répétitions

	Méthode CHANG et JACKSON P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰			P OLSEN modifié P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰	P Ca + P Al P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰
	P Ca	P Al	P Fe		
Parcelles 1 A paillage	0,062	0,11	0,19	0,162	0,172
Parcelles 2 B fumier	0,10	0,14	0,21	0,227	0,256

Les différences de fertilité entre paillage et fumier sont moins nettes que les différences de l'essai précédent, néanmoins, la méthode Olsen modifiée redonne à peu de chose près un chiffre équivalent à la somme P Al + P Ca (Chang et Jackson).

## Conclusions sur les essais en sols acides

Dans les sols ferrallitiques très désaturés acides de Basse Côte d'Ivoire, la méthode Olsen modifiée N° 3 donne des résultats qui sont équivalents à la somme (phosphore lié à l'aluminium et phosphore lié au calcium P Al + P Ca) de la méthode Chang et Jackson, et sont sans rapport avec la forme liée au fer. Ces résultats sont également en relation avec la fertilité du sol améliorée par le fumier et les engrais minéraux.

## Sols neutres du Salvador

Des échantillons prélevés dans les sols caractéristiques du Salvador ont été envoyés par L. RICHARD de IIRCT et analysés à Bondy.

Ces sols ont un pH sensiblement neutre ; ils sont vraisemblablement assez riches en calcium. Les résultats sont les suivants :

ORIGINE	Réponse aux engrais phosphatés	Méthode CHANG et JACKSON P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰			P OLSEN modifié P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰
		P Ca	P Al	P Fe	
OBRAJUELO	Très forte réponse aux engrais phosphatés	0,195	0,044	0,227	0,083
EI COMMUN	Forte réponse	1,114	0,129	0,347	0,130
EI PRESIDIO	Réponse faible ou nulle	0,239	0,110	0,432	0,235
EI BRAZO	Réponse nulle	0,801	0,323	0,231	0,620



Dans les différentes analyses, seule la méthode Olsen modifiée donne des résultats qui sont exactement dans le même sens que les réactions aux engrais. Teneurs fortes en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour les réponses nulles, teneurs faibles pour les réponses fortes. En ce qui concerne les formes du phosphore, aucune ne donne un résultat vraiment satisfaisant.

Le chiffre Olsen est généralement supérieur au chiffre P A l qu'il englobe vraisemblablement, mais il est inférieur aux chiffres P Ca et P Fe pris séparément.

Dans l'échantillon EL COMMUN qui donne une forte réponse, P Ca est même très élevé. Si le phosphore assimilable englobe la presque totalité du phosphore lié à l'aluminium, il ne représente dans cet essai qu'une fraction du phosphore lié au calcium et peut-être aussi lié au fer.

En conclusion : Dans les sols neutres, le phosphore obtenu par la méthode Olsen modifiée donne une bonne représentation du phosphore assimilable, il englobe vraisemblablement la totalité du phosphore lié à l'aluminium, et une partie seulement du phosphore lié au calcium et lié au fer.

### APPLICATION DE LA METHODE OLSEN MODIFIEE n° 3 DANS DES SOLS DE LA CUVETTE TCHADIENNE

Des analyses du phosphore total, phosphore assimilable par la méthode Olsen modifiée et d'autres déterminations analytiques (azote total, pH, etc.) ont été pratiquées sur des sols de la cuvette Tchadienne prélevés par AUDRY, VIZIER et nous-même, dans des conditions caractéristiques du point de vue type de sol et fertilité en particulier en cultures cotonnière.

Ces sols hydromorphes appartiennent aux classes suivantes

- Sols hydromorphes
- Vertisols
- Sols à sesquioxydes : Sols ferrugineux tropicaux lessivés  
Sols ferrugineux tropicaux non lessivés.

