

ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DU SOL DANS UN ESSAI DE FUMURE MINÉRALE EN BANANERAIE DE BASSE CÔTE D'IVOIRE

par **J. GODEFROY (*)** et **Ph. MARTIN**

Institut Français de Recherche Fruitière Outre Mer.

ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DU SOL
DANS UN ESSAI DE FUMURE MINÉRALE
EN BANANERAIE DE BASSE CÔTE D'IVOIRE

par J. GODEFROY et Ph. MARTIN (I. F. A. C.)

Fruits, vol. 24, n° 9-10, sept.-oct. 1969, p. 425 à 435.

RÉSUMÉ. — Les caractéristiques chimiques du sol : azote minéral (NH_3 et NO_3), cations échangeables : K, Ca, Mg, et le pH sont analysées mensuellement dans un essai engrais : NK.

On observe peu de différences entre les trois traitements qui correspondent à des doses croissantes d'engrais, avec un rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{N}$ constant égal à 2.

Cette étude met en évidence l'importance du lessivage de NO_3 et K lors de la saison des pluies. Les pertes en Ca et Mg sont également importantes, mais la diminution est moins brutale que pour N et K.

I. CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Sol.

Le sol est un sol jaune ferrallique fortement désaturé (classifications françaises) mais dont les caractéristiques chimiques de l'horizon de surface ont été modifiées par la culture. En particulier, les apports d'amendements minéraux ont eu pour effet d'augmenter le taux de saturation en cations du complexe absorbant, et corrélativement de diminuer l'acidité.

L'horizon supérieur (0,25 cm) a une texture argilo-sablo-limoneuse graveleuse.

L'horizon sous-jacent (30-60 cm) diffère du précédent par une teneur un peu plus élevée en argile, et une fraction graveleuse plus importante. D'après la classification texturale cet horizon se classe en argile sablo-limoneuse très graveleuse.

Les variations importantes de la proportion d'éléments graveleux (quartz) constituent le principal facteur d'hétérogénéité du sol : les coefficients de variation des taux d'éléments supérieurs à 2 m/m compte tenu du dispositif expérimental, sont de 50 à 60 %. Il n'y a pas de différences significatives entre les blocs ou les traitements.

La composition granulométrique est la suivante :

	HORIZON 0-25 cm	HORIZON 30-60 cm
Argile (%).....	20 à 25	25 à 33
Limon fin (%).....	5 à 9	6 à 9
Limon grossier (%).....	12 à 15	10 à 12
Sable fin (%).....	24 à 28	18 à 20
Sable grossier (%).....	29 à 33	31 à 34
Gravier (%).....	14 à 25	28 à 59

(*) Collaboration M^{me} MULLER : Laboratoire d'Agropédologie I. F. A. C.

La pente est moyenne à assez forte suivant les emplacements : 8 à 15 %.

Climat.

Le climat est caractérisé par une pluviosité abondante (1 800 mm par an) et une température annuelle moyenne élevée : 26° C, avec des variations moyennes mensuelles très réduites : 3 à 4° C.

Pendant la durée de cet essai le total des pluies et des irrigations a été de 2 060 mm se répartissant comme suit :

	HAUTEUR (mm)	NOMBRE DE JOURS DE PLUIES	NOMBRE D'IRRI- GATIONS
Novembre 1967.....	26	6	0
Décembre 1967.....	121	5	1
Janvier 1968.....	54	2	2
Février 1968.....	125	8	1
Mars 1968.....	161	13	1
Avril 1968.....	114	10	0
Mai 1968.....	258	16	0
Juin 1968.....	344	21	0
Juillet 1968.....	283	20	0
Août 1968.....	157	16	0
Septembre 1968.....	239	19	0
Octobre 1968.....	180	15	0

Les irrigations sont théoriquement de 20 mm.

	1 ^{er} MOIS	2 ^e MOIS	3 ^e MOIS	4 ^e MOIS	5 ^e MOIS	6 ^e MOIS	7 ^e MOIS
N.....	1/8	2/8	1/8	2/8	1/8	1/8	0
K ₂ O.....	0	1/8	1/8	2/8	2/8	1/8	1/8

Chaque engrais est donc fractionné en six épandages : du premier au sixième mois pour l'azote et du deuxième au septième mois pour le potassium.

Les 2 premiers apports d'azote sont effectués avec du sulfate d'ammoniaque, et les suivants avec de l'urée. Le potassium est apporté uniformément sous forme de chlorure. Les épandages pour le deuxième cycle se font suivant le même principe à partir du neuvième mois.

L'engrais est épandu en couronne autour des bananiers. Les prélèvements de terre sont effectués à la sonde tubulaire de 0 à 25 cm de profondeur et à 50 cm du bananier soit dans la surface où est placé l'engrais. Chaque échantillon de sol est constitué de 24 prélèvements ponctuels correspondant aux 24 ba-

Dispositif expérimental et échantillonnage.

L'étude est réalisée dans un essai de fumure azoté et potassique de la station I.F.A.C. d'Azaguié, en basse Côte d'Ivoire. Cet essai comporte 6 doses croissantes de fumure minérale avec un rapport K₂O/N constant égal à 2. Pour cette étude de l'évolution des éléments du sol nous nous sommes limités à suivre les deux traitements à fumures extrêmes 1 et 6 et le traitement moyen 3. Ces trois traitements correspondent aux quantités d'engrais suivantes par cycle.

TRAI- TEMENTS	N		K ₂ O	
	par bananier (g)	par hectare (kg) (*)	par bananier (g)	par hectare (kg)
1	70	140	140	280
3	130	260	260	520
6	220	440	440	880

(*) Densité : 2 000 pieds/ha, écartement : 2 m sur 2,50 m.

