

ÉTUDE DES FORMES DU PHOSPHORE DANS QUELQUES SOLS DES ANTILLES

Action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre

par

B. DABIN *

I - INTRODUCTION

Grâce aux travaux réalisés par M. COLMET-DAAGE en collaboration avec le Bureau des Sols des Antilles et le Centre technique de la Canne à Sucre de la Guadeloupe, nous avons pu effectuer quelques analyses sur des échantillons de sols caractéristiques de ces régions provenant de divers essais soit en parcelles nues, soit sous culture de canne à sucre.

Ces échantillons choisis par M. COLMET-DAAGE ont été envoyés au laboratoire de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, et des dosages de phosphore ont été réalisés d'après la méthode de CHANG et JACKSON (2). Nous donnons ici les résultats de ces analyses ainsi que l'interprétation que l'on peut en déduire concernant la dynamique du phosphore assimilable dans ces sols.

Nous remercions vivement M. COLMET-DAAGE, non seulement pour ces échantillons, mais également pour tous les renseignements à caractère agronomique qu'il nous a communiqués.

Les analyses proprement dites ont été réalisées avec la collaboration de M. P. PELOT et de Mlle E. GUTTIÈREZ.

TECHNIQUE ANALYTIQUE

La technique analytique, inspirée de la méthode CHANG et JACKSON (2) dont certains détails ont été modifiés au Centre de Bondy, figure dans les *Cahiers de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M.* (n° 3, 1963).

Nous nous sommes limités à l'extraction des formes du phosphore les moins rétrogradées (phosphate de chaux, phosphate d'alumine et phosphate de fer fraîchement précipités) et nous avons négligé les formes les moins solubles (phosphore organique et phosphate de fer d'inclusion).

* Directeur de Recherches de l'O.R.S.T.O.M., Centre Scientifique et Technique de Bondy.

La très faible quantité d'échantillons dont nous disposons ne nous a pas permis de faire les analyses complémentaires ; il serait du plus grand intérêt de faire d'autres déterminations sur des échantillons analogues.

II - MATÉRIEL D'ÉTUDE

Les sols sur lesquels ont porté les essais, appartiennent à trois grands types principaux :

1 - SOLS FERRALLITIQUES

à structure friable, contenant de la kaolinite, des oxydes de fer, très peu de minéraux résiduels.
Ces sols sont généralement acides et désaturés.

2 - SOLS A ALLOPHANE

contenant de l'alumine libre, et des minéraux résiduels (débris d'andésite)
Sols également acides et désaturés.

3 - SOLS CALCIMORPHES ou VERTISOLS

contenant de la montmorillonite, et bien saturés en calcium.

Certains échantillons proviennent d'essais en parcelles de 4 m², laissées nues depuis 1957, les prélèvements ayant été effectués en 1960. D'autres échantillons proviennent d'essais d'engrais réalisés sous culture de canne à sucre (en 1958 et 1959).

Nous ne donnons pas ici tout le détail de ces essais sur lesquels nous n'avons que des renseignements très succincts, nous indiquons seulement la présence ou l'absence de réponse aux engrais phosphatés avec ou sans chaulage complémentaire.

III - RÉSULTATS OBTENUS

A - SOLS FERRALLITIQUES

Ces sols se caractérisent au point de vue des formes du phosphore (témoin BOYER) par une teneur très faible sinon nulle en phosphate de chaux, une teneur faible en phosphate d'alumine et une teneur relativement élevée en phosphate de Fer.

En parcelles nues :

L'apport de CO₃Ca seul n'a qu'une faible action, l'accroissement de P Ca est à peu près nul, on note une augmentation légère de P Al et P Fe.

L'apport de superphosphate augmente très légèrement P Ca ainsi que P Al, et assez nettement P Fe. Le mélange $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{P}_2\text{O}_5$ (super) agit également sur les trois formes.

Bien que les divers sols ne soient pas tous comparables, on peut noter cependant que, dans les meilleures conditions, l'augmentation de P Ca et P Al reste assez faible, la somme de ces deux formes ne dépassant pas 50 ppm, alors que P Fe peut atteindre des chiffres assez élevés (130 à 150 ppm).

En parcelles cultivées ayant reçu des fertilisants :

Même lorsque la teneur en phosphate de Fer dépasse 100 ppm de P, les sols réagissent toujours fortement aux engrais phosphatés dans les cultures de canne à sucre, ce qui semble prouver que le phosphate de Fer est une forme très peu utilisable par les plantes.

B - SOLS A ALLOPHANE

Dans le témoin sans engrais (DIGUE) la somme des trois formes est du même ordre que dans les sols ferrallitiques (témoin BOYER) mais la répartition n'est pas la même. Le phosphate d'alumine (P Al) domine, ensuite vient le phosphate de fer (assez faible) enfin le phosphate de chaux (très faible mais non nul).