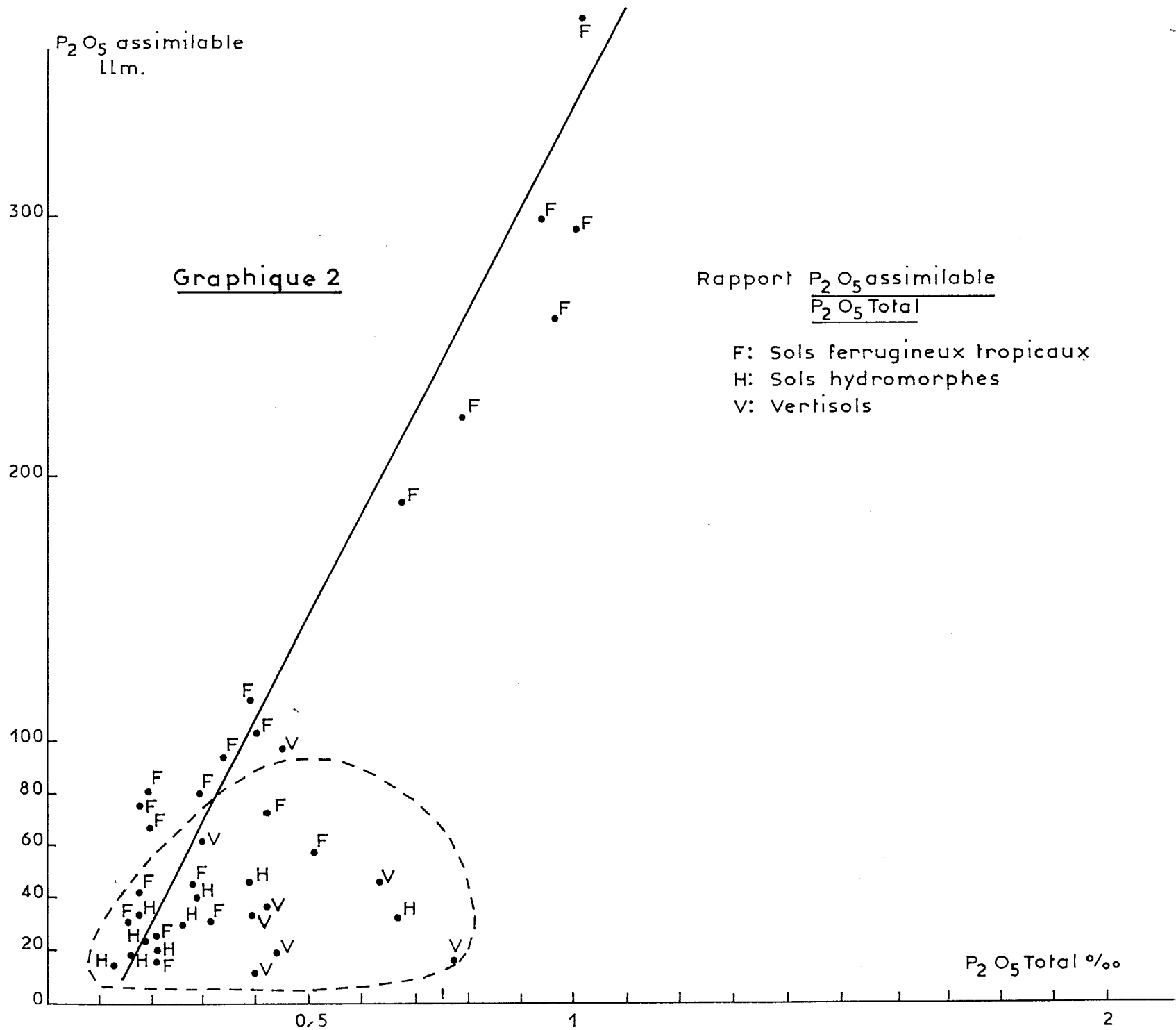
L'intérêt de ces analyses est de montrer la grande variabilité de richesse en phosphore de ces sols tropicaux

