

Évolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique sous culture bananière

par **J. GODEFROY, J. LECOQ** et **P. LOSOIS** (*)

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.

ÉVOLUTION DES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET STRUCTURALES D'UN SOL VOLCANIQUE SOUS CULTURE BANANIÈRE

J. GODEFROY, J. LECOQ et P. LOSOIS (I. F. A. C.)

Fruits, vol. 24, n° 5, mai 1969, p. 257 à 271.

RÉSUMÉ. — L'évolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique, cultivé en bananier Poyo, est suivie depuis neuf ans par des analyses annuelles du sol.

Dans ce sol chimiquement riche, seule la fumure azotée s'avère nécessaire. Après neuf années de culture intensive du bananier les réserves en éléments minéraux (Ca — Mg — K — P) sont toujours élevées et ne diffèrent pas sensiblement de celles des parcelles à faible rendement (parcelles sans fumure azotée).

La matière organique et les caractéristiques structurales sont bonnes et constantes au cours des années.

INTRODUCTION

Les bananeraies du Cameroun sont établies sur des sols volcaniques à teneur élevée en éléments minéraux. Cette richesse minérale des sols du Cameroun permet de cultiver le bananier avec des apports d'engrais minéraux relativement faibles comparés aux fumures pratiquées dans d'autres pays d'Afrique dont les conditions pédologiques ne sont pas aussi favorables.

Les études entreprises sur la station I. F. A. C. de Nyombé depuis une dizaine d'années sur le cultivar Poyo ont montré qu'il était possible d'obtenir une production élevée et régulière sur des parcelles cultivées sans assolement et avec une fumure minérale réduite à des apports d'engrais azotés.

La question que l'on se pose est de savoir comment évolue le sol dans ces conditions de culture, où les

exportations d'éléments minéraux ne sont pas compensées par des apports de fertilisants chimiques ou organiques.

Dans les conditions actuelles de culture, ne risque-t-on pas, à plus ou moins brève échéance de voir la fertilité de ces sols diminuer ? C'est dans le but de répondre à cette question qu'un certain nombre de parcelles expérimentales de la Station de Nyombé sont analysées régulièrement depuis 1959.

L'évolution du sol est suivie dans cinq conditions de cultures :

1° culture sans aucun apport minéral, comme cela se pratique dans un certain nombre de plantations de type extensif ;

2° apports minéraux exclusivement azotés ;

3° apports minéraux exclusivement potassiques ;

4° apports minéraux exclusivement phosphatés ;

5° apports minéraux azotés, potassiques et phosphatés.

(*) Collaboration M^{me} MULLER : Laboratoire d'Agropédologie, de L. EBALA, moniteur d'Agriculture et de M^{me} HARDIVILLER, Service de biométrie I. F. A. C.

I. CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Sol.

Le sol formé à partir d'un matériau volcanique récent : le lapillis appartient au groupe des *bruns eutrophes* de la classification française (MARTIN, SIEFFERMANN, 1966). Le profil est du type suivant :

- 0 à 25-30 cm : horizon humifère, brun gris foncé (10 YR 3/2), limono-sableux, structure grumeleuse à grenue, meuble, poreux, 10 à 15 % de lapillis (\varnothing 2 à 10 mm).
- 30 à 40 cm : originellement horizon constitué en totalité de lapillis (épaisseur variable suivant les endroits). Le système de plantation : ouverture au ditcheur de sillons de 50 cm de profondeur, au fond desquels sont déposés les souches ou les rejets de bananiers, permet un mélange de ces lapillis avec la terre fine des horizons sus ou sous-jacents, permettant ainsi un meilleur développement des racines du bananier en profondeur.
- 40 à 100 cm : horizon brun foncé (10 YR 3/3), argilo-sableux, structure polyédrique, cohérent, compact.

L'horizon de surface (0-25 cm) à la *composition granulométrique* moyenne suivante :

Lapillis.....	10 à 15 %
Sable grossier.....	17 %
Sable fin.....	14 %
Limon grossier.....	13 %
Limon fin.....	33 %
Argile.....	13 %

Les minéraux argileux semblent formés essentiellement de kaolinite, associée parfois à la gibbsite. Cependant la capacité d'échange élevée (40 à 45 méq. p. cent/g d'argile) et un crochet de départ d'eau toujours net entre 140 et 200° C, laissent présager la présence d'une substance amorphe du type allophane (MARTIN, SIEFFERMAN, 1966).

Les *caractéristiques structurales* sont bonnes : indice d'instabilité I_s faible : 0,3 à 0,4, indice de perméabilité élevé : 4 à 5 cm/h. Malgré cette bonne stabilité structurale ($St = 75$) et une porosité totale

élevée : 60 à 65 %, l'aération du sol est insuffisante pendant 9 mois par an (DUGAIN, 1960). Des mesures d'humidité effectuées mensuellement pendant 16 mois (GODEFROY, 1960) ont en effet montré que de mars à novembre l'humidité du sol correspondait à des pF compris entre 2,0 et 2,2.

Les *caractéristiques chimiques* sont excellentes. La teneur en matière organique est élevée : 4,5 à 6,0 % (altitude 80 m) et bien minéralisée : rapport C/N toujours voisin de 10.

Les cations échangeables sont également à un niveau élevé :

Calcium.....	15 à 20 méq. p. cent/g
Magnésium.....	3 à 4 méq. p. cent/g
Potassium.....	2 à 3 méq. p. cent/g

Compte tenu de cette richesse en bases, le complexe absorbant est saturé à 80 %, d'où un pH faiblement acide : 6,0 à 6,5.

Les teneurs en phosphore sont très élevées : 0,7 p. mille d'assimilable.

Climat.

Bien que située sous 4,5° de latitude nord, cette région présente un *régime des pluies* « subéquatorial » à allure tropicale, car par suite du vent et du relief, de la mi-juin à la mi-octobre des pluies de mousson particulièrement abondantes viennent masquer le minimum de la petite saison sèche.

Le climat est caractérisé par une saison sèche et une saison humide prononcée. La saison sèche s'étend de la mi-novembre à la mi-février ; la saison pluvieuse de mi-juin à mi-octobre. Le total des précipitations annuelles moyennes pour les dix dernières années est de 2 700 mm avec 160 jours de pluies par an (cf. tableau I).

La *température* est élevée toute l'année : 25 à 27° C. L'amplitude des variations journalières dépasse rarement 10° C. Les températures minima se situent entre 21 et 22° C ; les températures maxima varient de 28 à 33° C, les maxima absolus ne dépassent jamais 35 à 36° C.

La durée d'*insolation* varie sensiblement au cours de l'année. Elle est élevée (200 à 220 h) non seulement pour les mois de décembre et janvier où les précipitations sont rares, mais aussi pour le mois de novembre et les mois de février à mai (175 à 195 h) où

TABLEAU I
Caractéristiques climatiques - Station IFAC Nyombé - Latitude 4,5°N. Altitude 80 mètres.