L'apport de CO_3Ca accroît nettement P sous les trois formes. La teneur en P Al avec 10 t de CO_3Ca atteint 42 ppm. de P.

Le phosphate seul (P_2O_5 super) n'a qu'une action faible, sinon nulle, sur les trois formes.

Le mélange de P_2O_5 (super) et de CO_3Ca , augmente nettement P Al et P Ca, la somme des deux formes dépassant 66 ppm de P, alors que P Fe n'augmente que légèrement ; en valeur absolue la teneur en phosphate de Fer est beaucoup plus faible que dans les sols ferrallitiques.

En résumé

Les sols ferrallitiques et les sols à allophane sous culture de canne à sucre réagissent fortement aux engrais phosphatés :

a) dans les sols fertilisés par P_2O_5 et CO_3Ca :

La somme P Ca + P Al est de l'ordre de :

50 ppm de P dans les sols ferrallitiques,
et de 60 ppm de P dans les sols à allophanes.

La teneur en P Fe peut atteindre 130 à 150 ppm dans les sols ferrallitiques, elle est de 15 à 30 ppm dans les sols à allophanes.

Il semble donc qu'une forte teneur en phosphate de fer n'empêche pas la réaction des sols aux engrais phosphatés.

b) dans le cas du chaulage seul :

L'amélioration nette de la nutrition phosphatée obtenue par l'action du chaulage seul s'accompagne d'une nette augmentation de la teneur en phosphate d'alumine dans les sols à allophane, alors que l'augmentation de P Ca est faible.

Comme nous avons vu qu'une augmentation de P Fe n'avait qu'une faible action sur l'assimilabilité du phosphore, il semble que l'accroissement de P Al soit bénéfique au même titre que l'accroissement de P Ca.

Donc, dans les sols ferrallitiques et les sols à allophanes c'est essentiellement la somme de P Ca + P Al qui permet l'alimentation phosphatée des plantes. Lorsque cette somme est de l'ordre de 60 ppm, les sols restent carencés en phosphore et réagissent aux engrais phosphatés.

C - SOLS A MONTMORILLONITE CALCIQUE

Dans ces sols, c'est le phosphate de chaux qui domine, le phosphate de fer vient en deuxième position, le phosphate d'alumine est en proportion plus faible.

Nous avons trois groupes de sol :

- un groupe qui réagit fortement aux engrais phosphatés,
- un deuxième groupe qui est à la limite de réaction,
- le troisième groupe qui ne donne pas de réaction aux phosphates.

Dans ces trois groupes, la quantité de phosphate de fer est à peu près constante, par contre la teneur relative en phosphate d'alumine et surtout en phosphate de chaux augmente considérablement dans le cas des sols ne donnant pas de réactions aux engrais phosphatés.

Entre les sols à réponse nette et les sols à réponse limite, la teneur en phosphate d'alumine montre une augmentation relative sensible (7,5 à 15 ppm).

La somme (P Ca + P Al) est inférieure à 65 ppm dans les sols donnant une réponse et supérieure à 65 ppm dans les sols à réponse limite.

Dans les sols ne donnant pas de réaction aux engrais phosphatés, le phosphate d'alumine augmente nettement (37 ppm P) mais c'est surtout le phosphate de chaux qui atteint un niveau très élevé (plus de 200 ppm de P).

Sols ferrallitiques

Kaolinite et hydroxydes de fer - sols acides

	Essais réalisés	P Ca	P Al	P Fe	
		(en ppm de P)			
<u>1 - Parcelles nues</u>					
BELAIR	Epannage de 5 tonnes de CO_3Ca en 1957	0	7,5	65	réponse aux engrais phosphatés. Ces sols sont acides la chaux améliore la nutrition phosphatée
	200 kg de P_2O_5 super en 1959	5	7,5	90	
BOYER	Témoin sans engrais	0	2,5	52,5	
	5 tonnes de CO_3Ca 1958	0	7,5	65	
DUPRE ROUSSEL	200 kg de P_2O_5 super 1959	18,75	12,5	152,5	
	200 kg de P_2O_5 super + 5 tonnes de CO_3Ca en 1959	15	10	127,5	
<u>2 - Essais canne à sucre</u>					
ANANAS	N P K Ca	30	20	135	réponse nette à l'engrais phosphaté, augmentation du rendement par chaulage.
DOJON	N P K Ca	25	22,5	110	réponse aux engrais phosphatés.