#### 1. - Sols à sesquioxydes = Sols ferrugineux tropicaux lessivés

Origine des Ech. Type de sol et roche mère	Observations	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ‰	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen. modifiée ‰	N Total ‰	pH	Formes du phosphore		
						P Ca	P Al	P Fe
Sols sur continental terminal-KELO	Sol vierge	0,5	0,058	0,64	6,5			
Station de BEBEDJIA	Essai témoin	0,66	0,186	0,574	6,6			
	Fumier + NPK	0,98	0,296	0,814	6,3			
Région de BANJOUL	Coton mauvais	0,29	0,08	0,3	6,5			
	Beau coton	0,95	0,392	0,7	7,9			
	Très beau coton	1	0,387	0,72	8			
Région de BEGADA	Coton médiocre	0,39	0,108	0,32	6,5			
	Coton moyen	0,77	0,22	0,49	8,3			
	Très beau coton	0,95	0,258	0,666	6,6			
Station de DELI	Parcelles	0,93	0,298	0,808	6			
	de	0,38	0,104	0,4	6,7			
	coton	0,19	0,067	0,4	6,3			
MAYO KEBBI	Sol pauvre	0,17	0,036	0,15	6,9			
KOKATI	Sol pauvre	0,19	0,08	0,193	5,9			
MAYO KEBBI	Sol pauvre	0,17	0,04	0,21	7,1			
MAYO KEBBI	Sol pauvre	0,17	0,074	0,14	5,7			

## Origine des Ech.

Type de sol et roche mère.	Observations	P205 total ‰	P205 Olsen modifiée ‰	N Total ‰	pH	Formes du phosphore		
						P Ca	P Al	P Fe
Sols sur alluvions Station de BA-ILLY	Végétation naturelle	0,41	0,071	0,34	7	0,054	0,045	0,076
		0,32	0,03	0,56	7,2			
	Parcelles d'essai de coton	0,38	0,113	0,24	7,2	0,053	0,06	0,086
		0,33	0,094	0,27	6,3			
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés - sableux								
Sols sur alluvions sableuses	Station de DILBINI.	0,15	0,028	0,16	6	0,017	0,007	0,037
		0,19	8,828	0,104	5,3			
		0,3	0,03	0,220	5,4			
		0,16	0,026	0,140	5,5			
		0,19	0,018	0,144	5,8			
		0,15	0,024	0,123	6,4			
		0,20	0,022	0,288	5,3			
2. - Vertisols.								
Sol d'argile noire à nodules calcaires	Région du MAYO KEBBI besoin en engrais phosphatés	0,39	0,012	0,35	7			
		0,24	0,818	0,42	6,3			
		0,29	0,061	0,32	6,7			
Vallée du Logone Sols sur alluvions argileuses à nodu- les calcaires	DILA DILA BEDEM	0,43	0,02	0,353	6,3			
		0,41	0,038	0,5	6,2			
		0,39	0,027	0,34	8			
Sols sur alluvions	MACAO	0,44	0,099	0,24	8			
		0,61	0,045	0,36	7,5			
3. - Sols hydromorphes.								
Sols sur alluvions	Sols humifères et fertiles BILLIAM-OURSI BOL	2,20	0,21	1,37	5,2			
		1,47	0,43	2,24	7,6			
		Sols pauvres en humus KOKATI		0,10	0,022			



Type de sol et roches mères	Observations	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot. %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen modifié %	N total %	pH	Formes du phosphore		
						P Ca	P Al	P Fe
BA-ILLI		0,66	0,034	0,6	6,6			
		0,38	0,049	0,35	6			
		0,25	0,03	0,456	5,4			
		0,28	0,04	0,208	5,6			
MAYO KEBBI		0,15	0,02	0,32	6,7			
		0,26	0,066	0,25	7,3			
		0,12	0,018	0,17	5,2			

Les tableaux ci-contre donnent la comparaison P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable dans divers sols, ainsi que le taux d'azote total de ces sols et le pH

Comme il est aisé de le constater, les taux de phosphore total et phosphore assimilable peuvent varier de 1 à 10 et même de 1 à 20 suivant les sols

En gros, les sols les plus riches en azote sont également les plus riches en phosphore total et assimilable (sols hydromorphes humifères), et les sols les plus pauvres en azote (sols ferrugineux peu lessivés) sont les plus pauvres en phosphore total et assimilable

Mais il existe de nombreux cas intermédiaires où le taux d'azote est moyen à faible et où les taux de phosphore peuvent être variables

D'autre part, le rapport  $\frac{P_2O_5 \text{ assimilable}}{P_2O_5 \text{ total}}$  peut varier de  $\frac{1}{20}$  à  $\frac{1}{3}$

Les résultats ont été portés sur différents graphiques

Le graphique 2 représente le rapport  $\frac{P_2O_5 \text{ assimilable}}{P_2O_5 \text{ total}}$

