

Action du chaulage sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité d'un sol tourbeux en culture bananière.

J. GODEFROY, A. LASSOUDIÈRE, P. LOSSOIS et J.P. PENEL

ACTION DU CHAULAGE SUR LES CARACTERISTIQUES
PHYSICO-CHIMIQUES ET LA PRODUCTIVITE D'UN SOL
TOURBEUX EN CULTURE BANANIERE

J. GODEFROY, A. LASSOUDIÈRE, P. LOSSOIS
et J.P. PENEL (IRFA)

Fruits, Fev. 1978, vol. 33, n°2, p. 77-90.

RESUMÉ - Les quatre premiers cycles de culture n'ont pas permis de préciser l'influence du chaulage sur la croissance et la production des bananiers. Au niveau du sol cependant, quelques résultats intéressants ont été tirés de cette étude : estimation des vitesses de minéralisation du carbone total et de l'azote total, détermination des quantités de chaux à apporter pour relever le pH d'une unité dans ces tourbes. Mise en évidence de relations entre les rapports Mg/Ca de la tourbe et l'apparition des symptômes de déficience magnésienne chez le bananier d'une part, entre le pH du sol et sa teneur en aluminium échangeable d'autre part.

Situés dans le sud de la Côte d'Ivoire, les marais de l'Agnéby représentent l'une des zones principales de la production bananière ivoirienne (1/3). Ils constituent l'aire d'extension d'un ancien delta de l'Agnéby, d'une superficie de 10 à 12.000 ha.

L'implantation récente d'une section IRFA (1972) dans la partie nord-ouest du marais, au sud des confluent du Niéky et de l'Agnéby, a permis d'entreprendre des essais de fertilisation dès 1973. Ce sont les premiers résultats de ce programme de recherches que nous présentons dans cet article.

Cet essai a plusieurs objectifs. Du point de vue agronomique, celui de préciser l'action du chaulage sur la croissance, la production et la nutrition minérale du bananier au moyen du diagnostic foliaire. Du point de vue pédologique, nous nous proposons d'étudier les effets du chaulage sur : la minéralisation de la matière organique (C et N), la nitrification, le pH en relation avec la saturation en cations du complexe absorbant, les rapports cationiques, la teneur en aluminium échangeable. Enfin, cet essai est prévu pour suivre l'évolution à long terme d'une tourbe vierge après sa mise en culture bananière. Les doses excessives de chaux (24 t/ha de CaO par exemple) sont, en outre, destinées à accélérer les phénomènes de minéralisation de la tourbe, afin de préjuger à court terme de son évolution à long terme.

CONDITIONS DE L'ÉTUDE.

Site.

- . Plaine d'altitude inférieure à 5 mètres aménagée en polder.
- . Latitude 5,3°N, longitude 4,2°O
- . L'essai a été implanté sur une tourbe vierge du secteur sud du Niéky, sur un terrain mis obligeamment à la disposition de l'IRFA par M. TOGNACCINI, Directeur de la SABA.

Sol.

Les sols organiques des marais de l'Agnéby ont déjà fait l'objet de nombreuses études de la part des pédologues, de l'ORSTOM en particulier. Une synthèse de ces travaux et leurs références bibliographiques ont été publiées par A. LASSOUDIÈRE dans cette revue (1).

Précisons, comme le mentionnent DABIN et LENEUF (2), que le nom de tourbe donné à ces sols n'a pas la même signification qu'en zone tempérée. Ces sols organiques d'origine forestière ne constituent pas, bien au contraire, un milieu biologiquement inerte, comme les tourbes à sphaignes des pays nordiques.

L'examen sur un mètre de profondeur d'un profil par

bloc expérimental, permet de distinguer quatre horizons dont l'épaisseur est variable d'un site à l'autre.

1. Horizon noir grumeleux ; épaisseur : 6 à 9 cm (hydromor).
2. Horizon rouge sombre (10 R 3/2) constitué de tourbe très grossière avec souvent de nombreux morceaux de bois ; épaisseur : 20 à 45 cm.
3. Horizon d'argile gris clair ; épaisseur 20 à 50 cm.
4. Horizon d'argile gris foncé.

Le développement des racines des bananiers est très inégal d'un profil à l'autre. La densité maximale de racines s'observe dans les dix premiers centimètres, mais c'est, également, dans cet horizon qu'il y a le plus de racines nécrosées. Précisons que nos observations ont été faites en milieu de saison sèche, à une époque où l'horizon supérieur était physiologiquement sec. Les racines sont peu nombreuses dans la tourbe grossière surtout quand il y a beaucoup de morceaux de bois, mais leur densité augmente dans l'horizon argileux gris clair, particulièrement dans la partie supérieure.

Les caractéristiques physiques et chimiques de ce sol à la mise en place de l'essai sont résumées dans le tableau 1.

TABLEAU 1 - Caractéristiques de la tourbe à la mise en place de l'essai (septembre 1973).
Profondeur 0 à 25 cm.

	Expression pondérale	Expression volumique	Coefficient variation %
Matière organique			
C total	430 g p. 1000 g	79 g pour 1000 cm ³	5
N total	20,4 g p. 1000 g	3,7 " " "	8
C/N	21	-	7
Complexe absorbant			
Ca extractible à CH ₃ COONH ₄	16,7 mé/100 g	3,1 mé/100 cm ³	33
Mg extractible à CH ₃ COONH ₄	6,8 mé/100 g	1,2 mé/100 cm ³	20
K extractible à CH ₃ COONH ₄	2,2 mé/100 g	0,4 mé/100 cm ³	
CEC	126 mé/100 g	23 mé/100 cm ³	21
Coef. de saturation	20 p. cent	-	6
pH (pâte saturée)	4,0	-	7
Phosphore			
P ₂ O ₅ assimilable DYER	0,91 g p. 1000 g	0,17 g p. 1000 cm ³	55
Densité apparente (Da)	0,18 g/cm ³	-	7
Caractéristiques hydriques (1975)			
pF 2,5	178 g p. 100 g	41 g p. 100 cm ³	9
pF 4,2	111 g p. 100 g	26 g p. 100 cm ³	23
Différ. pF 2,5-pF 4,2	67 g p. 100 g	15 g p. 100 cm ³	18
Indice de percolation (K)	0,75 cm/heure	-	20

La composition de la fraction minérale déterminée sur quelques échantillons est résumée dans le tableau 2.

TABLEAU 2 - Composition de la fraction minérale (p. cent de sol).

	Tourbe 0-25 cm	Tourbe 25-40 cm	Horizon argileux
argile	10 à 18	20 à 22	80 à 91
limon	11 à 13	6 à 11	6 à 10
sable	0,9 à 2,2	0,6 à 1,4	0,6 à 1,1

Climat.