	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Moyenne
Précipitations mm *	16,1	47,0	165,7	225,9	222,8	293,2	343,4	408,1	450,5	377,1	124,8	12,1	2.717	
Nombre de jours de pluie *	2	5	11	14	13	17	21	23	24	21	8	2	161	
Températures maxima C° *	32,1	33,1	32,8	31,9	31,4	30,2	28,5	28,2	30,1	30,8	31,4	31,5	-	31,0
Températures minima C° *	21,5	22,0	22,2	22,0	22,2	22,0	21,7	21,6	21,8	21,9	21,9	21,9	-	21,8
Températures moyennes C° *	26,7	27,6	27,4	27,2	26,8	26,1	25,1	24,9	25,9	26,3	26,7	26,6	-	26,4
Humidité relative 7 h *	95	95	95	96	96	95	96	96	96	96	96	96	-	96
Humidité relative 13 h *	70	66	70	72	73	76	81	82	77	74	74	71	-	73
Humidité relative 18 h *	78	74	77	80	81	85	88	89	87	84	82	80	-	82
Insolation en heures **	218	190	195	178	177	149	83	66	101	149	188	204	1.900	-
Evaporation Piche m/m ***	61	61	60	50	47	41	30	29	37	44	49	52	560	-
Evapotranspiration Blaney et Criddle m/m *	135	125	140	140	135	130	135	130	130	135	130	135	1.600	-

* - moyennes de 10 années : 1958 à 1967

** - moyennes de 3 années : 1965-1966-1967

*** - moyennes de 6 années : 1962 à 1967

les pluies bien que fréquentes sont courtes et souvent nocturnes.

L'humidité relative reste toujours élevée, les minima pris à 13 h ne descendent jamais en-dessous de 60 %. L'humidité matinale prise à 7 h est constante, elle est proche du maximum tout au long de l'année avec formation abondante de rosée en saison sèche.

L'évapotranspiration : calculée par la formule de BLANEY et CRIDDLE est de 130 à 140 mm par mois. Compte tenu de la pluviosité, le bilan hydrique est largement excédentaire. Comme nous l'avons indiqué au paragraphe ci-dessus, l'humidité du sol est toujours élevée (supérieure à pF 2,5) pendant 9 mois de l'année. Seuls les mois de décembre, janvier et février sont secs : humidité du sol voisine du pF 4,2.

Le drainage calculé par la formule S. HENIN et G. AUBERT est de 2,15 m.

Technique expérimentale.

Les parcelles suivies sont choisies dans un essai de fumure minérale. Le dessin de mise en place de cet essai est du type factoriel :

NPK : $3 \times 2 \times 3$ avec 2 répétitions de 3 sous-blocs de 6 parcelles. Parmi les diverses combinaisons cinq traitements sont retenus.

Traitement 1.....	$N_0P_0K_0$ (fumure nulle)
Traitement 2.....	$N_0P_0K_2$
Traitement 3.....	$N_0P_1K_0$
Traitement 4.....	$N_2P_0K_0$
Traitement 5.....	$N_2P_1K_2$ (fumure maximum)

Compte tenu du dispositif de l'essai chacun de ces traitements a 2 répétitions. Les fumures minérales sont les suivantes :

N_2 : de la plantation (1959) à février 1964 : 550 Kg/

ha/an d'azote (N) ; après février 1964 la dose d'azote a été réduite de moitié, soit 275 Kg/ha/an. L'engrais utilisé est le sulfate d'ammoniaque.

P_1 : 150 Kg/ha/an de P_2O_5 , sous forme de phosphate bicalcique.

K_2 : 880 Kg/ha/an de K_2O , sous forme de chlorure de potassium.

La dose d'azote a été réduite en 1964, compte tenu des résultats agronomiques et physiologiques qui ont montré qu'il n'y avait pas de différences entre les doses simples (N_1) et doubles (N_2). Les apports sont fractionnés en trois dates : février, mai et novembre. L'engrais est épandu en couronne autour des bananiers, il n'est pas enfoui.

Les bananiers (Poyo) sont plantés à $2,75 \times 2$ m soit une densité à l'hectare de 1 820 pieds. Les prélèvements de sol sont effectués de 0 à 20 cm de profondeur dans chaque parcelle élémentaire de 190 m². Chaque échantillon est constitué de 30 prélèvements ponctuels effectués au centre du rectangle formé par 4 bananiers. Après séchage et tamisage manuel, au tamis à mailles carrées de 2 mm, la terre est mélangée et divisée avec un diviseur-échantillonneur. Les échantillonnages ont été réalisés aux dates suivantes :

1° A la plantation de l'essai préalablement à toute fumure différentielle : juin 1959,

2° janvier 1960,

3° janvier 1961,

4° janvier 1964,

5° février 1965,

6° janvier 1966,

7° janvier 1967,

8° janvier 1968.

La date des prélèvements correspond au deuxième mois de la saison sèche. On sait (GODEFROY, 1960) qu'il existe des variations saisonnières des éléments du sol assez importantes, c'est la raison pour laquelle

les échantillonnages sont toujours effectués à la même période climatique.

Jusqu'en 1957 le terrain était occupé par des cultures vivrières extensives : arachides, manioc, patate douce. Un test d'homogénéité (3 ha) basé sur la hauteur des bananiers à 6 mois a permis de distinguer 5 zones de fertilité (5 = zone la meilleure). La première répétition ou bloc A de 0,5 ha a été implantée en zone de fertilité 4 et 5, la deuxième répétition ou bloc B en zone de fertilité 3.

L'analyse du sol à la plantation de l'essai (juin 1959) permet de s'assurer que l'homogénéité du sol à l'intérieur des blocs est satisfaisante. Aucune des caractéristiques analysées n'est significativement différente entre les traitements.

Avant la mise en place de l'essai (février-mars 1959)

un semis de *Pueraria* a été effectué de façon à ce que cette légumineuse couvre déjà le sol au moment de la plantation (mai 1959). Par la suite, lorsque les bananiers se sont développés, la *pueraria* a régressé du fait de l'ombrage créé par la densité de plantation des bananiers (1 820 pieds/ha). Cette technique utilisant, une plante de couverture était très répandue dans les bananeraies camerounaises avec la variété Gros Michel. Avec l'introduction de la variété Poyo, cultivée à des densités élevées cette technique a disparu. Le sol étant laissé nu, il est nécessaire lorsque la bananeraie est jeune de supprimer la végétation adventive, ce qui se fait à la « machette ». En bananeraie adulte bien développée l'ombrage est suffisant pour empêcher le développement des mauvaises herbes.

II. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Matières organiques.

Carbone total.

La teneur en carbone total ne diffère pas entre les traitements pour chacune des années considérées (cf. tableau II). Les niveaux sont toujours élevés puisque toujours voisins de 3 %, soit une teneur en matière organique de l'ordre de 5 %. Les teneurs en éléments organiques sont rarement aussi élevées dans les sols tropicaux situés à basse altitude (80 m). Cette matière organique est bien minéralisée comme en témoignent les valeurs des rapports C/N toujours très voisins de 10.

Au cours des 10 années étudiées les variations du carbone sont très faibles (cf. fig. 1). Les niveaux sont identiques en 1959 et en 1968. En 1965 les teneurs en carbone sont légèrement plus élevées, ainsi d'ailleurs que toutes les autres caractéristiques chimiques.