Dans les sols ferrugineux tropicaux marqués (F), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable croît proportionnellement à P<sub>2</sub>O total et peut atteindre une valeur élevée (près de 400 ppm ou 0,4%)

Dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés, en particulier sur sables argileux du continental Terminal, plus de la moitié des chiffres de phosphore assimilable dépassant 100 ppm, et certains chiffres atteignent 400 ppm

A la station de BEBEDJA, les essais d'engrais effectués par l'I R C T. sur coton ont montré que la fumure N - S (azote et soufre) était équivalente à la fumure N - P - S. Les engrais phosphatés n'agissent donc pas dans ces sols, même en présence de fortes quantités d'azote

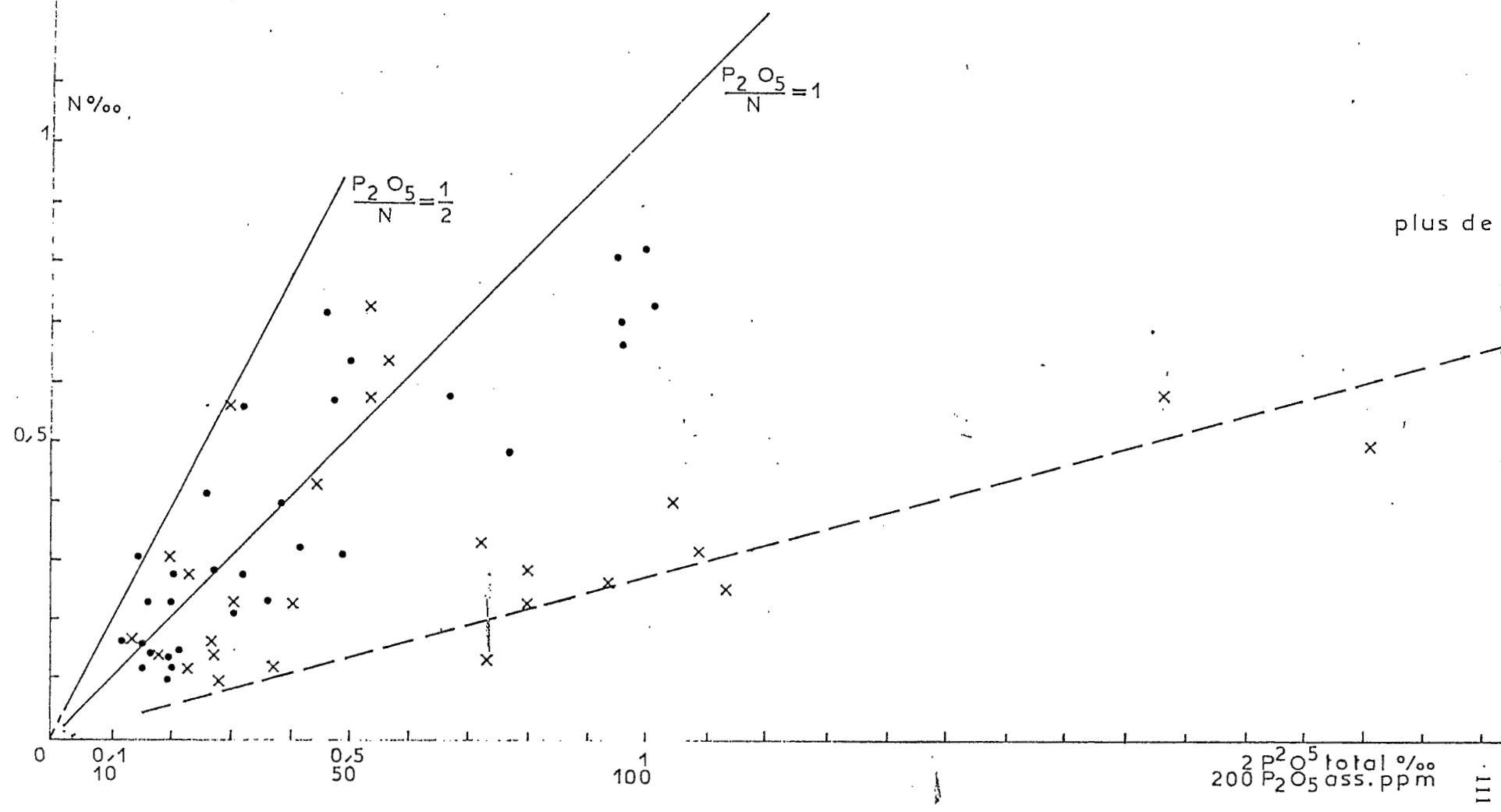
Par contre, certains sols en culture artisanale peuvent nécessiter des apports d'engrais azotés et phosphatés ; l'analyse montre que ces sols sont pauvres à la fois en azote et phosphore, la carence principale étant cependant la carence en azote (il existe également une carence en soufre).