Le climat est celui du sud de la Côte d'Ivoire dont les caractéristiques sont :

. une pluviosité élevée : moyenne des six dernières années : 1730 mm (extrêmes : 1360 à 2320 mm) répartie en deux saisons : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur octobre (figure 1).

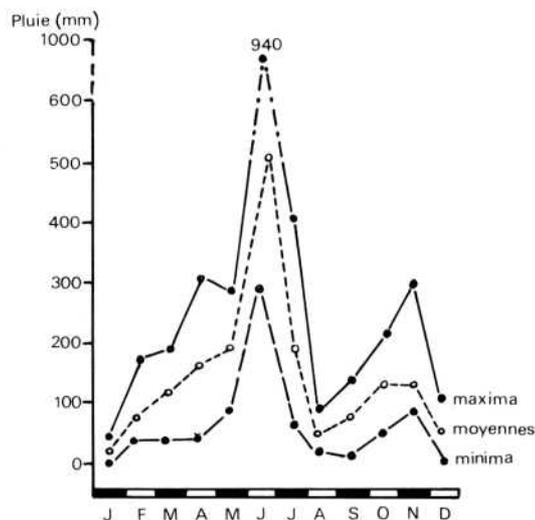


Fig. 1 • PLUVIOSITE NIEKY, 1971-1977.

. une température moyenne élevée : 25 à 27°C, et des températures minimales et maximales variant peu autour de 21 et 31°C.

Mentionnons que la pluviosité très élevée du mois de juin 1976 (940 mm avec 21 jours de pluies) a provoqué la rupture de la digue de protection du polder et que l'essai a été inondé un mois.

Conditions expérimentales.

L'essai a été mis en place en septembre 1973, sur un terrain vierge après drainage du marécage, abattage de la

forêt et brûlage. Il a été replanté en octobre 1976 après l'inondation (référence informatique BA.CI. ABY 103).

La variété cultivée est le bananier 'Poyo' planté à la densité de 2000 plants à l'hectare (2 x 2,5 mètres).

Le dispositif expérimental est celui des blocs de Fisher (5) avec 7 traitements. Chaque parcelle élémentaire de 240 m² comporte 48 bananiers dont 40 significatifs.

Cet essai compare à un témoin non chaulé, l'action d'apports de chaux augmentant en progression géométrique de raison 2 (4 doses) :

- traitement 1 : témoin non chaulé (Ca₀)
- traitement 2 : 3 t/ha de CaO (Ca₁)
- traitement 3 : 6 t/ha (Ca₂)
- traitement 4 : 12 t/ha (Ca₃)
- traitement 5 : 24 t/ha (Ca₄)

Ces quantités sont apportées, par moitié, en deux épandages : septembre 1973 (plantation) sous forme de chaux éteinte à 73 p. cent de CaO et juillet 1974 (fin du premier cycle) sous forme de carbonate de calcium à 55 p. cent de CaO.

A ces cinq traitements, on en a ajouté deux autres :

- traitement 6 : apport de CaO équivalent à celui du traitement 2 (3 t/ha) mais sous forme de dolomie (10 t/ha). Cet amendement est avec la chaux magnésienne, le seul utilisé par les agriculteurs.
- traitement 7 : jachère. Le but de ce traitement est de disposer de parcelles non cultivées et non fertilisées qui puissent servir de référence pour les études d'évolution de la tourbe.

Toutes les parcelles cultivées reçoivent la même fumure minérale azotée et potassique (300 kg de N et 800 kg de K₂O par hectare et par cycle). En 1974, on a appliqué 600 kg/ha de kiésérite (120 kg de MgO) en trois épandages (février, juillet, septembre) dans les traitements 1 à 5. Le sol étant bien pourvu en phosphore, cet élément n'est pas apporté.

Un échantillonnage des 35 parcelles élémentaires, à la mise en place de l'essai (septembre 1973), a permis de s'assurer de «l'homogénéité» de la tourbe à l'intérieur des blocs. Les autres prélèvements de sol sont effectués annuellement en période de «stabilité climatique» qui correspond au milieu de la saison sèche (janvier-février). A l'exception de l'année 1975, pour laquelle on a effectué des prélèvements à trois niveaux de profondeur, l'échantillonnage ne concerne que les 25 premiers centimètres, où la densité des racines de bananiers est maximale. Les prélèvements sont effectués au centre du rectangle formé par quatre bananiers : 30 carottages par parcelle élémentaire.

Les analyses statistiques portent sur : le test F, le calcul

de la plus petite différence significative (p.p.d.s.), le coefficient de variation (C.V. %) ; à partir de 1977, les analyses sont complétées par le test de Duncan qui permet de comparer les traitements deux à deux.

RÉSULTATS.

Croissance et productivité.

Nous avons retenu comme critère de croissance : la hauteur et la circonférence des bananiers à la floraison ou à une date déterminée, et comme critère de production : le poids et le nombre de mains des régimes ainsi que le rendement à l'hectare. Compte tenu des bananiers tornadés ou mosaïqués, ce dernier est inférieur de 10 à 20 p. cent au poids moyen des régimes multiplié par 2.000.

Les résultats du tableau 3 montrent que le chaulage n'a pas eu d'effets sur le développement végétatif et la production des deux premiers cycles. En troisième cycle, des différences significatives apparaissent au niveau de la production entre le témoin et les parcelles chaulées, au bénéfice de ces dernières ; poids moyen supérieur de 8 à 14 p. cent. Le poids et le nombre de mains des régimes tendent à augmenter avec les doses de chaux mais les écarts entre Ca₁, Ca₂, Ca₃ et Ca₄ ne sont pas statistiquement significatifs.

En raison de l'inondation du mois de juin 1976, 30 à 40 p. cent seulement des régimes du quatrième cycle ont été récoltés. Pour ceux-ci, les poids moyens étaient dans les rapports suivants : 100 (témoin), 101 (Ca₁), 111 (Ca₂), 108 (Ca₃), 112 (Ca₄), 99 (dolomie). Les observations végétatives à 806 jours confirment une tendance à la supériorité des parcelles chaulées sur le témoin (NS). En revanche, les résultats du premier cycle de la deuxième révolution ne mettent pas en évidence de différences significatives entre les traitements. Il faut attendre les prochaines récoltes pour mieux préciser les effets du chaulage sur la productivité.

Action du chaulage sur les caractéristiques physico-chimiques de la tourbe.