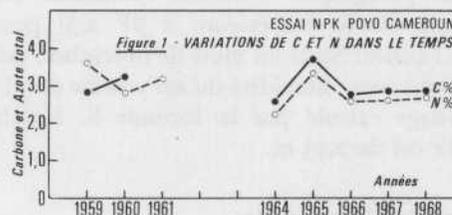


TABLEAU II
Matières organiques. Essai NPK Nyombé, Cameroun

Traitements	N ₀ P ₀ K ₀		N ₀ P ₁ K ₀		N ₂ P ₁ K ₂		p. p. d. s.		Coefficient de variation: CV %
	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	5 %	1 %		
Carbone total p. cent	Juin 1959	2,6	2,7	3,0	2,9	3,0	NS	-	5,0
	Janvier 1960	3,0	3,5	3,0	3,1	3,4	NS	-	12
	Janvier 1964	2,4	2,2	2,7	2,6	3,1	NS	-	11
	Février 1965	4,0	3,7	3,8	3,7	3,8	NS	-	6,9
	Janvier 1966	2,8	2,8	2,9	2,7	3,1	NS	-	5,4
	Janvier 1967	2,9	2,8	3,1	2,9	2,8	NS	-	6,7
	Janvier 1968	2,9	2,9	2,9	2,9	3,1	NS	-	5,8
	Azote total p. mille	Juin 1959	3,7	3,6	3,7	3,5	3,6	NS	-
Janvier 1960		2,8	2,7	2,9	2,9	2,9	NS	-	8,2
Janvier 1961		3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	NS	-	3,5
Janvier 1964		2,1	1,9	2,6	2,3	2,7	NS	-	12
Février 1965		3,6	3,2	3,4	3,3	3,4	NS	-	5,1
Janvier 1966		2,6	2,6	2,7	2,9	3,3	0,45	NS	5,8
Janvier 1967		2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	NS	-	9,0
Janvier 1968		2,8	2,8	2,7	2,7	3,0	NS	-	3,5
Rapport C/N	Juin 1959	7,1	7,7	8,0	8,4	8,3	NS	-	9,8
	Janvier 1960	12,5	13,0	10,4	10,7	11,5	NS	-	5,6
	Janvier 1964	11,5	12,0	10,5	11,6	11,6	NS	-	3,4
	Janvier 1965	11,2	11,4	11,1	11,1	11,2	NS	-	2,9
	Janvier 1966	11,0	11,0	10,5	10,0	9,5	NS	-	4,8
	Janvier 1967	10,7	10,4	10,7	10,6	10,3	NS	-	3,8
	Janvier 1968	10,3	10,4	10,5	10,6	10,4	NS	-	3,9

L'explication agronomique de ces niveaux plus élevés en 1965 n'est pas évidente.

Pour chacune des années considérées les coefficients de variation sont faibles : ils sont généralement compris entre 5 et 10 % $\left(CV \% = \frac{\text{écart type} \times 100}{\text{moyenne}} \right)$

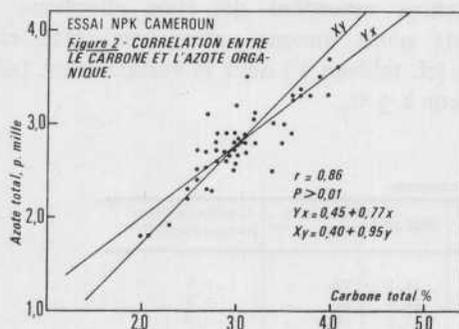
Azote organique.

L'azote total varie comme le carbone, les conclusions sont donc tout à fait identiques pour ces deux caractéristiques : pas de différences entre les traitements, ni entre les années (excepté 1965) (cf. tableau II et fig. 1). La corrélation entre C et N est étroite : coefficient de corrélation $r = 0,86$ ($P > 0,01$). L'équation des droites de régression s'écrit (cf. fig. 2) :

$$Y_x = 0,45 + 0,77 x \quad (x = \text{carbone}, y = \text{azote})$$

$$X_y = 0,40 + 0,95 y$$

Les coefficients de variation sont du même ordre de grandeur que ceux du carbone (5 à 8 %).



Rapport C/N.

Les rapports C/N sont extrêmement constants dans le temps et entre les traitements, ils sont tou-

jours voisins de 10 ou 11, sauf pour le prélèvement effectué au mois de juin 1959, pendant la saison des pluies pour lequel les rapports C/N sont compris entre 7 et 8 (cf. tableau II).

Azote minéral.

Les variations de l'azote minéral sont extrêmement importantes au cours de l'année (GODEFROY, 1966). L'étude de cet élément nécessite des analyses fréquentes, au minimum mensuelles. Il nous a néanmoins semblé intéressant de comparer, sur les échantillons prélevés chaque année, les niveaux en azote ammoniacal et nitrique entre les parcelles recevant ou non une fumure minérale azotée.

L'étude des résultats des années 1965 à 1968 montre qu'à l'exception de l'année 1966 les teneurs en azote minéral total varient peu entre les cinq traitements. Les niveaux sont du même ordre de grandeur pour les différentes années (cf. tableau III) :

Azote ammoniacal... 10 à 20 p. p. m.

Azote nitrique..... 0 à 10 p. p. m.

Pour l'année 1966 les niveaux en azote ammoniacal sont très élevés dans les 2 parcelles recevant de l'engrais azoté : 270 et 394 p. p. m. Les teneurs en azote nitrique sont également un peu plus élevées que la moyenne : 26 et 41 p. p. m. contre 10 p. p. m. dans les traitements sans azote. Cet azote ammoniacal est vraisemblablement de l'engrais qui n'a pas nitrifié en raison d'une humidité du sol insuffisante, en relation avec une année à saison sèche marquée. Y. DOMMERS, (1962) a en effet montré que les seuils de nitrification du sulfate d'ammoniacal étaient compris entre pF 2,7 et 3,7, dans les sols ferrallitiques. L'étude des variations saisonnières de l'humidité du sol (GODEFROY, 1959-1960)

TABLEAU III
Azote minéral - Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements		N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s		Coefficient de saturation; CV %
							5 %	1 %	
Février 1965	N - NH ₃ p. p. m.	12	12	13	14	13	NS	-	11
	N - NO ₃ p. p. m.	7	0	0	0	5	NS	-	19
	N - NH ₃ + NO ₃ p. p. m.	19	12	13	14	18	NS	-	30
Janvier 1966	N - NH ₃ p. p. m.	9	11	43	270	394	130	216	32
	N - NO ₃ p. p. m.	11	10	10	26	41	14	23	25
	N - NH ₃ + NO ₃ p. p. m.	20	21	53	296	435	127	211	28
Janvier 1967	N - NH ₃ p. p. m.	20	17	19	16	19	NS	-	18
	N - NO ₃ p. p. m.	6	3	5	13	17	6	10	26
	N - NH ₃ + NO ₃ p. p. m.	26	20	24	29	36	NS	-	17
Janvier 1968	N - NH ₃ p. p. m.	18	17	16	16	15	NS	-	4,4
	N - NO ₃ p. p. m.	3	2	3	4	6	NS	-	30
	N - NH ₃ + NO ₃ p. p. m.	21	19	19	20	21	NS	-	9,4

montre que le point de flétrissement (pF 4,2) est rapidement atteint dans l'horizon de surface dès que s'établit la saison sèche.

DATE DU DERNIER ÉPANDAGE DE SULFATE D'AMMONIAQUE (450 kg/ha)	DATE DU PRÉLÈVEMENT DE TERRE	HAUTEUR DES PLUIES ENTRE LE DERNIER ÉPANDAGE ET LE PRÉLÈVEMENT (mm)
6-II-64	22-2-65	145
3-II-65	21-I-66	89
1-II-66	7-I-67	147
2-II-67	20-I-68	140

En 1967 les teneurs en azote nitrique sont significativement plus élevées dans les traitements « N₂ » mais même dans ces parcelles les niveaux sont faibles. Pour cette même année les taux d'azote ammoniacal sont identiques dans toutes les parcelles.