Les sols ferrugineux tropicaux non lessivés, sableux, sont à la fois pauvres en azote et en phosphore, mais ces sols des régions semi-arides réservés à la culture de l'arachide et du petit mil, présentent vraisemblablement un pouvoir intense de minéralisation de la matière organique qui compense la faible valeur des réserves

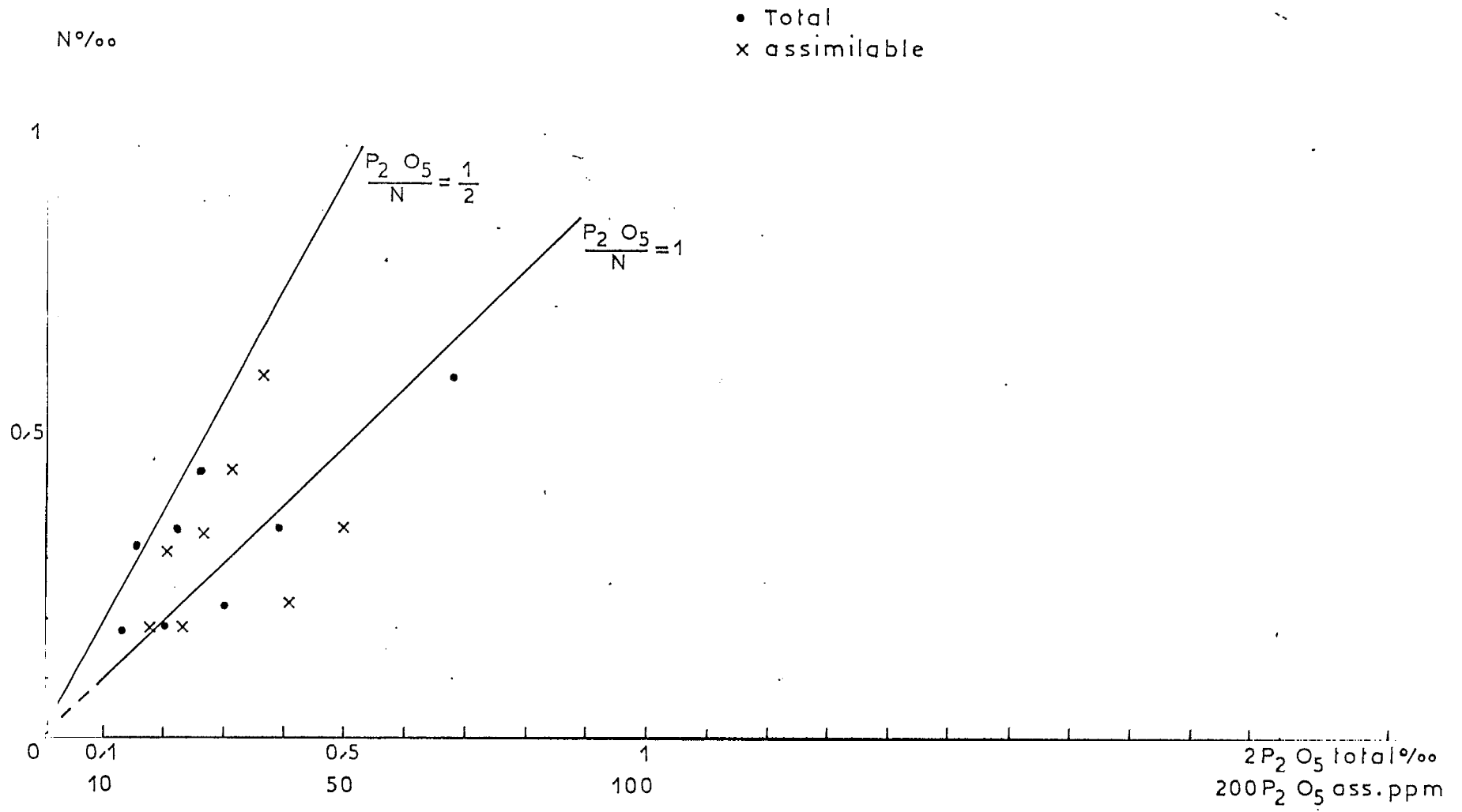
Des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total supérieures à 0,15% et des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable supérieures à 25 ppm correspondent à des sols non carencés en phosphore : c'est donc par rapport à la teneur en azote qu'il faut apprécier ces valeurs