Dans cette première synthèse, nous nous limiterons, essentiellement, à une comparaison des traitements entre eux. L'évolution de la tourbe depuis la mise en culture ne sera abordée que très succinctement au sujet du calcium, une période de quarante mois étant beaucoup trop courte pour juger de l'évolution d'un sol.

Sauf mention spéciale, les résultats sont rapportés à un poids de tourbe séchée à 105°C ; cette forme d'expression est la plus couramment utilisée dans les publications sur les sols tourbeux. Précisons qu'en agronomie, où il importe de connaître la quantité d'éléments nutritifs contenus dans un certain volume de sol exploité par les racines, l'expression

des résultats par rapport à une unité de volume est préférable. La transposition se fait en multipliant les valeurs pondérales par Da. Ce problème spécifique aux sols tourbeux tient au fait que les densités apparentes varient dans une large mesure (0,1 à 0,7 dans les tourbes de l'Agnéby). Dans la majorité des sols minéraux, les densités s'écartent peu de 1,5 ; il est donc permis de considérer que les résultats pondéraux conservent entre eux la même hiérarchie que celle qui serait établie à partir d'une expression volumique.

Les techniques d'analyses sont les mêmes que celles utilisées pour les sols minéraux, mais des modifications de détail ont été apportées. D'autre part, certaines analyses doivent être faites impérativement sur tourbe non séchée. La description des méthodes analytiques a fait l'objet d'une précédente publication (3).

Matière organique.

Le chaulage a une action nette sur les teneurs en **carbone total** de la tourbe, celles-ci diminuent avec les quantités de chaux apportées, c'est-à-dire quand les teneurs en calcium et le pH du sol augmentent (tableau 4). Ces résultats traduisent une biodégradation plus rapide de la matière organique lorsque l'on chault, ce qui est une conséquence bien connue de cette pratique.

Les valeurs des rapports carbone/azote varient peu en fonction des traitements et des années (20 à 22), les parcelles en jachère tendent à avoir le C/N le plus élevé.

Afin de préciser la dynamique de la minéralisation de la tourbe, nous avons mesuré, «in vitro», les quantités de carbone minéralisé pendant une année. Les incubations ont été réalisées, à la température ambiante (moyenne 25°C), sur trois lots d'échantillons à l'état frais (50 g), prélevés en juillet 1975 dans les parcelles : 1, 3 et 5 de l'essai, soit sur 3 x 5 = 15 échantillons (tableau 5).

La minéralisation du carbone est nettement plus élevée dans les échantillons provenant des parcelles ayant reçu les plus forts apports de chaux (Ca₄), donc les plus riches en calcium (figure 2). En revanche, on n'observe pas de différences significatives entre le témoin et les parcelles dans lesquelles on a épandu 6 t/ha de CaO (Ca₂). Dans nos conditions expérimentales : humidité de la tourbe constante et températures moyennes mensuelles variant de 23,7°C à 26,9°C, les courbes de minéralisation sont pratiquement linéaires.

Les taux de minéralisation nette :

$$\frac{\text{C minéralisé en 1 an}}{\text{C total à } J_0} \times 100$$

sont élevés pour tous les échantillons : témoin = 3,4 p. cent, Ca₂ = 3,0 p. cent, Ca₄ = 8,2 p. cent (p.p.d.s. 5 p. cent = 2,1 ; coefficient de variation = 29 p. cent).

TABLEAU 3 - Croissance et production des bananiers.

traitements		témoïn Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ca ₄	Dolo- mie	test F	p.p.d.s. 5 %	C.V.(1) %
1er cycle 1ère révolution	hauteur à floraison (cm)	277	278	273	274	276	276	NS	-	2,0
	circonférence à 1 mètre à floraison (cm)	54,4	54,6	53,2	54,0	54,4	54,1	NS	-	2,4
	poids moyen (kg)	25,5	26,2	25,5	26,3	26,6	25,5	NS	-	3,6
	nombre de mains	8,6	8,6	8,8	8,6	8,8	8,7	NS	-	2,3
	rendement (t/ha)	43,8	43,4	43,4	46,2	44,3	43,5	NS	-	6,7
2e cycle	poids moyen (kg)	29,8	31,3	30,5	31,0	30,5	31,0	NS	-	6,5
	nombre de mains	8,8	9,0	8,8	8,9	8,8	8,9	NS	-	3,9
	rendement (t/ha)	48,0	47,9	47,8	48,6	49,5	50,2	NS	-	8,4
3e cycle	hauteur à floraison (cm)	338	343	340	344	344	434	NS	-	3,0
	circonférence à 1 mètre à floraison (cm)	64,1	65,5	65,7	65,6	66,3	65,9	NS	-	2,7
	poids moyen (kg)	26,8	28,9	29,7	29,2	30,5	29,6	*	2,9	5,3
	nombre de mains	9,2	9,7	9,9	9,9	10,0	9,8	**	0,3	2,2
	rendement (t/ha)	39,0	41,6	42,3	44,1	43,3	39,1	NS	-	10
4e cycle	hauteur à 806 j. (cm)	275	297	289	312	294	284	NS	-	7,3
	circonférence à 1 mètre à 806 j. (cm)	52,9	57,9	55,7	60,6	57,0	54,5	NS	-	8,6
1er cycle 2e révolution	hauteur à 251 j. (cm)	176	184	164	184	159	182	NS	-	13
	circonférence à 30 cm à 251 j. (cm)	39,8	40,6	38,3	42,0	37,1	42,0	NS	-	10
	p. cent régimes récoltés à 9,5 mois	75	78	85	85	83	85	NS	-	11
	poids moyen (kg)	27,7	27,9	27,8	28,2	27,3	27,2	NS	-	3,7
	rendement (t/ha)	42,3	43,5	46,7	48,6	45,1	46,0	NS	-	13

TABLEAU 4 - Action du chaulage sur la teneur en C total. Tourbe : 0-25 cm. Résultats exprimés en valeur indiciaire par rapport au sol en jachère.

Année	Jachère	témoïn	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ca ₄	degré de signif. test F	p.p.d.s. 5 %	C.V.(1) %
1975	100	101	102	98	96	87	*	9	7
1976	100	103	99	94	92	88	*	8	7
1977	100	101	95	93	90	86	*	12	9

(1) - C.V. = coefficient de variation = $\frac{\text{écart-type} \times 100}{\text{moyenne}}$

La conclusion est qu'un chaulage excessif intensifie la minéralisation de la matière organique et, par conséquent, il accélère la diminution du potentiel de fertilité de la tourbe. Les apports d'amendement calcique doivent donc être modérés, comme nous le montrerons dans la suite de cet article.

Azote.

• Azote total.