Les teneurs en N-NH₃ sont toujours supérieures aux teneurs en N-NO₃, ce que nous avons déjà

observé dans l'étude des variations saisonnières. On observe le phénomène inverse dans les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire : l'azote minéral est presque exclusivement sous forme de nitrates. Il semblerait donc que, malgré une pluviosité plus élevée au Cameroun qu'en Côte d'Ivoire (2 700 mm contre 2 000 mm), la nitrification soit moins rapide dans les sols volcaniques de Nyombé (températures identiques : 26° C). Dans les sols de Martinique et de Guadeloupe la forme ammoniacale est également la plus importante ; il semblerait donc que la nitrification soit moins rapide dans les sols d'origine volcanique.

L'hétérogénéité entre les échantillons est élevée : coefficients de variation compris entre 10 et 30 %.

Complexe absorbant.

Capacité de fixation.

Le pouvoir de fixation des cations est élevé : 25 à 30 méq. p. cent/g de sol, ce qui est en relation avec la teneur élevée en matière organique et la présence de substances amorphes du type allophane. Les traitements n'ont aucune action sur cette caractéristique (cf. tableau V) dont la variation est faible : CV inférieur à 5 %.

TABLEAU V
Complexe absorbant. Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s.		Coefficient de saturation; CV %
						5 %	1 %	
Capacité de fixation méq. p. cent g.	Juin 1959	29,0	29,5	31,5	29,5	31,8	NS -	3,5
	Janvier 1960	23,2	24,6	22,9	23,4	22,9	NS -	7,2
	Janvier 1964	21,2	21,4	22,3	20,4	23,6	NS -	3,3
	Février 1965	38,2	37,1	38,5	35,0	37,8	1,8 NS	1,7
	Janvier 1966	31,8	32,8	33,4	32,3	34,5	NS -	2,5
	Janvier 1967	26,9	25,8	24,1	23,9	24,3	NS -	6,0
	Janvier 1968	30,2	31,9	33,1	32,8	32,6	NS -	4,7
Coefficient de saturation p. cent	Juin 1959	71	70	65	63	69	NS -	9,1
	Janvier 1960	84	97	98	89	95	NS -	8,8
	Janvier 1964	99	99	100	62	81	20,6 NS	8,5
	Février 1965	77	83	75	74	77	NS -	6,2
	Janvier 1966	78	87	79	69	84	NS -	4,8
	Janvier 1967	85	91	92	76	82	NS -	5,2
	Janvier 1968	70	70	72	62	62	NS -	6,7
pH	Janvier 1960	6,2	6,6	6,7	6,2	6,7	NS -	4,3
	Janvier 1961	6,4	6,1	6,4	4,9	5,0	0,4 0,6	2,3
	Janvier 1964	6,4	5,9	6,5	5,1	5,1	0,4 0,7	2,6
	Février 1965	6,7	6,7	6,6	6,4	6,4	NS -	2,6
	Janvier 1966	6,4	5,7	6,3	5,6	5,5	0,6 NS	3,7
	Janvier 1967	6,5	6,4	6,4	6,1	6,1	NS -	2,9
	Janvier 1968	6,5	6,4	6,5	6,2	6,2	NS -	2,3

Calcium échangeable.

La fumure azotée entraîne une diminution du calcium échangeable d'autant plus importante que la quantité d'engrais épandue est élevée (cf. tableau IV). L'apport de 550 kg/ha/an d'azote (soit 2 750 kg de

sulfate d'ammoniaque) jusqu'en 1964 a provoqué une baisse relativement importante du calcium dans les deux traitements « azote », diminution en partie compensée dans le traitement « azote + phosphore » par le calcium apporté avec le phosphate bicalcique.

TABLEAU IV
Cations échangeables. Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s.		Coefficient de variation: CV %	
						5 %	1 %		
Calcium échangeable még. p. cent g.	Juin 1959	14,2	15,5	14,7	13,5	16,2	NS	-	5,3
	Janvier 1960	13,8	16,2	16,0	14,2	16,4	NS	-	6,9
	Janvier 1961	13,9	15,0	18,4	9,3	11,7	NS	-	18
	Janvier 1964	14,8	12,1	18,6	7,6	11,8	4,7	NS	13
	Février 1965	20,1	19,9	19,5	16,8	18,4	NS	-	10
	Janvier 1966	17,4	18,0	19,0	15,6	18,4	NS	-	8,2
	Janvier 1967	15,5	15,6	14,9	11,6	12,5	NS	-	9,6
	Janvier 1968	14,7	15,7	16,5	13,4	13,5	NS	-	11,8
Magnésium échangeable még. p. cent g.	Juin 1959	3,4	2,6	3,4	2,7	2,9	NS	-	21
	Janvier 1960	3,7	4,7	4,7	4,5	4,6	NS	-	9,7
	Janvier 1961	4,1	4,3	5,3	3,9	3,2	1,0	NS	8,9
	Janvier 1964	3,9	2,7	3,9	2,9	2,6	NS	-	17
	Février 1965	5,2	4,3	5,2	5,0	4,1	0,7	NS	5,0
	Janvier 1966	4,2	3,9	4,2	4,1	3,9	NS	-	8,5
	Janvier 1967	3,9	3,6	3,8	3,4	3,1	NS	-	6,1
	Janvier 1968	4,0	3,9	4,8	4,3	3,9	NS	-	6,5
Potassium échangeable még. p. cent g.	Juin 1959	2,5	2,6	2,0	2,1	2,3	NS	-	7,7
	Janvier 1960	1,7	2,5	1,7	1,6	1,8	0,6	NS	11,1
	Janvier 1961	2,4	8,7	2,0	1,3	4,8	0,3	0,5	2,9
	Janvier 1964	2,6	6,8	1,7	2,8	4,4	1,4	2,3	15
	Février 1965	3,9	6,2	3,7	4,0	6,3	1,9	NS	14
	Janvier 1966	2,9	6,3	2,7	2,2	6,3	1,7	2,9	15
	Janvier 1967	3,5	4,2	3,1	2,9	4,0	NS	-	12
	Janvier 1968	2,3	2,8	2,1	2,4	2,9	NS	-	10
Sodium échangeable még. p. cent g.	Juin 1959	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	NS	-	19
	Janvier 1960	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	NS	-	11,6
	Janvier 1961	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	NS	-	29
	Janvier 1964	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	NS	-	21
	Février 1965	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	NS	-	3,9
	Janvier 1966	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	NS	-	18
	Janvier 1967	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	NS	-	8,7
	Janvier 1968	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	NS	-	20
Somme des cations échangeables még. p. cent g.	Juin 1959	20,5	20,5	20,4	18,6	21,9	NS	-	6,6
	Janvier 1960	19,6	23,8	22,8	20,7	23,2	NS	-	6,5
	Janvier 1961	20,5	28,3	26,1	14,7	20,0	7,0	NS	11
	Janvier 1964	21,4	21,8	24,4	12,5	19,0	6,4	NS	12
	Février 1965	29,4	30,8	28,7	26,0	29,1	NS	-	6,3
	Janvier 1966	24,9	28,6	26,2	22,1	28,9	NS	-	8,9
	Janvier 1967	23,1	23,6	22,1	18,2	19,9	NS	-	7,6
	Janvier 1968	21,2	22,6	23,6	20,2	20,5	NS	-	9,6

Teneurs en Ca échangeable : még. p. cent/g.

	TÉMOIN	AZOTE SEUL	AZOTE + PHOSPHORE
1961.....	13,9	9,3	11,7
1964.....	14,8	7,6	11,8

Après réduction de la quantité d'engrais azoté à partir de février 1964 (275 kg/ha d'azote) la différence entre les traitements avec et sans azote tend à s'atténuer.