Graphique 3: Rapport N total—P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> total—P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> assimilable  
Sols ferrugineux tropicaux

• Total  
 x assimilable

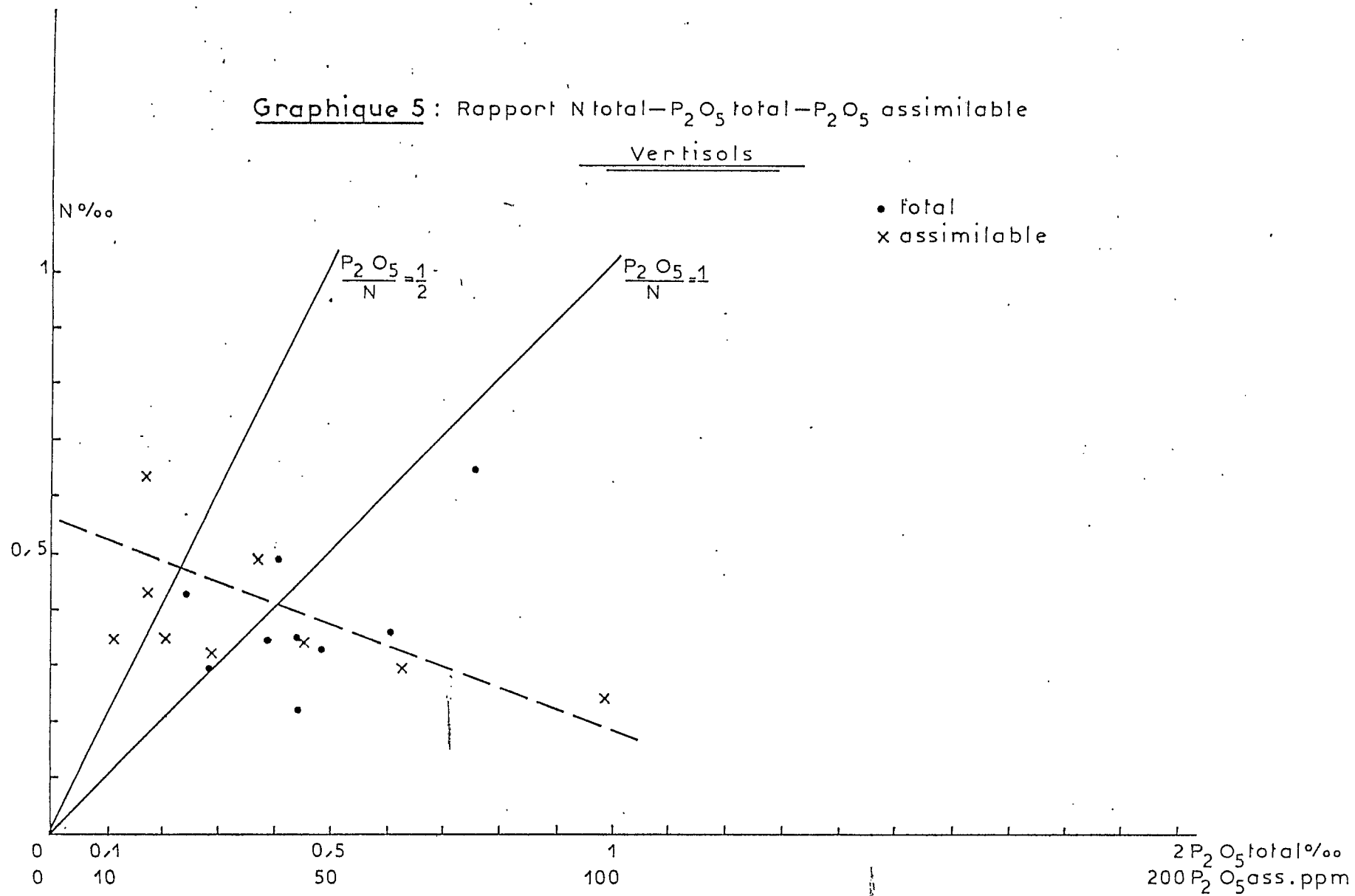


Graphique 4: Rapport N total - P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> total - P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> assimilable  
Sols hydromorphes peu humifères



Graphique 5 : Rapport N total - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable

Vertisols



Vertisols et sols hydromorphes peu humifères : Ces sols sont indiqués H et V sur le graphique N° 2.

Les teneurs en phosphore total dans ces sols sont rarement très élevées, mais même pour des chiffres variant de 0,4 à 0,7 ‰ de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total les taux de phosphore assimilable sont toujours bas et inférieur à 50ppm.

Il a été constaté que dans les essais sur culture cotonnière dans les vertisols relativement mal drainés du Tchad, il existe une action des engrais phosphatés en association avec les engrais azotés

La faible valeur du phosphore assimilable rend compte du besoin en phosphore de ces sols.

#### Rapports azote total - phosphore total - phosphore assimilable

Les graphiques 3, 4 et 5 indiquent les rapports azote total, phosphore total et phosphore assimilable.

Dans les sols ferrugineux tropicaux lorsque le rapport  $\frac{P_2 O_5 \text{ total}}{N \text{ total}}$  varie entre 1 et  $\frac{1}{2}$ , le rapport

$\frac{P_2 O_5 \text{ assimilable}}{N \text{ total}}$  reste voisin de  $\frac{1}{10}$

Lorsque le rapport  $\frac{P_2 O_5}{N}$  dépasse 1, le rapport  $\frac{P_2 O_5 \text{ assimilable}}{N \text{ total}}$  dépasse  $\frac{1}{10}$  et peut atteindre  $\frac{1}{3}$ .