Comme pour C, on observe une diminution des teneurs en N total avec l'accroissement des apports de chaux, sans

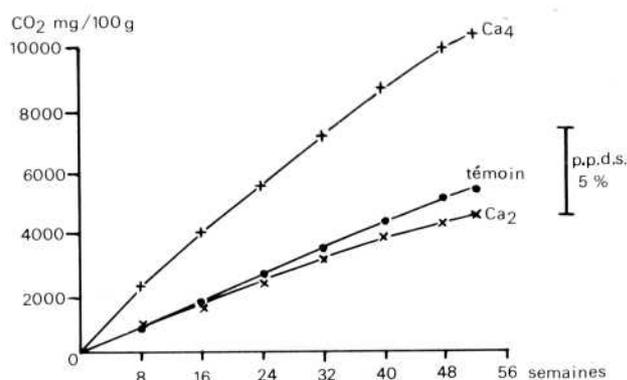


Fig. 2 • CARBONE MINÉRALISÉ EN FONCTION DU TEMPS. INCUBATION "IN VITRO".

que cette baisse apparaisse comme statistiquement significative au seuil $P = 0,05$ (tableau 6). La comparaison des niveaux sous bananeraie et dans le sol en jachère montre que les teneurs sont les plus élevées dans les parcelles cultivées qui reçoivent une fertilisation azotée, mais seulement lorsque les quantités de chaux épanchée sont faibles ou nulles.

• Azote minéral.

Des analyses de l'azote minéral sur des échantillons prélevés en février 1975 (saison sèche) et en juillet 1975 (fin de la saison des pluies) ne nous ont pas permis de mettre en

évidence des différences de teneurs en NH_4 , NO_3 ou $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ dans les divers traitements. Nous avons seulement observé une tendance à une augmentation de la proportion de nitrates (rapport $\text{NO}_3/\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) avec la richesse en calcium du sol et avec l'accroissement du pH.

Afin de préciser le rôle de la chaux sur l'ammonification et la nitrification, nous avons étudié « in vitro » la cinétique de la minéralisation de l'azote. Nous avons procédé de deux façons :

1. incubation, dans des lysimètres de 1 litre, de 300 g de tourbe fraîche mélangée avec du sable, dans le but d'accroître la perméabilité. Au jour J_0 puis tous les mois, on lessive avec 500 ml d'eau représentant une hauteur de 70 mm sur la colonne de sol. On dose NH_4 et NO_3 dans le percolat.

2. incubation de 50 g de tourbe fraîche dans des erlenmeyers de 250 ml, avec analyses périodiques de l'azote minéral.

Les échantillons prélevés dans les parcelles : Ca_0 , Ca_2 et Ca_4 , de l'essai sont les mêmes que ceux utilisés pour les mesures de CO_2 (tableau 5) ; les incubations sont faites à la température ambiante.

Les courbes de la figure 3 montrent que la minéralisation, dans les lysimètres, est très régulière au cours des douze mois étudiés pendant lesquels la température moyenne a varié de $23,7^\circ\text{C}$ à $26,9^\circ\text{C}$. La quantité d'azote minéralisé [minérali-

TABLEAU 5 - Composition de la tourbe à la mise en incubation (moyenne des 5 répétitions).

	lot n° 1	lot n° 3	lot n° 5	test F	p.p.d.s. 5 %	C.V. %
C total p. cent	42,8	41,0	35,8		3,3	6
N total p. mille	19,0	18,1	15,		2,5	10
C/N	23	23	23	-	-	0,5
Ca échangeable mé/100 g	8	41	99		25	34
Coef. saturation p. cent	13	49	100		11	15
pH	3,5	5,1	6,5		0,5	7
densité apparente	0,20	0,25	0,25	NS	-	12

TABLEAU 6 - Azote total. Tourbe : 0-25 cm. Résultats exprimés en valeur indiciaire par rapport au sol en jachère.

Année	jachère	bananeraie				test F	C.V. %	
		témoin	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃			Ca ₄
1975	100	103	105	96	99	90	NS	11
1976	100	108	102	96	94	88	NS	10
1977	100	113	112	106	102	95	NS	11

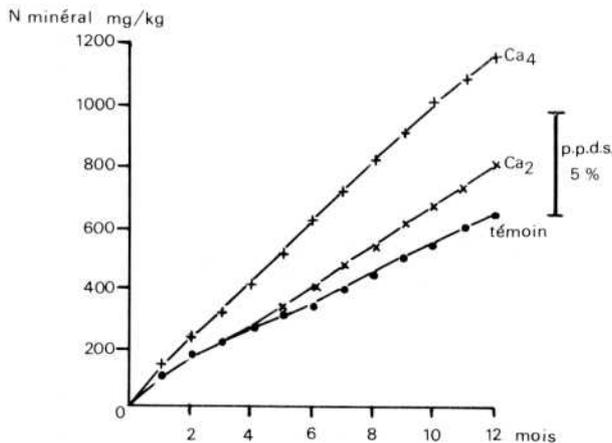


Fig. 3 • AZOTE MINERALISE EN FONCTION DU TEMPS. INCUBATION EN LYSIMETRES.

sation nette (*]) est la plus élevée dans la tourbe la plus riche en calcium et la moins acide (Ca₄) et la plus faible dans le témoin. Il faut toutefois noter que, compte tenu de l'erreur expérimentale (coefficient de variation : 27 p. cent), le témoin n'est pas différent du traitement «Ca₂» (6 t/ha de CaO). La quasi-totalité de l'azote lessivé est sous forme de nitrate, la forme ammoniacale est à l'état de traces (moins de 1 p. cent).

Les taux de minéralisation nette : N minéralisé en un an/N total à J₀ sont respectivement de 3,40 p. cent (témoin), 4,51 p. cent (Ca₂) et 7,4 p. cent (Ca₄) (p.p.d.s. 5 p. cent = 1,6).

Au cours de l'incubation dans les erlenmeyers et après une période de neuf mois, les teneurs en azote minéral de la tourbe ne sont pas statistiquement différentes entre les trois traitements (figure 4). 97 p. cent (témoin) et 99 p. cent (Ca₂ et Ca₄) de N minéral sont sous forme de nitrate, ce qui indique une nitrification très rapide, même à pH de 3,5.

Les taux de minéralisation nette au neuvième mois sont de 5,1 p. cent (témoin), 4,2 p. cent (Ca₂) et 6,4 p. cent (Ca₄) (p.p.d.s. 5 p. cent = 1,7).