	TÉMOIN	AZOTE SEUL	AZOTE + PHOSPHORE
1967.....	15,5	11,6	12,5
1968.....	14,7	13,4	13,5

Les teneurs sont généralement les plus élevées dans les parcelles recevant uniquement du phosphate bicalcique, mais cette observation ne s'applique pas à tous les prélèvements. Après neuf années de culture continue du bananier les niveaux n'ont pas varié dans les traitements sans azote. Dans les parcelles à fumure azotée la diminution est faible et les niveaux sont encore très suffisants.

	1959	1960	1967	1968
Sans fumure.....			15,5	14,7
Fumure azotée.....			11,6	13,4
Fumure phosphatée..	14,8 ± 1,0	15,3 ± 1,2	14,9	16,5
Fumure potassique..			15,6	15,7

Les coefficients de variation entre les parcelles, compte tenu du dispositif expérimental, sont moyens : CV de l'ordre de 10 %.

Magnésium échangeable.

L'action des diverses fumures minérales est faible sur les niveaux en magnésium échangeable. Certaines années, on observe néanmoins une tendance à une diminution du magnésium dans les parcelles recevant une fumure azotée ou potassique, surtout lorsque N et K sont associés ($N_2 P_1 K_2$) (cf. tableau IV). Au prélèvement de janvier 1968 cette diminution n'apparaît pas, et les niveaux dans tous les traitements sont du même ordre de grandeur qu'à la mise en place de l'essai.

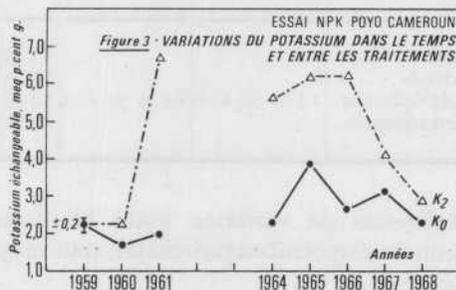
juin 1959	: 3,0 ± 0,5 méq. p. cent
janvier 1960	: 4,4 ± 0,4 méq. p. cent
janvier 1968	T = 4,0 méq. p. cent
	N_2 = 4,3 méq. p. cent
	P_1 = 4,8 méq. p. cent
	K_2 = 3,9 méq. p. cent
	$N_2 P_1 K_2$ = 3,9 méq. p. cent

Quels que soient les traitements et les années, les teneurs sont élevées (3 à 5 méq. p. cent) et largement suffisantes pour l'alimentation des bananiers.

Les coefficients de variation sont du même ordre de grandeur que ceux du calcium.

Potassium échangeable.

L'apport d'engrais potassique (880 kg/ha/an de K_2O) augmente significativement les teneurs en potassium du sol ($P = 0,01$) et certaines années les niveaux sont même excessifs (6 à 8 méq. p. cent) (cf. tableau IV et fig. 3). Dans ce sol riche en potassium (2 à 3 méq. p. cent) la fumure potassique ne se justifie pas, ce que confirme l'étude agronomique. Un excès de potassium peut induire une carence en magnésium connue sous le nom de « bleu du bananier ». Les travaux de F. DUGAIN effectués dans les bananeraies guinéennes atteintes de « bleu » montrent la relation entre cette « maladie » et la valeur du rapport K/Mg. Les symptômes apparaissent lorsque ce rapport K/Mg est supérieur à 0,25. Dans cet



essai, on n'a pas observé, au cours des neuf années de culture, de symptômes de « bleu » bien que les rapports K/Mg soient compris entre 1 et 1,5 dans les traitements K_2 , donc très nettement supérieurs à la valeur critique définie par F. DUGAIN. Il semble donc que dans un sol riche en magnésium comme celui sur lequel est implanté l'essai, la notion de rapport critique entre K et Mg ne s'applique pas. Cette assertion est confirmée par les résultats du diagnostic foliaire : les teneurs en Mg des feuilles sont élevées dans tous les traitements y compris dans les traitements K_2 . A notre connaissance les symptômes du « bleu », que ce soit dans les sols de Guinée, de Côte d'Ivoire ou de Martinique, ont toujours été observés sur des sols pauvres en magnésium. Dans ces sols à faible teneur en Mg, des apports trop importants d'engrais potassique provoquent un déséquilibre entre ces deux cations. Dans le cas de sols riches en magnésium comme les sols volcaniques du Cameroun, ou les sols d'alluvions de Madagascar, il ne semble pas y avoir de rapport critique entre K et Mg.

Les niveaux en potassium du sol n'ont pas baissé au cours de la période étudiée, même dans les parcelles à production maximum (N_2).

Niveau à la mise en place de l'essai : 2,2 ± 0,2 méq. p. cent.

	1966	1967	1968
$N_0 K_0$	2,8	3,4	2,2
$N_2 K_0$	2,2	2,9	2,4
$N_0 K_2$	6,3	4,2	2,8
$N_2 K_2$	6,3	4,0	2,9

Les variations de teneurs entre années et entre échantillons prélevés à la même date sont assez importantes ; coefficient de variation : 10 à 15 %. Lors de l'étude des variations saisonnières (GODEFROY, 1960) nous avons déjà mis en évidence cette forte hétérogénéité du potassium échangeable entre échantillons d'une même parcelle : CV = 18 à 35 p. cent. En pratique, étant donné la teneur élevée de cet élément dans le sol, cette hétérogénéité n'a pas de signification agronomique ; dans tous les cas on se trouve largement au-dessus du niveau critique.

Sodium échangeable.

Les traitements sont sans action sur la teneur en sodium échangeable. Le sol est pauvre en cet élément : inférieur à 0,4 méq. p. cent.

Somme des cations échangeables.

La somme des cations varie dans le même sens que le calcium qui représente 65 à 70 % des cations échangeables. Jusqu'en 1964 les teneurs sont significativement plus faibles dans les traitements « azote », par la suite après réduction de la fumure azotée les différences s'atténuent et les niveaux remontent aux valeurs initiales.

Somme des cations échangeables : méq.p. cent/g.

	1959	1960	1961	1964	1967	1968
Témoin...	20,4 ± 1,3	22,0 ± 1,6	20,5	21,4	23,1	21,2
N ₂ P ₀ K ₀ ...			14,7	12,5	18,2	20,2

Les coefficients de variation sont du même ordre de grandeur que ceux de Ca et Mg : 6 à 10 %.

Coefficient de saturation et pH.

Corrélativement à une diminution de la somme des cations échangeables l'engrais azoté entraîne une diminution du coefficient de saturation et du pH.

Pour les doses élevées d'apport de sulfate d'ammoniac la baisse de pH est de 1 à 1,5 unité pH (cf. tableau V). L'acidification apparaît dès la première année, ensuite le pH se stabilise au voisinage de 5,0. Après réduction des doses d'azote dans les traitements « N₂ » (1964) l'acidification diminue et les différences par rapport au témoin ne dépassent pas 0,5 unité pH. L'année 1966 fait exception : l'acidification plus marquée est en relation avec les fortes concentrations d'engrais azoté dans le sol (cf. paragraphe : azote ammoniacal).

Le pH est la caractéristique dont la variation est la plus faible : coefficient de variation : 2 à 4 %.

Valeurs du pH.

	1960	1961	1964	1965	1966	1967	1968
Témoin.....	6,5 ± 0,2	6,4	6,4	6,7	6,4	6,5	6,5
N ₂ P ₀ K ₀		4,9	5,1	6,4	5,6	6,1	6,2
N ₂ P ₁ K ₂		5,0	5,1	6,4	5,5	6,1	6,2

Le taux de saturation en cations est toujours élevé dans ce sol : 70 à 100 % dans les parcelles sans fumure azotée, 60 à 80 % dans les traitements « N₂ ». Il n'y a pas de relation simple entre le coefficient de saturation et le pH, contrairement à ce qu'on observe dans les sols de bananeraies de Côte d'Ivoire ou de Madagascar.