Ces derniers sols peuvent être considérée comme très bien pourvus en phosphore assimilable.

Dans les sols hydromorphes peu humifères, le rapport  $\frac{P_2 O_5 \text{ assimilable}}{N \text{ total}}$  reste compris entre  $\frac{1}{10}$  et  $\frac{1}{20}$

lorsque le rapport  $\frac{P_2 O_5 \text{ total}}{N \text{ total}}$  varie de 1 à  $\frac{1}{2}$ .

Dans les vertisols, il semble y avoir une relation inverse entre teneur en phosphore assimilable et azote total, quelle que soit la teneur en P total.

En réalité, la teneur en P assimilable est d'autant plus faible que le sol est soumis à des phénomènes d'hydromorphie plus importants (ce fait a été signalé en particulier par VIZIER), l'importance de l'hydromorphie provoquant une augmentation de la teneur en azote total.

Dans les vertisols soumis à l'hydromorphie, la minéralisation de l'azote et du phosphore devient très lente par excès de compacité du sol ; ces sols sont carencés dans les deux éléments.

Lorsque les vertisols se trouvent sous un climat sec et ne souffrent d'aucun excès d'eau, la minéralisation de l'azote et du phosphore est plus rapide et ces sols sont fertiles. En culture cotonnière dans les vertisols des régions semi-arides, par exemple en Gésira ou dans le delta central nigérien, les engrais azotés agissent seuls dans la plupart des cas. En culture rizicole inondée par contre, les vertisols souffrent généralement de carences simultanées en azote et phosphore.

#### CONCLUSIONS

La méthode OLSEN modifiée (FNH<sub>4</sub> 0,5 N + CO<sub>3</sub>NaH 0,5 N pH 8,5) a été comparée à la méthode TRUOG, DYER, ainsi qu'à la méthode de fractionnement de CHANG et JACKSON.