Avec cette technique, il est vraisemblable que des phénomènes de réorganisation d'azote minéral interviennent, lorsque les concentrations en N minéral sont élevées (1000 p.p.m. au neuvième mois), modifiant ainsi les résultats, par rapport à la technique des lysimètres où on lessive mensuellement les nitrates. Cette dernière méthode donne une meilleure représentation de ce qui se passe au champ, les phénomènes de lixiviation étant importants en région tropicale, mais elle ne permet d'apprécier que la nitrification, NH₄ n'étant pas entraîné par l'eau. On précisera que les

(*) - la minéralisation nette est la résultante de la minéralisation brute et de processus divers : réorganisation, dénitrification, pertes par volatilisation, etc.

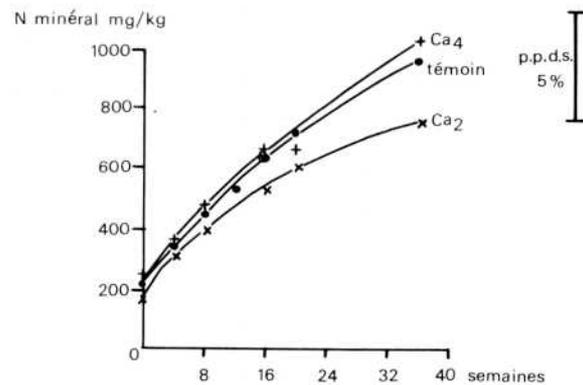


Fig. 4 • AZOTE MINERALISE EN FONCTION DU TEMPS. INCUBATION "IN VITRO".

deux expériences (lysimètres, erlenmeyers) ont été menées conjointement, avec les mêmes échantillons.

En conclusion, l'action du chaulage sur la minéralisation de l'azote organique semble surtout importante aux doses excessives de CaO. Dans les conditions pratiques où les apports d'amendement sont au maximum de 1 t/ha/an de dolomie (300 kg de CaO), la cinétique de la minéralisation de l'azote organique, ainsi que celle du carbone, n'est probablement pas beaucoup modifiée, elle est rapide même dans la tourbe non amendée. Une étude plus complète des mécanismes de minéralisation et de réorganisation de l'azote est envisagée avec l'utilisation d'azote 15.

Complexe absorbant.

• Cations échangeables alcalins et alcalino-terreux ; pH.

Ces éléments sont extraits par percolation fractionnée de 250 ml d'acétate d'ammonium à pH 7, sur 5 g de tourbe sèche. Ce volume de solution d'extraction déplace la quasi-totalité des ions K⁺ et Mg⁺⁺, mais seulement 70 à 80 p. cent des ions Ca⁺⁺. Une extraction complète du calcium nécessiterait la percolation de 1250 ml d'acétate (3). D'autre part, dans cet essai où des doses élevées de chaux ont été épandues, une fraction du calcium déplacé par CH₃COONH₄ est de la chaux solubilisée. En effet, dans les parcelles les plus fortement chaulées (Ca₃ et Ca₄), on peut observer après trois années, la présence de chaux à la surface du sol et cela malgré une inondation d'un mois. Pour les deux raisons exposées, nous préférons remplacer le terme «calcium échangeable» par celui de «calcium extractible à l'acétate d'ammonium» (sous-entendu dans la proportion de 5 g de tourbe et de 250 ml de CH₃COONH₄).

Les apports de chaux enrichissent le sol en calcium extractible, ce qui est le but recherché (figure 5). Dans nos conditions d'extraction et pour une capacité d'échange cationique (CEC) de la tourbe de 120 à 125 mé/100 g, il

TABLEAU 7 - Calcium extractible à $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ en 1975 (mé/100 g) et pH.

Traitements Horizons		Jachère	bananeraie					Test F	p.p.d.s. 5 %	C.V. %
			Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ca ₄			
tourbe 0 à 25 cm	Ca	13,5	14,6	39,1	52,5	103,9	138,0	**	14,6	21
	pH	3,6	3,4	4,2	4,7	5,9	6,7	**	0,3	5,5
tourbe 25 à 35-40 cm	Ca	8,1	8,1	20,9	28,7	64,0	98,5	**	10,1	22
	pH	3,5	3,3	3,7	4,1	5,3	6,0	**	0,3	5,1
argile 35-40 à 50 cm	Ca	1,5	1,7	2,0	3,7	4,9	9,0	**	3,4	62
	pH	3,5	3,4	3,6	3,6	3,9	4,2	**	0,3	3,7

faut de l'ordre de 20 t/ha de CaO pour saturer le complexe absorbant en calcium dans les 25 premiers centimètres et 6 t/ha pour le saturer à 50 p. cent de sa capacité. L'action du chaulage est encore nette dans l'horizon tourbeux : 25 à 35-40 cm mais plus faible dans l'horizon argileux (tableau 7 et figure 5).

L'évolution depuis 1975, année où les niveaux sont maximaux, traduit une diminution du calcium : faible et assez régulière d'un traitement à l'autre de 1975 à 1976 (moyenne = 4,8 mé/100 g), beaucoup plus forte et irrégulière de 1976 à 1977. Les pertes sont d'autant plus élevées en valeur absolue (mais non relative) que le sol est plus enrichi ; témoin = 1,9 mé/100 g (20 p. cent), Ca₁ = 5,2 mé/100 g (18 p. cent), Ca₂ = 13,0 mé/100 g (27 p. cent), Ca₃ = 21,7 mé/100 g (22 p. cent), Ca₄ = 18,4 mé/100 g (14 p. cent). Les conditions climatiques des années 1975 et 1976 expliquent ces différences ; la pluviosité a été de 1666 mm entre les prélèvements 1975 et 1976, et de 2319 mm entre ceux de 1976 et 1977, avec un mois d'inondation. Il est donc normal que la lixiviation ait été beaucoup plus forte en 1976.

En 1977, les teneurs en Ca ne sont pas différentes dans le terrain cultivé et la jachère où il n'y a eu aucun apport de chaux, ni entre les traitements «2» et «6» qui ont reçu la même quantité de CaO (3 t/ha).

L'hétérogénéité de la tourbe en calcium extractible est élevée : coefficients de variation (écart-type/moyenne) : 33 p. cent à la mise en place de l'essai, avant l'application de la chaux, 20 à 37 p. cent pour les années suivantes (moyenne : 30 p. cent).

Le traitement «6» qui a reçu 10 t/ha de dolomie (2 t de MgO) est beaucoup plus riche en magnésium échangeable que les autres où 120 kg/ha de MgO ont été épandus sous forme de kiésérite. Ces teneurs plus élevées dans «6» concernent les horizons tourbeux et l'horizon argileux 35-40 à 50 cm (tableau 8).