Phosphore assimilable.

L'apport de phosphate bicalcique (150 kg/ha/an de P₂O₅) élève faiblement les valeurs en phosphore assimilable, mais non significativement (cf. tableau VI). Quels que soient les traitements, les teneurs sont élevées : 0,6 à 0,7 p. mille ; la fumure phosphatée ne se justifie pas dans ce sol. L'analyse des différentes formes de phosphore réalisée par B. DABIN sur les échantillons du prélèvement de 1964, suivant la méthode de CHANG et JACKSON ne permet pas davantage de mettre en évidence des différences significatives entre les traitements.

Dans aucune des parcelles on n'observe une diminution de la fraction assimilable au cours des années.

Éléments totaux et réserves.

L'analyse des éléments totaux est faite sur les échantillons du prélèvement 1967, soit huit ans après la mise en place de l'essai.

TABLEAU VI
Phosphore assimilable et total, Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements		N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s.		Coefficient de variation; CV %
							5 %	1 %	
* Phosphore assimilable P ₂ O ₅ p. mille	Janvier 1960	0,40	0,47	0,37	0,35	0,50	NS	-	34
	Février 1965	0,71	0,78	0,73	0,70	0,82	NS	-	24
	Janvier 1966	0,77	0,81	0,84	0,77	1,05	NS	-	24
	Janvier 1967	0,66	0,68	0,71	0,69	0,90	NS	-	27
	Janvier 1968	0,66	0,66	0,75	0,68	0,87	NS	-	27
Phosphore total P ₂ O ₅ p. mille	Janvier 1960	6,9	9,7	6,7	6,6	9,7	NS	-	31
	Janvier 1964	7,2	8,4	8,8	8,1	8,8	NS	-	10
	Janvier 1967	6,7	6,9	7,3	5,6	6,4	NS	-	30

* 1960 : Méthode, Truog; 1965 à 1968 : Méthode Dyer.

Teneurs en phosphate de chaux, d'alumine et de fer.
Résultats exprimés au P₂O₅ p. mille. Prélèvement 1964.

	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₂ P ₀ K ₀	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	P. P. D. S. 5 %	COEFFICIENT DE VARIATION (CV %)
(PO ₄ O) ₂ Ca ₃	1,26	1,41	1,29	1,41	1,40	N. S.	16
PO ₄ Al.....	1,21	1,34	1,32	1,53	1,72	N. S.	20
PO ₄ Fe.....	2,85	3,29	3,44	3,62	3,79	N. S.	11
PO ₄ Fe d'inclusion.....	1,91	2,33	2,03	2,20	1,89	N. S.	20

Calcium.

Les teneurs en calcium total sont élevées : 20 à 30 méq. p. cent. Les taux maxima correspondent aux parcelles sans fumure minérale, les minima aux traitements « azote » seul. Ces variations entre les traitements ne sont pas significatives (cf. tableau VII).

Les réserves (total — échangeable) représentent 40 à 50 % du calcium total. Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements. La corrélation entre Ca total et Ca échangeable est assez lâche : coefficient de corrélation $r = 0,58$ ($P = 0,10$).

Magnésium.

Ce sol est extrêmement riche en magnésium total et en réserves : 70 à 95 méq. p. cent (valeurs extrêmes en Mg total = 54 à 110 méq. p. cent). La teneur plus élevée dans le traitement « sans fumure » n'est pas significative, et d'ailleurs à ces hauts niveaux des différences n'ont pas de signification agronomique. Il n'y a pas de corrélation entre les valeurs en Mg total et Mg échangeable : $r = 0,15$.

Potassium.

Le potassium total est à un niveau satisfaisant : 4 à 5 méq. p. cent. Une part importante de cet élément (70 à 80 %) se trouve sous forme échangeable. Les parcelles enrichies en potasse ont les teneurs les plus élevées en éléments totaux (non significatif statistiquement), mais non en réserve, ce qui indique que tout l'engrais apporté reste sous forme échangeable et qu'il n'y a pas de rétrogradation. Il y a une corrélation entre K total et échangeable : $r = 0,69$ ($P = 0,05$).

Sodium.

Le sodium total est du même ordre de grandeur que le potassium : 2 à 4 méq. p. cent ; les traitements ne sont pas significativement différents. La variation de Na échangeable est indépendante de celle de Na total : $r = 0,03$.

Phosphore.

Le sol est très riche en phosphore total et en réserves : 6 à 8 p. mille de P₂O₅ (cf. tableaux VI et

TABLEAU VII
Eléments totaux* et réserves.** Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s.		Coefficient de variation CV %
						5 %	1 %	
Calcium total méq. p. cent	31	26	26	21	25	NS	-	18
Calcium de réserve méq. p. cent	15	11	11	10	13	NS	-	39
Magnésium total méq. p. cent	95	71	77	78	89	NS	-	15
Magnésium de réserve méq. p. cent	92	67	74	75	85	NS	-	16
Potassium total méq. p. cent	4,7	5,1	4,3	4,2	5,2	NS	-	7,6
Potassium de réserve méq. p. cent	1,2	0,9	1,2	1,4	1,2	NS	-	46
Sodium total méq. p. cent	4,3	1,9	2,9	2,6	3,2	NS	-	49
Sodium de réserve méq. p. cent	4,0	1,6	2,6	2,4	2,9	NS	-	54
Phosphore total : P ₂ O ₅ p. mille	6,7	6,9	8,0	6,3	7,3	NS	-	25
Phosphore de réserve : P ₂ O ₅ p. mille	6,0	6,3	7,3	5,6	6,4	NS	-	30

* - prélèvement de janvier 1967

** - Réserve : élément total - élément échangeable (assimilable pour P).

VII). Les faibles différences entre traitements, au profit des traitements P₁ ne sont pas significatives. La fumure phosphatée est en fait très faible : 150 kg/ha/an de P₂O₅, ce qui représente un apport annuel

de 0,07 p. mille environ, soit 1 % des réserves en phosphore du sol. La fraction assimilable représente en moyenne le 1/10 du phosphore total ; il n'y a pas de corrélation entre P total et P assimilable : $r = 0,15$.

III. CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES

Stabilité de la structure.

Les études sur la structure n'ont débuté dans cet essai qu'à partir de l'année 1966. Pour apprécier la stabilité de la structure, c'est-à-dire sa résistance aux dégradations, nous avons utilisé la méthode proposée par S. HENIN et ses collaborateurs (G. MONNIER, A. COMBEAU, 1958). Rappelons brièvement qu'il s'agit d'une série de tamisages à 0,2 mm effectués sous l'eau et dans des conditions standards sur les échantillons de sols étudiés. Préalablement au tamisage certains échantillons sont humectés par des liquides organiques dans le but d'apporter des nuances à l'action directe de l'eau sur la terre sèche. Les taux d'agrégats stables récupérés sur le tamis diminués de la quantité de sables grossiers (0,2 à 2 mm) qu'ils renferment sont dits « agrégats vrais ». A partir de ces éléments et en tenant compte de la quantité d'éléments inférieurs à 20 μ qui apparaissent au cours des opérations de tamisage, il est possible d'établir un indice unique : Is dit « indice d'instabilité ». La stabilité est d'autant meilleure que l'indice Is est plus faible. On détermine également dans des

conditions standards un indice de perméabilité : K qui est un test de percolation. En utilisant la relation linéaire qui existe entre $\log_{10} K$ et $\log_{10} Is$ on calcule un indice unique dit de « stabilité structurale ».

$$St = 20 (2,5 + \log_{10} K - 0,837 \log_{10} Is)$$

Les résultats analytiques sont résumés dans le tableau VIII. Aucune des caractéristiques de la structure ne diffère entre les traitements et les années ; la valeur de F (test de Snédécour) est toujours inférieure à 1 alors que la signification à la probabilité 95 % exigerait des valeurs de F supérieures à 6,4.