Le dispositif adopté est celui des blocs de FISCHER, avec cinq répétitions soit au total 15 parcelles élémentaires.

Les épandages d'engrais sont fractionnés suivant un calendrier assez complexe.

naniers significatifs de chaque parcelle. L'analyse du sol est effectuée à chaque fin de mois, le même jour que les épandages d'engrais, avant celui-ci. Au moment des échantillonnages le dernier apport d'éléments minéraux date donc au minimum de un mois.

Une analyse complète des caractéristiques chimiques du sol est faite en début et en fin d'essai ; mensuellement on étudie les variations de l'azote minéral (ammoniacal et nitrique), des cations échangeables (potassium, calcium, magnésium), du pH et de l'humidité pondérale. Le premier prélèvement de sol (28-11-67) effectué avant tout traitement différentiel permet de tester l'homogénéité du terrain et de s'assurer que le sol est homogène à l'intérieur des blocs.

II. ÉVOLUTION DES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Matière organique.

Le carbone total et l'azote organique sont à un niveau satisfaisant. Les niveaux sont identiques dans les trois traitements à la mise en place de l'essai (novembre 1967) et à la fin du premier cycle de culture (octobre 1968). On observe une légère diminution (significative) de C et N entre les prélèvements 1967 et 1968.

	CARBONE TOTAL (p. cent)		AZOTE TOTAL (p. mille)	
	Nov. 1967	Oct. 1968	Nov. 1967	Oct. 1968
Traitement 1....	1,8	1,5	1,4	1,1
Traitement 3....	2,0	1,6	1,4	1,1
Traitement 6....	2,0	1,8	1,5	1,2
F Blocs.....	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
F Traitements...	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
CV (%).....	20	22	12	13
Référence.....	1,9	2,1	1,4	1,4

Les rapports carbone/azote ne varient ni entre les traitements ni entre le début et la fin du cycle.

Azote minéral.

Les variations de l'azote minéral sont en relation avec les épandages d'engrais et avec la saison. Les apports mensuels de sulfate d'ammoniaque ou d'urée,

Valeurs des rapports C/N.

	NOVEMBRE 1967	OCTOBRE 1968
Traitement 1.....	13,0	14,2
Traitement 3.....	14,3	13,9
Traitement 6.....	13,7	14,4
F Blocs.....	N. S.	N. S.
F Traitements.....	N. S.	N. S.
CV (%).....	12	7,6
Référence.....	14,7	14,7

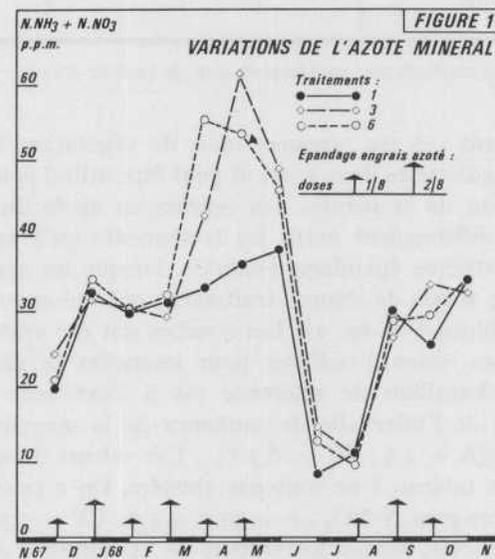


TABLEAU 1 - Azote minéral - Essai NK - Azaguié

		nov. 67	dec.	janv. 68	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct. 68
		N - NH ₃ p. p. m.	1 3 6 P. P. D. S. 5% CV %	6 7 6 N. S. 43	8 9 9 N. S. 35	8 7 7 N. S. 56	7 7 8 N. S. 41	9 9 14 N. S. 43	7 9 8 N. S. 25	9 9 10 N. S. 27	7 7 7 N. S. 23	7 7 7 N. S. 26	14 13 13 N. S. 34
N - NO ₃ p. p. m.	1 3 6 P. P. D. S. 5% P. P. D. S. 1% CV %	15 19 15 N. S. 26	26 25 27 N. S. 26	19 20 21 N. S. 19	21 23 21 N. S. 22	24 34 41 N. S. 23	29 51 44 N. S. 36	31 40 37 N. S. 17	2 8 6 N. S. 52	3 3 2 N. S. 33	16 13 12 N. S. 33	14 17 17 N. S. 60	26 21 23 N. S. 35
N - NH ₃ + NO ₃ p. p. m.	1 3 6 P. P. D. S. 5% P. P. D. S. 1% CV %	22 27 22 N. S. 22	34 34 36 N. S. 25	27 27 27 N. S. 23	28 26 29 N. S. 21	33 43 56 N. S. 25	36 60 52 N. S. 23	39 49 47 N. S. 17	9 15 13 N. S. 32	11 11 9 N. S. 26	30 26 29 N. S. 24	26 34 29 N. S. 55	34 32 34 N. S. 31

N. S. = non significatif

CV % = Coefficient de variation = $\frac{\text{Ecart type de l'erreur} \times 100}{\text{moyenne}}$

de fin novembre 1967 à fin avril 1968 augmentent les teneurs du sol en azote minéral. Pendant cette période le lessivage de l'engrais, soit par ruissellement soit par drainage, est faible comme le montrent les valeurs calculées dans une « case de lessivage » située dans le même carré que l'essai et en même position topographique.

	RUISSÈLEMENT (*)	DRAINAGE (*)
Novembre 1967....	0	0
Décembre 1967....	2	0
Janvier 1968.....	1	0
Février 1968.....	1	0
Mars 1968.....	2	12
Avril 1968.....	1	4

(*) Les résultats sont exprimés en mm de hauteur d'eau.