Sols à allophane

Alumine libre, sols acides et désaturés

		P Ca	P Al (en ppm de P)	P Fe	
<u>1 - Parcelles nues</u>					
DIGUE	Témoïn sans engrais	7,5	25	15	Réponse aux engrais phosphatés. Dans des sols analogues l'apport de chaux améliore la nutrition phosphatée
	5 t de CO ₃ Ca	15	32,5	40	
	10 t de CO ₃ Ca	11,3	42,5	45	
	200 kg P ₂ O ₅	10	17,5	5	
	200 kg P ₂ O ₅ + 5 t CO ₃ Ca	31,25	35	25	
<u>2 - Essais canne à sucre</u>					
MANCEAU même sol que DIGUE	N P K Ca	22,5	34	15	Action hautement significative des engrais phosphatés, amélioration de la nutrition phosphatée par le chaulage

Sols à montmorillonite calcique

Essais canne à sucre

Essai		P Ca	P Al (en ppm de P)	P Fe	
CREUILLY-LAROCHE	N P K	56	7,5	43	réponse aux engrais phosphatés (en cours)
	CALICA	27,5	7,5	25	
LILETTE DEVARIEUX		52,5	15	50	pas de réponse au phosphate (limite)
		56	15	20	
COULEE fruit à pain	P	195	37,5	50	pas de réponse aux phosphates
RICHE PLAINE	P	270	32,5	50	

IV - CONCLUSION

Deux conclusions nettes s'imposent :

- d'une part, dans les sols ferrallitiques, une forte teneur en phosphate de fer supérieure à 100 ppm de P et pouvant atteindre 150 ppm ne permet pas une bonne alimentation phosphatée des plantes qui réagissent fortement aux engrais,

- d'autre part, dans des sols à montmorillonite calcique, une forte teneur en phosphate de chaux de l'ordre de 200 ppm permet une bonne alimentation phosphatée des plantes qui ne réagissent pas aux engrais.

en conséquence, ces deux conclusions permettent de formuler une hypothèse concernant le phosphate d'alumine dont l'action est moins nettement mise en évidence.

Dans les sols à allophane, riches en alumine libre, il semble que l'amélioration de l'alimentation phosphatée par le chaulage est liée en partie à l'accroissement de la teneur en phosphate d'alumine, l'accroissement de la teneur en phosphate de chaux étant faible, et l'accroissement de la teneur en phosphate de fer étant sans effet comme il a été démontré précédemment.

Il semble que la réponse aux engrais phosphatés a lieu lorsque la somme (phosphate de chaux + phosphate d'alumine) se situe au dessous de 65 ppm de P. Inversement, au dessus de cette valeur, on n'observe pas de réponse aux engrais. Nous avons obtenu des résultats analogues dans des sols de Côte d'Ivoire, mais avec une teneur en phosphate de chaux inférieure à 10 ppm de P, et une teneur en phosphate d'alumine supérieure à 50 ppm de P. Dans les sols des Antilles, le phosphate d'alumine fraîchement précipité semble jouer un rôle assez analogue à celui du phosphate de chaux, alors que le phosphate de fer paraît sans action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre.

V - DISCUSSION

Jusqu'à ces dernières années, on a considéré que les phosphates de fer et d'alumine dans les sols étaient peu utilisables pour les plantes, en raison de la faible solubilité de ces composés.

De nombreuses études récentes ont montré que le problème était en réalité plus compliqué.

Les composés de l'acide phosphorique avec le fer et surtout avec l'aluminium présentent des formes très variées. Il existe entre le phosphore et l'aluminium de nombreux complexes plus ou moins acides ou basiques dont la stabilité est variable ; il existe également des formes cristallisées telles que la variscite. Entre le phosphore et le fer, les complexes sont moins nombreux et généralement très stables. Il existe enfin des formes d'inclusion où le phosphore est très solidement rétrogradé. TAYLOR et al. (8) ont montré que seules les formes amorphes du phosphate d'alumine étaient utilisables par les plantes.

L'utilisation du phosphate d'alumine par les plantes augmente en fonction du pH, elle est plus élevée en milieu neutre ou basique qu'en milieu acide. La vitesse d'hydrolyse de ces phosphates intervient davantage que leur solubilité ; la dimension des particules joue également un rôle important : il peut se produire en effet certains polymères des phosphates. L'action de la chaux sur l'accroissement de la teneur en phosphate d'alumine, dosé par la méthode de CHANG et JACKSON (2) peut s'expliquer par le fait que cette méthode n'extrait pas la totalité du phosphate d'alumine (extraction par NH_4F 0,5 N à pH 7) mais vraisemblablement les complexes les moins stables qui apparaissent lors de l'accroissement du pH du sol. FIFE (6) indique qu'à pH 8,5, et pour un temps d'extraction de 24 h. (avec FNH_4 0,5 N) il obtient des résultats nettement supérieurs à ceux de la méthode CHANG et JACKSON.