Les « taux d'agrégats vrais » sont toujours élevés et la variation faible : CV = 3 à 8 %.

	1966	1967	1968
Agrégats vrais stables à l'alcool (%).....	49,3	48,3	48,4
Agrégats vrais stables à l'eau (%).....	45,3	46,5	44,2
Agrégats vrais stables au benzène (%)....	25,0	27,5	23,6

TABLEAU VIII
Caractéristiques structurales. Essai NPK Nyombé, Cameroun.

Traitements	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	p. p. d. s.		Coefficient de saturation: CV %
						5 %	1 %	
Janvier 1966	% Agrégats stables à l'alcool	70	71	71	72	68	NS	3,6
	% Agrégats stables à l'eau	67	66	67	67	64	NS	4,7
	% Agrégats stables au benzène	46	42	50	47	48	NS	5,9
	% Sables grossiers	22	16	24	24	22	NS	22
	% A + L maximum	16	15	14	16	12	NS	21
	Indice d'instabilité : I _s	0,38	0,32	0,33	0,37	0,30	NS	14
	Indice de perméabilité : K cm/h	4,9	5,7	4,1	5,1	4,3	NS	13
Stabilité structurale : S _t	74	77	74	75	75	NS	4,5	
Janvier 1967	% Agrégats stables à l'alcool	61	61	63	61	60	NS	3,2
	% Agrégats stables à l'eau	60	60	60	58	58	NS	3,7
	% Agrégats stables au benzène	43	38	42	38	41	NS	5,7
	% Sables grossiers	13	10	13	13	14	NS	31
	% A + L maximum	12	15	12	14	12	NS	12
	Indice d'instabilité : I _s	0,28	0,34	0,29	0,35	0,30	NS	13
	Indice de perméabilité : K cm/h	4,5	3,5	4,6	4,0	3,8	NS	30
Stabilité structurale : S _t	76	72	75	73	75	NS	4,5	
Janvier 1968	% Agrégats stables à l'alcool	65	69	62	60	64	NS	8,6
	% Agrégats stables à l'eau	60	63	60	58	57	NS	7,8
	% Agrégats stables au benzène	41	37	40	37	41	NS	7,7
	% Sables grossiers	17	13	15	16	17	NS	23
	% A + L maximum	16	18	16	17	15	NS	11
	Indice d'instabilité : I _s	0,40	0,41	0,40	0,46	0,38	NS	11
	Indice de perméabilité : K cm/h	4,7	5,7	5,2	4,4	3,2	NS	39
Stabilité structurale : S _t	73	74	74	72	70	NS	5,2	

Les indices d'instabilité « Is » sont faibles : 0,3 à 0,4 et les indices de perméabilité « K » élevés : 4 à 6 cm/h, d'où une bonne stabilité de la structure exprimée par des valeurs élevées de l'indice de stabilité structurale « St » : 70 à 77. Les variations de « St » sont faibles : coefficients de variation : 4 à 5 %, celles de Is sont moyennes : CV = 10 à 15 % et celles de K grandes : CV = 13 à 39 %.

	1966	1967	1968
Indice d'instabilité (Is).....	0,34	0,31	0,41
Indice de perméabilité (K).....	4,8	4,1	4,6
Indice de stabilité structurale (St)....	74,6	74,1	72,7

Caractéristiques hydriques.

Les caractéristiques hydriques ont été définies sur les échantillons du prélèvement 1965. Les humidités pour un pF donné sont identiques dans tous les traitements.

Densité apparente et porosité totale.

Les traitements n'ont pas d'action sur les poids spécifiques apparents, ni par conséquent sur la porosité totale, cette caractéristique étant fonction des densités apparentes et réelles. Dans ce sol volcanique la densité réelle est égale à 2,3.

Les variations entre échantillons sont faibles : CV = 4,2 %.

Humidité pondérale à différents pF .

	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	P. P. D. S.	CV (%)
pF 1,5.....	72,4	70,9	70,3	69,4	73,6	N. S.	4,1
pF 2,2.....	40,1	40,6	40,4	40,8	40,8	N. S.	2,5
pF 3,0.....	36,2	36,3	37,2	36,3	35,8	N. S.	3,1
pF 4,2.....	26,9	27,5	27,4	26,6	26,1	N. S.	3,3

Densité apparente et porosité totale.

	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₀	N ₂ P ₀ K ₀	N ₂ P ₁ K ₂	TEST (F 5 %)
Densité apparente....	0,87	0,86	0,85	0,86	0,88	N. S.
Porosité totale (% du volume).....	62	63	63	63	61	N. S.

IV. RÉSULTATS AGRONOMIQUES

Les caractéristiques biométriques du bananier et du régime sont suivies en détail dans cet essai. Ces données devant être publiées prochainement par le service de biométrie, nous nous limitons à quelques résultats concernant l'action des fumures sur la production des régimes.

Seule la fumure azotée a une action bénéfique sur le rendement en fruits. La non-réponse aux fumures potassiques et phosphatées ne surprend pas dans ce sol naturellement riche en P et K. Les rendements

obtenus au cours de la première révolution (1959-1963) sont identiques avec les deux doses d'azote : N₁ = 275 kg/ha, et N₂ = 550 kg/ha, c'est la raison pour laquelle les doses ont été réduites de moitié (N₁ = 137 kg, N₂ = 275 kg) à la deuxième révolution (février 1964). A ces apports plus faibles d'engrais azoté qui correspondent à une fumure annuelle de 75 et 150 g par bananier, on observe des différences de rendement de 4 à 5 t à l'hectare, en faveur des traitements à la dose la plus élevée (N₂).

TRAITEMENTS	NOMBRE DE RÉGIMES RÉCOLTÉS A L'HECTARE	POIDS MOYEN (kg)	PRODUCTION (t/ha)	PRODUCTION (%)
<i>1^{re} révolution.</i>				
1 ^{er} cycle N ₀	I 732	13,9	24,1	100
N ₁	I 719	16,5	28,4	118
N ₂	I 706	16,5	28,2	117
2 ^e cycle N ₀	I 664	15,2	25,3	100
N ₁	I 634	20,7	33,8	134
N ₂	I 703	20,7	35,3	140
3 ^e cycle N ₀	603	16,9	10,2	100
N ₁	I 336	21,7	29,0	284
N ₂	I 424	21,7	30,9	303
<i>2^e révolution.</i>				
1 ^{er} cycle N ₀	I 740	16,2	28,2	100
N ₁	I 715	22,7	38,9	138
N ₂	I 738	24,8	43,1	153
2 ^e cycle N ₀	I 164	17,7	20,6	100
N ₁	I 471	26,2	38,5	187
N ₂	I 437	30,2	43,4	211
3 ^e cycle N ₀	157	22,0	3,5	100
N ₁	I 248	27,6	34,4	982
N ₂	I 545	30,2	46,7	I 334

V. CONCLUSION

Cette étude montre que les caractéristiques chimiques et structurales du sol sont peu modifiées par les fumures minérales après neuf années de culture.