Durant ces six premiers mois de végétation l'engrais azoté reste dans le sol et peut être utilisé pour la nutrition de la plante. Les teneurs en azote du sol ne se différencient entre les traitements qu'à partir du quatrième épandage d'engrais, lorsque les 3/4 de la dose totale de chaque traitement ont été apportés (cf. tableau I et fig. 1). Les courbes ont été ajustées pour les séries d'analyses pour lesquelles la valeur de l'échantillon de référence est à l'extérieur des limites de l'intervalle de confiance de la moyenne : $\bar{x} = 37,6 \pm 1,9$; CV = 6,7 %. Les valeurs données dans le tableau I ne sont pas ajustées. On a procédé de même pour N-NO₃ : $\bar{x} = 30,9 \pm 1,7$; CV = 7,5 %. Pour N-NH₃ toutes les valeurs de la référence sont situées à l'intérieur de l'intervalle de confiance : $\bar{x} = 6,7 \pm 0,4$; CV = 7,5 %.

Les différences de teneurs entre les traitements ne sont appréciables que pour les prélèvements des mois de mars, avril et mai. Statistiquement seul mars et avril sont significativement différents avec une probabilité supérieure à 95 %.

— Mars : 6 supérieur à 1, 6-3 et 1-3 ne sont pas différents.

— Avril : 1 est inférieur à 3 et 6 qui ne diffèrent pas.

— A partir du mois de mai, début de la saison des pluies, les niveaux commencent à diminuer malgré l'apport d'engrais effectué fin avril. Au mois de juin le lessivage est très important : les teneurs en azote varient de 39 à 9 p. p. m. dans le traitement 1 et de 48 à 14 p. p. m. dans les traitements 3 et 6.

Les taux minima sont atteints au mois de juillet en fin de saison des pluies. Cette diminution des

niveaux en azote minéral est due à un lessivage très intense, en relation avec un ruissellement et surtout un drainage importants.

	RUISSÈLEMENT (mm)	DRAINAGE (mm)
Mai 1968.....	5	130
Juin 1968.....	17	230
Juillet 1968.....	30	155

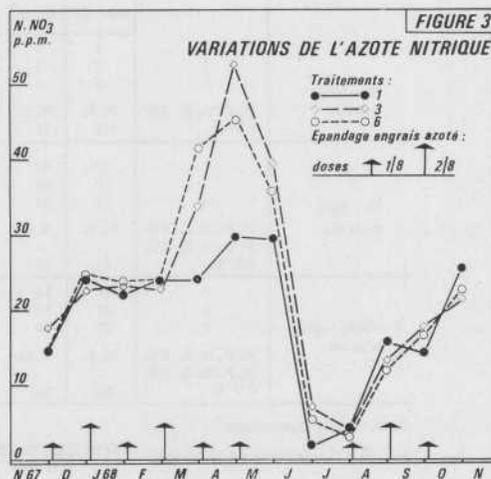
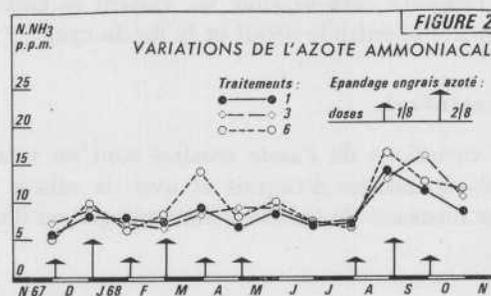
L'étude du bilan des pertes, réalisée dans la « case de lessivage » montre que l'entraînement d'azote par les eaux de ruissellement est faible comparé au lessivage par les eaux de drainage qui représente 98 % des pertes en azote. En fin de saison des pluies le stock d'azote minéral est donc très faible quelles que soient les quantités de fumure azotée utilisées.

N minéral du sol en juillet 1968.

Traitement 1 : 10,6 p. p. m. (apport 140 kg/ha)

Traitement 3 : 10,6 p. p. m. (apport 260 kg/ha)

Traitement 6 : 9,0 p. p. m. (apport 440 kg/ha)



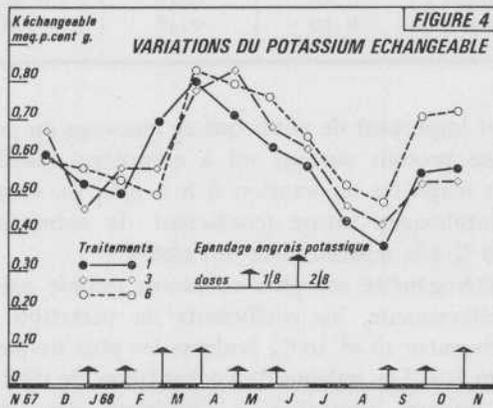
% de N-NO₃ par rapport au N minéral total.

NOV. 1967	DÉC.	JANV. 1968	FÉV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCT.
74	74	74	67	76	84	79	52	30	48	55	70

On doit donc considérer que tout engrais azoté qui n'a pas été utilisé par le bananier avant la saison des pluies est perdu. La reprise des épandages d'engrais azoté fin juillet 1968 relève les niveaux sans qu'apparaissent de différences entre les traitements. L'apport de sulfate d'ammoniaque fin août 1968 (2/8 de la dose compense tout juste le lessivage et l'absorption dans les traitements 3 et 6 ; dans le

traitement 1 les pertes et l'absorption sont supérieures à l'apport.