En janvier 1977, sur des bananiers de premier cycle âgés de quatre mois, on a observé sur les feuilles de légers symptômes de déficience en magnésium. Aucune corrélation n'a pu être établie avec les teneurs en magnésium du

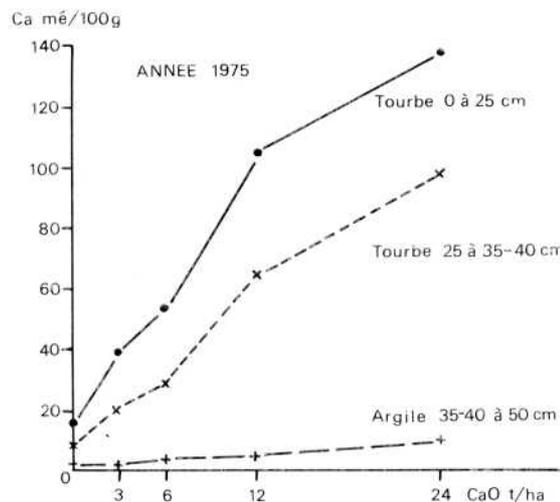
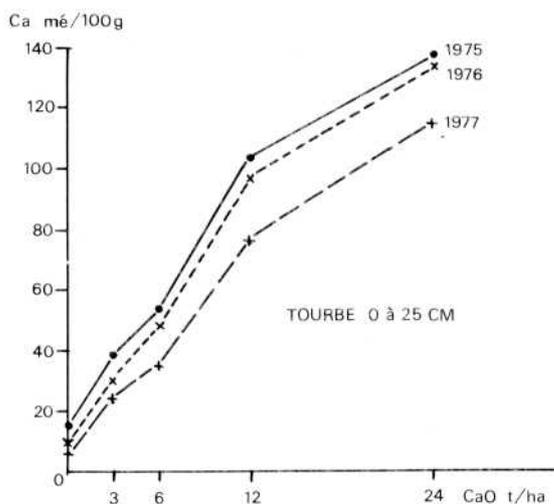
Fig. 5 • CALCIUM EXTRACTIBLE A $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ EN FONCTION DES APPORTS DE CHAUX.

TABLEAU 8 - Magnésium échangeable en 1975 (mé/100 g).

Traitements horizons	jachère non fertilisée (7)	bananeraie 120 kg/ha MgO moyenne (1) (2) (3) (4) (5)	bananeraie 2000 kg/ha MgO (6)	test F	p.p.d.s. 5%	C.V. %
tourbe 0-25 cm	5,0	4,8	24,1	**	2,4	25
tourbe 25 à 35-40 cm	3,8	3,6	15,4	**	2,2	31
argile 35-40 à 50 cm	1,8	2,1	3,4	**	0,6	20

sol. En revanche, il y a une liaison très étroite entre les pourcentages de bananiers présentant des symptômes et les rapports Mg/Ca de la tourbe. On précisera que les jaunissements marginaux des limbes sont apparus en saison sèche, à une période de déficit hydrique particulièrement accentuée (30 mm de pluie en décembre et 6 mm en janvier). Cette déficience n'a pas eu de répercussion sur la croissance et la production de ce premier cycle (le traitement «dolomie» où il n'y avait aucun symptôme n'est pas supérieur aux autres). Ces observations sont toutefois intéressantes car elles permettent de donner une première estimation du rapport critique Mg/Ca dans les tourbes. D'après la distribution des points de la figure 6, on peut considérer que ce rapport ne doit pas être inférieur à 0,2.

Le coefficient de variation de l'essai pour les divers échantillonnages est de 20 à 25 p. cent.

Le chaulage n'a pas d'action sur les teneurs en potassium échangeable. Les seules différences entre les sept traitements

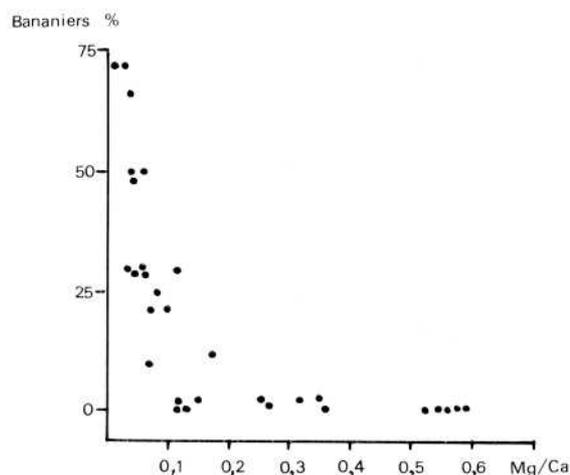


Fig. 6 • RELATION ENTRE LES RAPPORTS Mg/Ca DE LA TOURBE ET LE POURCENTAGE DE BANANIERES PRESENTANT DES SYMPTOMES DE DEFICIENCE MAGNESIENNE.

concernent le sol en jachère dans lequel le potassium est beaucoup plus faible que dans la bananeraie où l'on effectue des apports de 800 kg/ha de K_2O par cycle (en 1977 : 0,8 mé/100 g contre une moyenne de 5,9 mé/100 g sous bananeraie). Comme pour les autres éléments, l'hétérogénéité du sol est élevée : coefficient de variation de l'ordre de 25 p. cent.

L'évolution du pH est comparable à celle du calcium : l'acidité décroît quand l'intensité du chaulage augmente (figure 7). Dans la gamme des pH acides (3 à 6), il faut 4,5 t/ha de CaO pour augmenter le pH d'une unité de 0 à 25 cm de profondeur et 6 t entre 25 à 35-40 ; il faudrait 30 t de CaO si l'on voulait élever d'une unité le pH de l'horizon argileux entre 35-40 à 50 cm de profondeur. Ces estimations montrent qu'il n'est pas envisageable économiquement de réduire l'acidité des sols tourbeux en profondeur.

Les pH des parcelles «témoin» et «jachère» sont identiques, par contre le traitement «dolomie» a des pH supérieurs de 0,3 à 0,6 unités à ceux du traitement «Ca1» bien que les deux reçoivent les mêmes quantités de CaO. Cette plus faible acidité est en relation avec l'apport de magnésium contenu dans la dolomie (20 p. cent).

Le pH est la caractéristique du sol la plus homogène, les coefficients de variation sont de l'ordre de 5 à 6 p. cent seulement.