L'apport de sulfate d'ammoniaque à des doses élevées : 2 750 kg/ha/an (soit 550 kg de N) provoque néanmoins une diminution du pH de 1 à 1,5 unités, en relation avec une désaturation du complexe absorbant liée à une baisse des cations échangeables, principalement du calcium. Après réduction de moitié de la fumure minérale azotée à partir de 1964, motivée par une non-réponse des bananiers à une dose supérieure à 275 kg de N, les différences entre parcelles « témoin » et « fumure azotée » s'estompent. La baisse de pH ne dépasse pas 0,5 unité et les diminutions en calcium et magnésium échangeables ne sont plus statistiquement significatives.

L'étude de l'azote minéral montre que quatre mois après l'épandage du sulfate d'ammoniaque et une pluviosité de l'ordre de 140 mm, les niveaux en azote ammoniacal et nitrique sont redevenus identiques dans tous les traite-

ments. La saison sèche 1965-1966 ayant été particulièrement marquée, l'engrais azoté était encore dans l'horizon supérieur au moment de l'échantillonnage annuel, ce qui constitue une exception.

L'engrais potassique élève les teneurs en potassium échangeable du sol à des niveaux qui ne se justifient pas agronomiquement dans ce sol naturellement riche. Certaines années les taux de K échangeable sont mêmes excessifs (6 à 8 méq. p. cent) indiquant une localisation trop forte des épandages. Après neuf années de culture intensive sans apports d'engrais potassique ($N_2P_0K_0$), les teneurs en 1968 sont identiques à ceux de 1959.

Les taux de phosphore assimilable sont extrêmement élevés et le léger enrichissement du sol (non significatif) dans les traitements P_1 n'a pas de signification agronomique.

Les réserves chimiques Ca, Mg, K, P du sol sont encore très élevées aussi bien dans les parcelles cultivées extensivement ($N_0P_0K_0$), que dans les parcelles qui produisent annuellement 35 à 40 t de régimes de bananes, avec pour seule fumure minérale de l'azote. Ce maintien de la richesse minérale du sol malgré les exportations d'éléments minéraux par les récoltes est vraisemblablement dû à un enrichissement provenant de l'altération de la roche mère (lapillis), qui dans l'horizon supérieur représente 15 à 20 % du volume de terre arable.

La matière organique est à un taux élevé et uniforme au cours des années et entre les traitements. Les résidus de récolte sont plus élevés dans les parcelles à culture intensive (N_2) que dans les parcelles cultivées extensivement (N_0). Le fait que les niveaux en carbone et en azote organique soient identiques dans tous les traitements indique donc une minéralisation de la matière végétale plus intense dans le sol enrichi en azote.

Les caractéristiques structurales (stabilité, perméabilité), hydriques et la porosité sont bonnes et constantes entre les traitements et les années.

Les résultats agronomiques confirmés par l'étude de l'évolution des caractéristiques chimiques et structurales du sol permettent donc de conclure à la possibilité de cultiver le bananier Poyo avec une fumure minérale réduite à des apports d'engrais azoté. Ces conditions de culture dans les sols volcaniques du Cameroun sont exceptionnelles pour l'Afrique. Dans tous les autres pays producteurs de bananes les hauts rendements ne peuvent être obtenus qu'à condition d'enrichir le sol en azote, potassium, calcium, magnésium et phosphore. Ces conditions pédologiques favorables liées à un régime des pluies qui permet la culture du bananier sans irrigation devraient permettre au Cameroun de produire à des prix très compétitifs sur le marché mondial.

MÉTHODES ANALYTIQUES UTILISÉES

(Laboratoire I. F. A. C.)

Granulométrie.

Méthode pipette. Dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium.

Matière organique.

- Carbone (C). Méthode par voie humide (WALKLEY et BLACK).
- Azote (N) KJEHLDAL. Catalyseur au sélénium.

Complexe absorbant.

- Échange des cations à l'acétate d'ammonium normal, pH 7.
- Dosage de Ca et Mg par complexométrie par l'EDTA N/50.
- Dosage de K et Na par spectrophotométrie.
- Saturation du complexe par $CaCl_2$ déplacement de Ca par NO_3K . Dosage par complexométrie pour le dosage de la capacité de fixation.
- Somme des cations par addition des éléments du complexe.
- pH sur pâte de sol ; à l'électrode de verre.

Phosphore assimilable.

- Méthode d'extraction citrique. Dosage au sulfomolybdate d'ammonium par colorimétrie.

Azote minéral.

- Extraction avec ClK normal. Agitation 1 heure à l'agitateur mécanique.
- Distillation de NH₃ ; réduction de NO₃ avec le Dewarda, distillation.
- Dosage avec SO₄H₂N/50.

Éléments totaux.

- Cations : attaque nitrique. Dosage comme pour les cations échangeables.
- Phosphore : Attaque nitro-perchlorique. Dosage comme pour P assimilable.

Caractéristiques pour l'eau.

- Presse, sur plaque poreuse : pF 4,2 = 16 000 g/cm² ; pF 3 = 1 000 g/cm².

Densités.

- Apparente (DA) : rapport poids/volume de la terre qui a servi à la détermination de l'indice de perméabilité.
- Réelle (DR) : méthode picnométrique.

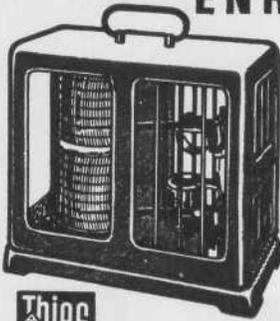
Porosité totale.

- Calculée d'après la formule : $P \% = \frac{DR - DA}{DR} \times 100.$

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBERT (G.). — Classification des sols. Cours pédologie ORSTOM 1962.
- (2) BACHELIER (G.), CURIS (M.) et MARTIN (D.). — Études pédologiques faites à la Station de l'I. F. A. C. à Nyombé. Rapport IRCAM 1956.
- (3) DOMMERS (Y.). — Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Thèse du Doctorat. Université de Paris, 157 pages.
- (4) GODEFROY (J.) et LOSOIS (P.). — Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques d'un sol volcanique du Cameroun. *Fruits*, vol. 21, n° 10, 1966, p. 535-542.
- (5) GODEFROY (J.). — Évolution des éléments du sol dans l'essai bananier Poyo NPK Nyombé. Rapport annuel 1964, doc. 31.
- (6) GODEFROY (J.). — Évolution du sol dans l'essai NPK Poyo Nyombé. Rapport annuel 1966, doc. 48.
- (7) LAPLANTE (A.) et BACHELIER (G.). — Prospection pédologique de la Station I. F. A. C. du Cameroun ; Rapport IRCAM 1953.
- (8) LOSOIS (P.). — Essai NPK Cameroun ; étude de la 1^{re} révolution. Rapport annuel 1964, doc. 80.
- (9) LOSOIS (P.) et coll. — Résultats d'un essai de fumure factoriel NPK sur bananier Poyo au Cameroun. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, novembre 1967 — CFS/TAN II 1/2/1 Sec II-2.
- (10) MARTIN (D.) et SIEFFERMANN (G.). — Le département du Mungo (Ouest-Cameroun). Étude des sols et leur utilisation. Cahier ORSTOM, série pédologie IV, 2, 1966, p. 27-49.
- (11) MONNIER (G.). — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse de doctorat, 1965 : Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

ENREGISTREURS



Thermo
Hygro
Psychro
Baro
Pluvio

BLET

INSTRUMENTS DE MESURE
ET DE CONTROLE DE PRÉCISION
132, faubourg St-Denis, PARIS (X^e)
Tél. : COMbat 44.16 (3 lignes groupées)

 Thies