	RUISSELLEMENT (mm)	DRAINAGE (mm)
Août 1968.....	5	45
Septembre 1968..	30	110
Octobre 1968.....	15	50



L'étude des formes d'azote minéral : ammoniacal et nitrique met en évidence les faibles variations de N-NH₃ entre les traitements (aucune différence significative, cf. tableau I et fig. 2) et dans le temps.

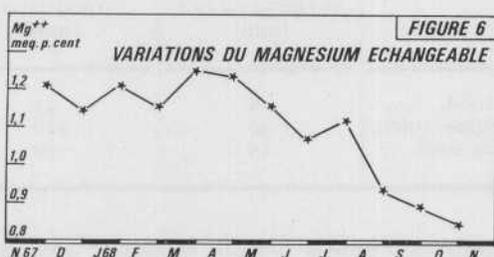
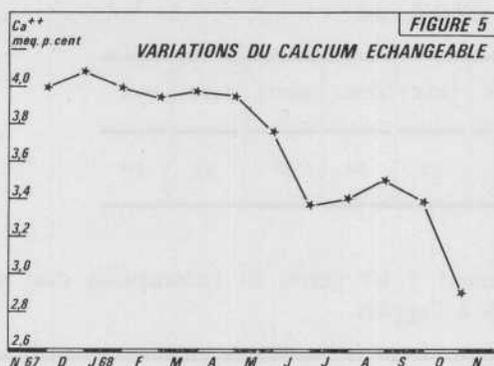
Les courbes de variation de l'azote nitrique sont très voisines de celles de l'azote minéral total, N-NO₃ représentent 70 à 80 % de l'azote minéral.

La forte proportion d'azote nitrique indique une bonne nitrification des engrais azotés : urée et sulfate d'ammoniaque. La plus forte proportion d'azote ammoniacal : 70 % s'observe en fin de saison des

TABLEAU II - Cations échangeables - Essai NK - Azaguié

		nov. 67	dec.	jan. 68	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sep.	oct.
		Potassium méq. p. cent g.	1	0,61	0,53	0,50	0,69	0,80	0,71	0,63	0,58	0,43	0,36
	3	0,67	0,39	0,57	0,57	0,78	0,83	0,68	0,53	0,47	0,42	0,54	0,54
	6	0,60	0,57	0,54	0,50	0,83	0,80	0,76	0,65	0,53	0,48	0,71	0,72
	P, P, D, S, 5 %	N, S.	N, S.	N, S.	0,15	N, S.	N, S.	N, S.	0,09	0,07	0,11	*0,14	0,10
	P, P, D, S, 1 %	-	-	-	N, S.	-	-	-	N, S.	0,10	N, S.	N, S.	0,16
	CV %	33	29	23	17	21	21	15	11	10	18	20	12
Calcium méq. p. cent g.	1	3,7	4,0	3,7	3,8	3,9	4,0	3,8	3,3	3,5	3,5	3,4	3,0
	3	4,3	4,1	4,2	4,0	4,1	4,1	4,0	3,7	3,5	3,6	3,6	3,0
	6	4,0	4,1	4,0	4,0	3,9	3,9	3,6	3,2	3,2	3,4	3,2	2,7
	P, P, D, S, 5 %	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.
	CV %	24	26	24	23	19	26	23	28	23	25	23	22
Magnésium méq. p. cent g.	1	1,1	0,9	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9
	3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,2	0,9
	6	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	0,9	0,8
	P, P, D, S, 5 %	N, S.	0,2	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.
	CV %	17	14	17	21	10	18	17	26	20	24	21	38
Somme des cations méq. p. cent g.	1	5,4	5,5	5,3	5,5	5,9	5,9	5,5	4,9	5,1	4,9	5,0	4,5
	3	6,2	5,7	6,1	5,8	6,2	6,2	5,8	5,3	5,2	5,2	5,3	4,4
	6	5,9	6,0	5,8	5,8	6,0	5,9	5,5	5,0	4,8	5,0	4,8	4,2
	P, P, D, S, 5 %	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.	N, S.
	CV %	21	18	21	20	16	21	19	23	23	22	21	23

* - P, P, D, S, 10 %



pluies (juillet 1968), lorsque les nitrates ont été en quasi-totalité lessivés. A cette époque de l'année le sol ne contient plus d'azote nitrique qu'à l'état de traces : 2 à 3 p. p. m. tandis que le niveau en azote ammoniacal reste voisin de 7 à 8 p. p. m. comme pendant les mois précédents.

Les variations des teneurs en azote minéral du sol sont élevées pour les différents mois, et compte tenu du dispositif expérimental, les coefficients de variation sont de l'ordre de 20 à 25 %. Cette hétérogénéité est due en partie aux difficultés qu'il y a à épandre uniformément des faibles quantités d'engrais (dans le traitement 1 la dose de 1/8 correspond à 20 g d'urée par bananier). Le problème est le même pour l'épandage de l'engrais potassique. En fait les coefficients de variation sont élevés pour l'ensemble des éléments minéraux, ils sont plus faibles pour les éléments organiques.

Cations échangeables.

Les variations du *potassium* sont en relation avec les apports d'engrais potassique et avec la saison (cf. tableau II et fig. 4). De décembre 1967 à avril 1968 les épandages mensuels d'engrais potassique élèvent les niveaux en potassium du sol. Durant cette période de l'année le lessivage est faible, et l'engrais non utilisé par le bananier s'accumule dans le sol sans qu'apparaissent de différences de teneurs entre les trois traitements. A partir de l'entrée dans la saison

des pluies en mai, les niveaux commencent à diminuer régulièrement jusqu'à la fin août, date à laquelle sont commencés les épandages de chlorure de potassium pour le second cycle.