Les valeurs de la capacité d'échange cationique étant peu différentes entre les traitements (valeurs moyennes : 120 à 125 mé/100 g), les rapports : somme des cations extractibles (S'/CEC) ont une évolution parallèle à celle du calcium. Il y a d'autre part des corrélations très étroites entre S'/CEC et le pH : coefficients «r» supérieurs à 0,9 (figure 8). Les équations des droites de régression, très voisines entre les années et les horizons, permettent d'avoir une bonne estimation du taux de saturation en cations du complexe absorbant (S'/CEC) à partir de la mesure du pH. La conclusion pratique est que, pour les analyses de sol

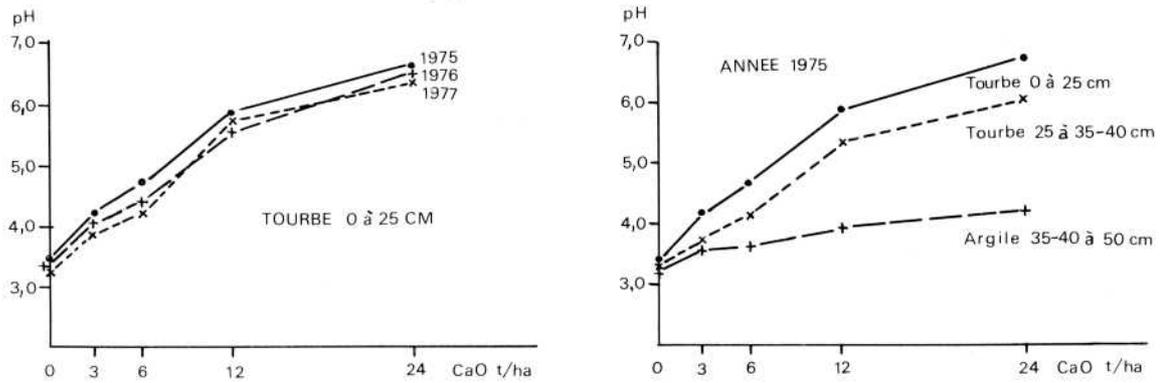
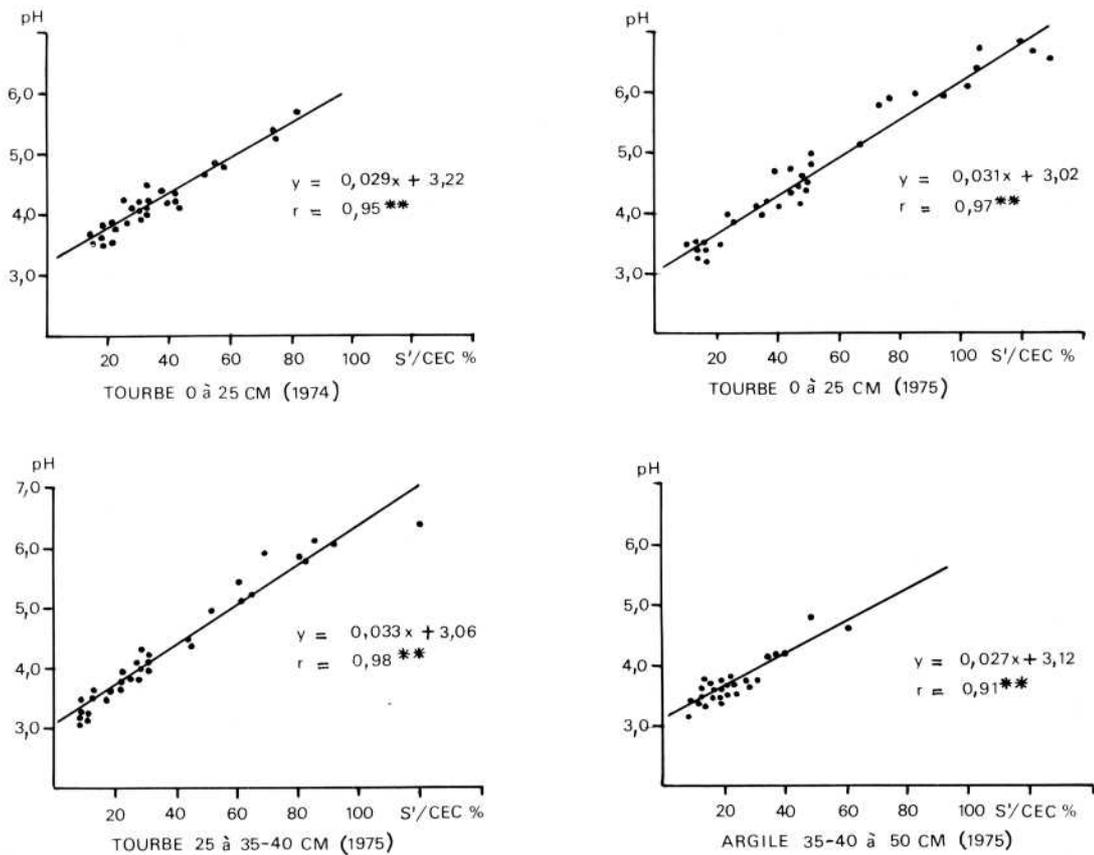


Fig. 7 • pH EN FONCTION DU CHAULAGE.

Fig. 8 • REGRESSIONS ENTRE LES pH ET LES RAPPORTS : SOMME DES CATIONS EXTRACTIBLES A $\text{CH}_3\text{COONH}_4/\text{CEC}$.

destinées à définir un programme de fertilisation, il n'est pas indispensable de calculer le taux de saturation en cations, donc de déterminer la CEC ; une analyse des cations extractibles (S') et du pH est suffisante. Lors d'une enquête ancienne réalisée dans l'ensemble des plantations du

Niéky (4), nous avons trouvé une relation du même degré ($r = 0,90$). Précisons, également, que les équations des droites de régression : pH en fonction du taux de saturation, calculées dans cet essai sont proches de celles obtenues dans les sols minéraux de Côte d'Ivoire (5, 6, 7).