Cette méthode extrait des quantités de phosphore supérieures aux techniques classiques de phosphore assimilable, mais elle présente un certain parallélisme avec ces dernières.

Comparativement à la méthode de fractionnement elle permet de distinguer la fraction facilement extractible des différentes formes qui ne sont pas toujours solubles (phosphate de calcium ou phosphate de fer)

Son application à des sols divers montre de très larges variations qui semblent en relation avec les niveaux variables de fertilité ; la nature et le type d'évolution du sol semblent également avoir une action sur l'équilibre azote total, phosphore total, phosphore assimilable.



## INTERPRETATION DES RESULTATS

Nos résultats précédents ne sont pas encore suffisants pour fixer un niveau critique exact de teneur P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable. D'ailleurs, ce niveau critique peut varier en fonction des exigences des cultures.

Néanmoins, on peut considérer d'une part les sols dont le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est supérieur à 150 ppm ou 0,15 ‰ et dont le teneur en phosphore peut être jugée suffisante même avec des apports d'engrais azotés.

D'autre part, il faut séparer tous les sols dont le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est inférieur à 100 ppm. Dans ce dernier cas, la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable peut être considérée comme faible en valeur absolue, mais en valeur relative les réactions aux engrais phosphatés dépendront de la rapidité des métabolismes biologiques du sol fonction du pH, de l'aération ou de l'excès d'eau ; enfin et surtout la carence relative entre phosphore et azote peut être appréciée d'après le rapport P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable / N total. On peut émettre l'hypothèse qu'au dessus de 1/10 le sol aura davantage besoin d'azote que de phosphore, entre 1/10 et 1/20 le sol pourra avoir besoin à la fois de phosphore et d'azote, et au-dessous de 1/20 la carence en phosphore sera parfois supérieure à celle de l'azote.

Ces résultats auront besoin de confirmation, cependant même si cette technique ne constitue pas encore une panacée, elle représente sans doute un progrès par rapport aux techniques anciennes, surtout en raison de sa simplicité et de sa rapidité.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOUYER S - Corrélation entre les résultats culturaux et les teneurs en phosphore dans le sol, dans le cas des sols ferrugineux tropicaux du Sénégal. C.R. des commissions II et IV de L'A.I.S.S. - Hamburg 1958 vol. 2 p. 244.
- DABIN B et LENEUF N. - Les sols de bananeraies de la Côte d'Ivoire. Fruits (I.F.A.C.) Vol. 15 N° 1 1960 p. 3-27 - Vol. 15 N° 2 1960 p. 77-88 - Vol. 15 N° 3 1960 p. 117-127.
- DABIN B. - Cahiers de Pédologie O.R.S.T.O.M. - Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux - Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire Cahiers O.R.S.T.O.M. Pédologie 1963 T. I N° 3 p. 27 - 42  
Etude des formes du phosphore dans quelques sols des Antilles Cahiers O.R.S.T.O.M. Pédologie T. II N° 2 1964 p. 5 - 12
- DABIN B. - Considérations sur l'interprétation agronomique des analyses du sol en pays tropicaux. Cas particulier de l'azote et du phosphore. 6ème congrès de la science du sol - Paris 1956 p. 403 - 409
- FORESTIER J. - Fertilité des sols de caféiers en République Centrafricaine. - Agron. trop. 1959 (mai - juin) p. 306 - 348 - Agron. trop. 1960 (vol. XV N° 1 (janv. févr.) p. 9 - 37
- HANOTIAUX G - Etudes sur la dynamique du phosphore et du potassium dans le sol 5ème partie. Pédologie XIV 2ème partie p. 160 - 178 - 2 fig. 9 tabl. Gand 1964.
- JACKSON (T.L) VACHAROTOYAN (S.) ALBAN (L.A) PETERSON (R) - Assimilabilité du phosphore dans les sols bruns rouges latéritiques première partie Relations entre les essais aux champs, en serres, et les analyses de sol - 2ème partie. Agronomy Journal - vol. 56 N° 6 1964 p. 555 - 558 - et 558 et 560
- MOULINIER H - Contribution à l'étude agronomique des sols de Basse Côte d'Ivoire Institut français du café et du cacao - Bull. N° 3 mars 1962