Les différences entre les traitements ne sont statistiquement significatives qu'à partir du prélèvement du mois de juin : le traitement 6 est supérieur aux deux autres qui ne diffèrent pas entre eux. Les courbes de variation de K⁺ sont sensiblement parallèles dans les trois traitements de mai à août, ce qui traduit une perte d'engrais potassique durant la saison des pluies, équivalente dans les trois traitements.

	MAI 1968 (még. p. cent)	AOÛT 1968 (még. p. cent)	PERTES (még. p. cent)
Traitement 1.	0,63	0,36	0,27
Traitement 3.	0,68	0,42	0,26
Traitement 6.	0,76	0,48	0,28

Il est important de noter que ce lessivage du potassium se produit sur un sol à complexe absorbant moyen (capacité de fixation 6 à 8 még. p. cent) et non totalement saturé (coefficient de saturation : 70 à 90 % à la mise en place de l'essai).

L'hétérogénéité est plus ou moins grande suivant les prélèvements, les coefficients de variation sont compris entre 10 et 30 % (valeurs les plus fréquentes 15 à 20 %). Les valeurs de l'échantillon de référence sont toujours comprises à l'intérieur des limites de l'intervalle de confiance de la moyenne $\bar{x} = 0,30 \pm 0,03$ még. p. cent ; CV = 8 %.

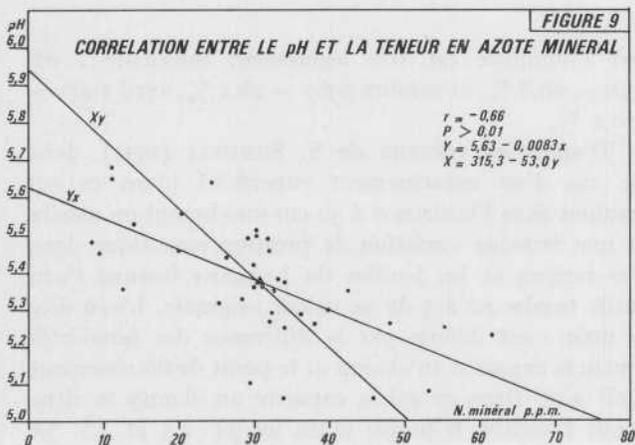
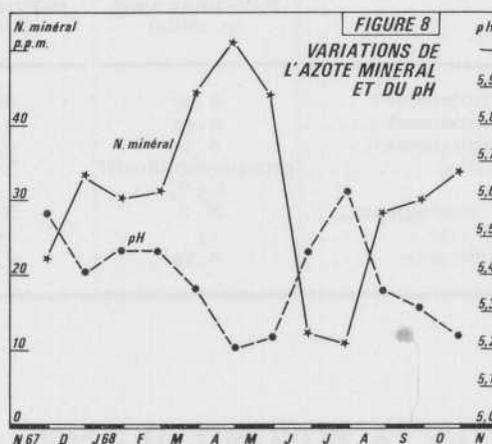
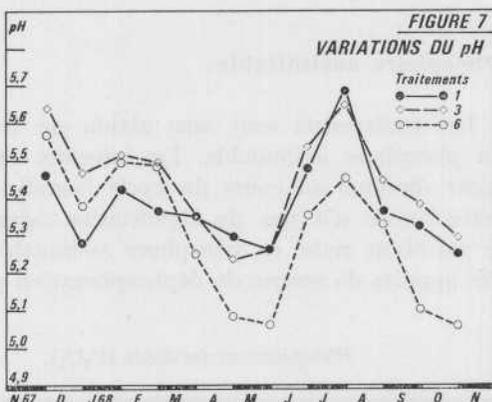
Le *calcium* et le *magnésium* ne varient pas entre les traitements ; les différences de teneurs qui peuvent apparaître certains mois ne sont pas significatives (cf. tableau II).

Ces deux éléments varient par contre dans le temps, les teneurs diminuent assez régulièrement à partir du mois de mai comme le traduisent les figures 5 et 6 sur lesquelles on a représenté les moyennes mensuelles des trois traitements. Les valeurs du magnésium des mois d'août et septembre ont été ajustées, la valeur de l'échantillon de référence étant située en dehors de la limite de l'intervalle de confiance de la moyenne : 0,90 még. p. cent au lieu de $0,78 \pm 0,07$ még. p. cent ; CV = 9,0 %. La variation de l'échantillon de référence est faible pour le calcium et pour la somme des cations.

$$\begin{aligned} \text{Calcium : } \bar{x} &= 3,18 \pm 0,10 ; \text{ CV} = 3,1 \% \\ \text{Somme : } \bar{x} &= 4,26 \pm 0,13 ; \text{ CV} = 2,8 \% \end{aligned}$$

TABLEAU III - pH - Essai NK - Azaguié

Traitement	nov. 67	dec.	jan. 68	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sep.	oct.
1	5,5	5,3	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,5	5,7	5,4	5,3	5,3
3	5,6	5,5	5,5	5,5	5,4	5,2	5,3	5,5	5,7	5,4	5,4	5,3
6	5,6	5,4	5,5	5,5	5,3	5,1	5,1	5,4	5,5	5,3	5,1	5,1
Moyenne	5,6	5,4	5,5	5,5	5,4	5,2	5,2	5,5	5,6	5,4	5,3	5,2
P. P. D. S.												
5 %	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
CV %	4,2	5,0	4,7	5,3	4,1	5,4	4,7	4,9	3,1	4,9	5,5	5,2



Toutes les valeurs de la référence sont comprises à l'intérieur de l'intervalle de confiance de la moyenne.

La diminution du calcium et du magnésium entre les mois de novembre 1967 et octobre 1968 est respectivement de 27 et 30 % elle correspond à 1 méq. p. cent de Ca et 0,4 méq. p. cent de Mg.