Les faits les plus intéressants concernent l'évolution des formes du phosphore avec le temps.

CHANG et CHU (3) ont montré en étudiant la fixation expérimentale des phosphates sur le sol, qu'au bout de trois jours la majorité du phosphore se retrouvait sous forme de phosphate d'alumine et de chaux (action de surface due à la richesse du sol en alumine); par contre, au bout de trois mois, on notait une augmentation du phosphate de fer et une diminution des phosphates d'alumine et de chaux (sols de pH variant de 5,3 à 7,5). Il semble donc que le phosphore migre des complexes les moins stables (formés au cours de la fixation immédiate) vers les complexes les plus stables (évolution en fonction du temps). Ces faits ont été confirmés par les études de P.R. HESSE (7) dans les sols de mangrove, malgré la très grande quantité d'alumine libre de ces sols, le phosphate d'alumine est en très faible proportion par rapport au phosphate de fer et il est même inférieur au phosphate de chaux. Les apports de phosphore sont fixés en totalité par l'alumine, puis migrent ensuite rapidement vers la forme phosphate de fer, et, à la longue, vers la forme organique qui est extrêmement stable. Les petites quantités de phosphate d'alumine que l'on trouve dans les mangroves proviennent des apports récents d'alluvions.

En conclusion, le phosphate d'alumine extrait par (FNH₄ 0,5 N à pH 7) représente donc une forme de complexe relativement peu stable; alors que le phosphate de fer extrait par la soude 0,1 N correspond à un complexe beaucoup plus stable, d'où la différence d'assimilabilité des deux formes.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - CHAKRAVARTI (S.N.), TALIBUDEN (O.) - Phosphate equilibria in acid soils. *J. Soil Sc.* 1962, 13, 2, p. 231-240.
- 2 - CHANG (S.C.), JACKSON (M.L.) - Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sc.*, 1957, 84, 2, p. 133-144.
- 3 - CHANG (S.C.), CHU (W.K.) - The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sc.*, 1961, 12, 2, p. 286-293.
- 4 - DABIN (B.) - 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, 1, 3, p. 27-42.
- 5 - DEDATTA (S.K.), FOX (R.L.), SHERMAN (G.D.) - Availability of fertilizers phosphorus in three latosols of Hawaii. *Agron. J.*, 1963, 55, 4, p. 311-313.
- 6 - FIFE (C.V.) - An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum bound soil phosphate. Detailed studies on selected soils. *Soil Sc.*, 1962, 93, 9, p. 113-123.
- 7 - HESSE (P.R.) - Phosphorus relationships in a mangrove swamp mud with particular reference to aluminum toxicity. *Plant and Soil*. 1963, 19, 2, p. 205-218.
- 8 - TAYLOR (A.W.), LINDSAY (W.L.), HUFFMAN (E.O.), GURNEY (E.L.) - Potassium and ammonium tarakanites, amorphous aluminum phosphate and variscite as sources of phosphate for plants. *Proc. Soil Sc. Soc. Amer.*, Madison, 1963, 27, 2, p. 148-151.

ANNEXE

Renseignements communiqués par M. COLMET-DAAGE.

Echantillons prélevés en décembre 1960 dans des parcelles de 4 m² maintenues nues depuis octobre 1957.

N° des parcelles	5	2	7	10	11	12
BELAIR	Témoins sans engrais et sol nu depuis octobre 1957	Epannage de 5 t. de calcaire en octobre 1957	Epannage de 10 t. de calcaire en octobre 1957	épannage de 200 kg P ₂ O ₅ en super août 1959	épannage de 200 kg P ₂ O ₅ en super + 5 t calcaire en août 1959	épannage de 15 t de calcaire juillet 1958
DIGUE				épannage de 5 t de calcaire juillet 1959	épannage de 10 t de calcaire juillet 1958	
BOYER				5 t calcaire juillet 1958	x	
DUPRE				13	14	
				épannage de 200 kg P ₂ O ₅ en super août 1959	épannage de 200 kg P ₂ O ₅ en super août 1959 + 5 t calcaire	

Tous ces sols ont fait l'objet de prélèvements tous les deux mois. Rapport sous peu.
Ils sont acides et la chaux améliore la nutrition phosphatée.

Types de sols :

- BELAIR - BOYER - DUPRE : ferrallitiques friables, kaolinite bien cristallisée et hydroxydes de fer. Peu ou pas de minéraux résiduels.
- DIGUE : Sols à allophane et gibbsite - minéraux résiduels (débris d'andésite).