La dolomie enfouie par un léger labour à la plantation (octobre 1967) à raison d'une tonne à l'hectare est donc pratiquement lessivée après un cycle de culture, d'où la nécessité de faire des épandages annuels d'amendement calco-magnésien.

Capacité de fixation et degré de saturation du complexe absorbant.

La capacité de fixation des cations du complexe absorbant est moyenne 7 à 8 méq. p. cent g ; il n'y a de différences ni entre les traitements ni entre les mois.

Capacité de fixation.

	NOVEMBRE 1967 (méq. p. cent/g)	OCTOBRE 1968 (méq. p. cent/g)
Traitement 1.....	7,5	7,8
Traitement 3.....	7,8	8,0
Traitement 6.....	7,9	8,4
F Blocs.....	N. S.	N. S.
F Traitements.....	N. S.	N. S.
CV (%).....	15	12
Référence.....	9,5	9,2

Le taux de saturation en cations du complexe absorbant est identique dans les trois traitements. On observe une diminution importante du degré de saturation en relation avec le lessivage du calcium et du magnésium.

Coefficient de saturation.

	NOVEMBRE 1967 (p. cent)	OCTOBRE 1968 (p. cent)
Traitement 1.....	72	58
Traitement 2.....	80	55
Traitement 3.....	74	50
F Blocs.....	N. S.	N. S.
F Traitements.....	N. S.	N. S.
CV (%).....	19	23
Référence.....	45	47

Cette désaturation du complexe absorbant se traduit par une augmentation de l'acidité (cf. paragraphe suivant).

pH.

Le traitement à fumure minérale maximum (6) tend à augmenter l'acidité du sol, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives (cf. fig. 7 et tableau III). Certaines valeurs de l'échantillon de référence étant situées à l'extérieur des limites de l'intervalle de confiance de la moyenne : $\bar{x} = 4,75 \pm 0,09$; CV = 3,6 % toutes les analyses ont été refaites en une même série d'analyses à la fin de l'essai. Les valeurs du pH obtenues entre les deux séries ont été tout à fait identiques.

Les variations d'acidité au cours de l'année sont nettement influencées par les épandages d'engrais qui ont une action acidifiante. Les courbes de la figure 8 sur laquelle on a représenté la variation dans le temps de l'azote minéral (moyenne des trois traitements) et du pH montrent nettement la relation entre la teneur en azote minéral (en relation avec les apports d'engrais azoté) et l'acidité.

La corrélation est significative ($P > 0,01$) et négative : coefficient de corrélation « r » = -0,66 (cf. fig. 9). L'engrais potassique (chlorure) a également une action acidifiante mais la relation est plus lâche : coefficient de corrélation pH/K échangeable : $r = -0,57$ ($P > 0,01$). Les apports d'engrais minéraux modifient donc la variation saisonnière « naturelle » du pH. Dans les sols tropicaux non soumis à des

épandages importants d'engrais minéraux l'acidité est maximum en saison des pluies, et minimum en saison sèche. Dans le cas d'un sol de bananeraie recevant une fumure minérale élevée ce cycle est inversé. Le pH est maximum en fin de saison des pluies lorsque les engrais minéraux ont été lessivés, il est minimum aux périodes sèches du fait de l'accumulation dans le sol des engrais.

Phosphore assimilable.

Les traitements sont sans action sur les teneurs en phosphore assimilable. Les niveaux ont légèrement diminué au cours du cycle (significatif) mais cette baisse n'a pas de signification agronomique, le sol étant riche en phosphore assimilable du fait des apports de scories de déphosphoration pratiqués.

Phosphore assimilable (P_2O_5).

	NOVEMBRE 1967 (p. mille)	OCTOBRE 1968 (p. mille)
Traitement 1.....	0,30	0,26
Traitement 3.....	0,32	0,24
Traitement 6.....	0,35	0,30
F Bloc.....	presque significatif à 5 %	N. S.
F Traitements.....	N. S.	N. S.
CV (%).....	13	25
Référence.....	0,39	0,38

III. ÉVOLUTION DE L'HUMIDITÉ ET DE LA POROSITÉ DU SOL

L'humidité du sol est déterminée à chaque prélèvement pour chacun des blocs, sur un échantillon moyen constitué en mélangeant la terre des trois parcelles de chaque bloc (cf. tableau IV). Cette étude de l'évolution de l'humidité permet de s'assurer que l'alimentation en eau a été satisfaisante au cours de l'essai et ne constitue pas un facteur limitant à la croissance des bananiers. L'étude de la figure 10, sur laquelle on a représenté sous forme de diagramme l'humidité moyenne mensuelle des cinq blocs et les humidités correspondant aux pF 2,5, 3,0 et 4,2, montre que l'humidité est supérieure au pF 3,0 sauf pour les mois de novembre 1967 et avril 1968

où l'humidité est très légèrement inférieure : pF 3,0 = 20,8 %, novembre 1967 = 20,1 %, avril 1968 = 20,2 %.

D'après les travaux de S. SHMUELI (1951), dans le cas d'un enracinement superficiel (dans ce sol racines dans l'horizon 0 à 30 cm maximum) on assiste à une brusque variation de pression osmotique dans les racines et les feuilles du bananier lorsque l'eau utile tombe au 2/3 de sa valeur originale. L'eau dite « utile » est définie par la différence des humidités entre la capacité au champ et le point de flétrissement (pF 4,2). Dans ce sol la capacité au champ se situe pour l'horizon 0-30 cm entre les pF 2,5 et 2,7. Le

premier 1/3 de l'eau « utile » correspond à une humidité pondérale comprise entre 24,4 % (pF 2,5) et 21 % soit très voisine du pF 3,0.

Les travaux récents de B. AUBERT (1968) réalisés dans les sols d'Équateur où l'enracinement des bananiers est profond, situent l'humidité « critique » à pF 3,0 à 60 cm de profondeur. Il semble donc raisonnable dans le cas de ces sols de coteau de la station I. F. A. C. d'Azaguié, de considérer comme satisfaisante une humidité supérieure ou égale au pF 3,0 soit une eau réellement utilisable de 3,5 à 4 % (en poids).

Dans cet essai l'alimentation en eau a été satisfaisante et cet élément ne constitue pas un facteur limitant.

La connaissance de l'humidité du sol, de la densité apparente ($d_a = 1,45$) et de la densité réelle ($d_r = 2,6$) du sol permet de calculer pour chacun des mois la porosité effective dans le sol :

Porosité effective = porosité totale — volume de la phase liquide.

Si on considère avec VIGNERON et DESAUNETTE (4) qu'il y a risque d'asphyxie partielle lorsque le volume de la phase gazeuse est inférieur au volume de la phase liquide, on observe dans ce sol une nette tendance à l'asphyxie tout au long de l'année, et particulièrement de juin à octobre (cf. fig. 11). Pour tous les mois considérés les points sont situés dans le 1/3 supérieur de la zone « B », ce qui indique un risque d'asphyxie partiel.

Dans ce sol à porosité totale moyenne : 44 % mais à faible macroporosité : 10 %, il n'est donc pas possible de concilier à la fois : humidité et porosité optima.

En maintenant par des irrigations l'humidité du sol à l'optimum pour l'alimentation en eau du bananier (pF 2,5 à 3,0) on crée des conditions défavorables d'aération. Le facteur « eau » étant le plus important en culture bananière il est préférable de rechercher une humidité optimum plutôt qu'une porosité effective optimum que l'on n'atteint même pas lorsque le sol est au point de flétrissement.

Les mêmes résultats ont été obtenus dans un carré de la station situé en bas de pente, dans un sol de même texture mais non graveleux, au cours d'une étude qui a duré 18 mois et qui comportait des mesures tous les 15 jours, de l'humidité et de la porosité. Les différentes techniques culturales expérimentées : apport de fumure organique, sous-solage, drainage des coteaux, n'ap-

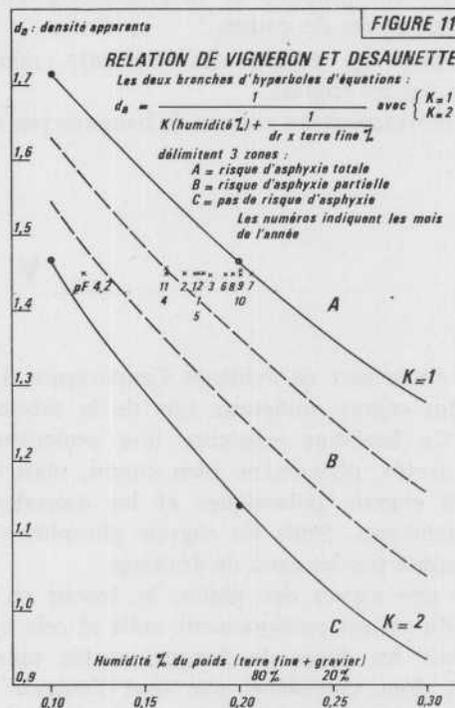
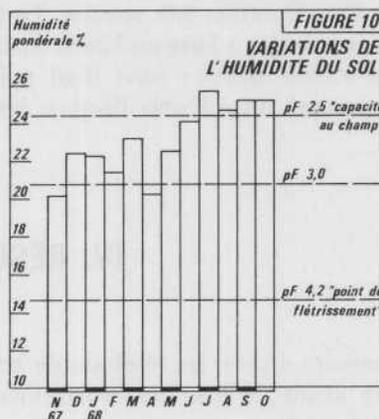


TABLEAU IV - Humidité pondérale p. cent

Blocs	nov. 67	déc.	jan. 68	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sep.	oct.
I	22,9	24,2	21,4	22,9	24,5	20,0	22,2	24,9	26,1	24,6	24,3	24,6
II	23,3	25,1	25,1	23,6	24,5	21,9	24,5	25,8	27,0	24,1	26,0	26,1
III	20,2	24,1	22,7	20,8	23,5	20,7	22,9	23,7	27,0	26,5	25,8	25,2
IV	18,7	22,0	21,4	20,2	21,5	18,0	20,6	22,3	23,2	22,3	24,3	23,2
V	15,4	16,8	20,9	19,3	21,9	20,3	22,5	24,0	25,3	25,9	25,5	26,7
Moyenne	20,10	22,44	22,30	21,36	23,18	20,18	22,54	24,14	25,72	24,68	25,18	25,16

portent pas d'amélioration très sensible. La technique la plus efficace consiste à faire un labour manuel assez motteux au « trois dents » suivi d'un paillage qui limite le tassement du sol sous l'action des précipi-

tations ou des nombreux passages des ouvriers que nécessitent les techniques culturales (épandage des engrais, traitements anti-parasitaires, etc., une trentaine de passages par an).

IV. RÉSULTATS AGRONOMIQUES

Il est nécessaire d'avoir les résultats de trois cycles au minimum avant de tirer les conclusions agronomiques de cet essai.

Sur ce premier cycle on observe une supériorité du traitement 3 sur les traitements 1 et 6 qui ne sont pas significativement différents entre eux.

Les facteurs limitants de la production semblent dus à deux séries de causes :

- le lessivage rapide des éléments minéraux apportés par les engrais,
- la destruction des racines du bananier par déficit

Poids moyen des régimes au 1^{er} cycle.

Traitement 1 (kg).	18,7	100
Traitement 3 (kg).	21,2	113
Traitement 6 (kg).	19,8	106
P. P. D. S. (5 %).	1,7	
P. P. D. S. (1 %).	2,5	
CV (%).....	5,8	

d'aération et par les attaques de nématodes malgré l'application de traitements nématocides (36 l/ha) de némagon par cycle.

V. CONCLUSION

Cette étude met en évidence l'importance du lessivage des engrais minéraux lors de la saison pluvieuse. Ce lessivage concerne non seulement les engrais azotés, phénomène bien connu, mais également les engrais potassiques et les amendements calco-magnésiens. Seuls les engrais phosphatés sont peu entraînés par les eaux de drainage.

Après une saison des pluies, la teneur en azote minéral du sol est pratiquement nulle et cela quelles que soient les doses de fumure azotée apportée. On peut donc considérer que tout l'engrais azoté qui n'a pas été utilisé par le bananier avant l'entrée dans la saison des pluies est perdu pour la plante.

Les pertes en potassium sont élevées, les courbes de variation au cours de l'année suivent à peu près celles de l'azote minéral toutefois en fin de saison des pluies les niveaux dans le sol sont plus élevés dans les parcelles qui reçoivent les plus fortes fumures.

Dans une étude précédente (GODEFROY 1966) on a observé une courbe de variation identique du potassium échangeable, dans l'horizon 0-15 cm. Dans

l'horizon 15-30 cm les variations sont faibles même après un épandage d'engrais potassique. Il semble que le potassium soit entraîné par les eaux de drainage avant qu'il ne se soit fixé dans cet horizon 15-30 cm, dont le complexe absorbant n'est pas saturé : coefficient de saturation = 50 à 60 %.

Les pertes en calcium et en magnésium sont également élevées. L'étude en « case de lessivage » en cours (ROOSE-GODEFROY) permet de chiffrer les pertes annuelles à 300 à 400 kg CaO et 150 à 200 kg de MgO.

Le phosphore est le seul élément dont le lessivage soit faible ; cela explique que dans de nombreuses bananeraies de Côte d'Ivoire, dans lesquelles des apports réguliers d'engrais phosphatés sont effectués, les niveaux en phosphore assimilable soient élevés.

Ces résultats montrent la nécessité de fractionner les épandages d'engrais azoté et potassique. Dans la mesure du possible on effectuera les apports d'amendements calco-magnésiens après la saison des pluies en faisant suivre d'un labour manuel qui permettra à la fois d'enfouir l'amendement et d'aérer le sol.

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) KJELDAHL. Catalyseur au sélénium.

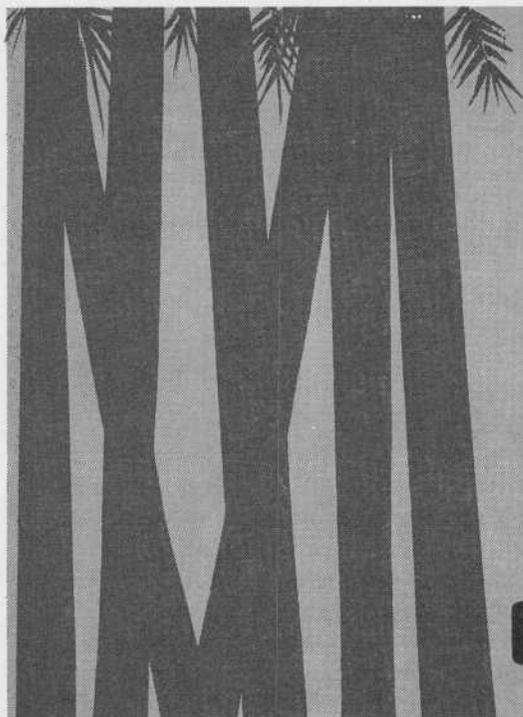
Complexe absorbant. — Échange des cations à l'acétate d'ammonium normal, pH 7.
— Dosage de Ca et Mg pour complexométrie par l'EDTA N/50.
— Dosage de K et Na par spectrophotométrie.
— Saturation du complexe par CaCl_2 ; déplacement de Ca par No_3K . Dosage de Ca par complexométrie pour le dosage de la 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 CIK normal. Agitation 1 h à l'agitateur mécanique.
— Distillation de NH_3 ; réduction de NO_3 avec le Dewarda, distillation.
— Dosage avec SO_4H_2 N/50.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) GODEFROY (J.). — Le sous-solage en bananeraie. *Fruits*, vol. 22, n° 8, 1967, p. 341-350.
- (2) GODEFROY (J.), CHARPENTIER (J. M.) et LOSOIS (P.). — Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie. *Fruits*, vol. 24, n° 1, 1969, p. 21-42.
- (3) ROOSE (E.) et GODEFROY (J.). — Érosion, ruissellement et drainage oblique sous une bananeraie de basse Côte d'Ivoire. Rapport O. R. S. T. O. M. — I. F. A. C. Abidjan, décembre 1967.
- (4) VIGNERON (J.) et DESAUNETTES (J. R.). — Établissement d'un indice de compacité. *Bul. A. F. E. S.*, n° 4, avril 1958, p. 172-182.



engrais potassiques

373 R



RENSEIGNEMENTS - DOCUMENTATION
SCPA SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE
 11, av. de FRIEDLAND - PARIS 8^e - Tél. : 225-74-50 - Telex : 28 709 POTA-PARIS