TABLEAU 9 - Teneurs en aluminium échangeable (1) (mg/kg).

traitements horizons	jachère	bananeraie			Test F	p.p.d.s. 5 %	C.V. %
		Ca ₀	Ca ₂	Ca ₄			
tourbe : 0 à 25 cm	330	296	7	3	**	160	73
argile 35-40 à 50 cm	803	782	608	134	**	102	13

(1) extraction à CIK normal avec un rapport sol frais/solution : 1/10

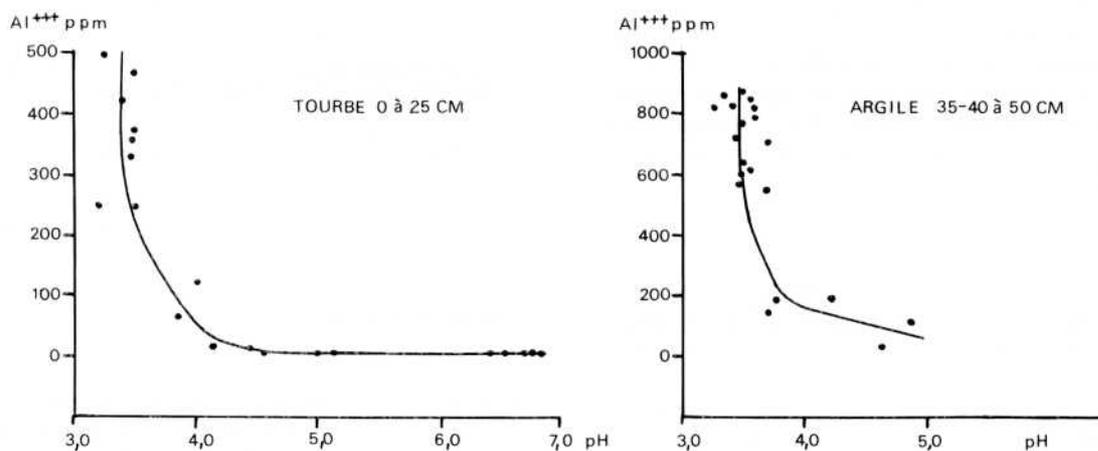


Fig. 9 • EVOLUTION DE LA TENEUR EN ALUMINIUM ECHANGEABLE EN FONCTION DU pH (1975). Noter la différence d'échelle pour Al sur les deux graphiques.

Aluminium échangeable.

L'étude de l'aluminium a été effectuée en 1975 dans l'horizon tourbeux 0 à 25 cm et dans l'horizon argileux : 35-40 à 50 cm. Les valeurs de Al⁺⁺⁺ reproduites dans le tableau 9 indiquent une très nette action du chaulage sur les teneurs en aluminium échangeable.

La distribution des teneurs en aluminium en fonction du pH (figure 9) montre la relation très étroite entre Al⁺⁺⁺ et pH : l'aluminium échangeable est d'autant plus élevé que le sol est plus acide, c'est-à-dire le pH plus bas. Dans l'horizon tourbeux, les teneurs en Al sont très faibles (< à 10 p.p.m.) ou nulles lorsque le pH sur pâte saturée est > à 4,0. dans l'horizon argileux, les teneurs sont beaucoup plus élevées pour un même pH ; il faudrait réduire l'acidité à un pH supérieur à 5 pour ne plus avoir d'Al⁺⁺⁺.

Si la présence d'aluminium échangeable a déjà été signalée dans certains sols de bananeraie à Madagascar (8), et à la Martinique (9), aucune recherche n'a été entreprise concernant les seuils de toxicité du bananier vis-à-vis de l'aluminium.

Pour diverses plantes tropicales, des seuils de toxicité ont été déterminés par VELLY et ANGLADETTE pour les

sols minéraux (10 et 11). Une comparaison des niveaux avec les tourbes nécessite d'exprimer les résultats par rapport à une unité de volume. Pour les calculs, nous avons considéré que la densité apparente des sols minéraux était de 1,5 ; pour les sols tourbeux, la Da est celle déterminée au laboratoire. Les seuils de tolérance sont les suivants :

- coton 35 à 40 mg/dm³ (VELLY)
- arachide 75 à 150 mg/dm³ (VELLY)
- maïs 180 à 200 mg/dm³ (VELLY)
- riz 35 à 120 mg/dm³ (ANGLADETTE)

Dans l'essai considéré, les teneurs en aluminium échangeable sont les suivantes :

traitements	tourbe 0 à 25 cm		argile 35 à 50 cm	
	extrêmes	moyenne	extrêmes	moyenne
jachère	30 à 110	75	440 à 670	540
bananier				
«témoin»	20 à 100	60	435 à 570	525
bananier				
«Ca ₂ »	0,5 à 4	2	365 à 405	385
bananier				
«Ca ₄ »	0,3 à 1	0,7	25 à 145	95

En l'absence de données sur les seuils de toxicité du bananier, on peut considérer qu'il y a intérêt à avoir des teneurs faibles en aluminium et qu'il est donc souhaitable que les pH de l'horizon supérieur ne soient pas inférieurs à 4,0. L'obtention et le maintien de l'acidité à ce niveau nécessite des apports d'amendement modérés. Ce seuil de 4,0 pour le pH mesuré sur tourbe fraîche ou sur tourbe séchée réhumidifiée de façon à former une pâte, est généralement atteint ou dépassé dans les bananeraies en culture depuis plusieurs années. Dans l'horizon argileux, l'élévation du pH à 5,0, qui permettrait d'abaisser la teneur en aluminium n'est pas envisageable. En dehors des considérations économiques, les quantités d'amendement qu'il faudrait appliquer (50 à 60 t/ha de CaO) seraient excessives pour l'horizon supérieur : elles provoqueraient une minéralisation accélérée du carbone et de l'azote organique de la tourbe et créeraient un déséquilibre entre Mg et Ca et probablement entre K et Ca.

Phosphore.

Le chaulage n'a aucune action sur la fraction du phosphore dite « assimilable » (F calculés inférieurs à 1). Les coefficients de variation sont très élevés : 35 à 54 p. cent mais les teneurs sont toujours au-dessus du seuil considéré comme critique. Les moyennes pour les diverses années sont voisines de 0,2 g de P₂O₅ pour 1000 cm³ de tourbe.

Densité apparente.

Cette caractéristique est importante car elle peut être utilisée comme critère de classification et d'évolution des tourbes. D'autre part, la nécessité, pour les interprétations agronomiques, d'exprimer certaines données analytiques par rapport à une unité de volume, implique la mesure de la densité apparente.

Si les valeurs de Da tendent à être supérieures en 1977 de 10 à 15 p. cent dans les traitements « chaulage », par rapport au témoin, du point de vue statistique, les différences sont loin du seuil de signification 5 p. cent. Cette évolution est à relier à celle de la matière organique ; il y a en effet une corrélation négative étroite entre C et Da ($r = -0,89^{**}$) (figure 10), c'est-à-dire que la densité augmente quand la tourbe se minéralise. Une corrélation du même degré a déjà été mentionnée dans une étude précédente (3).

Caractéristiques hydriques.

On observe une tendance à une diminution des humidités pondérales à pF 2,5 et à pF 4,2 quand on augmente les apports de chaux, mais les différences ne sont statistiquement significatives que pour l'année 1976. Cette évolution est en liaison avec celle de la matière organique (tableau 10).

La quantité d'eau « utilisable », définie par la différence des humidités à pF 2,5 et à pF 4,2 et exprimée par rapport

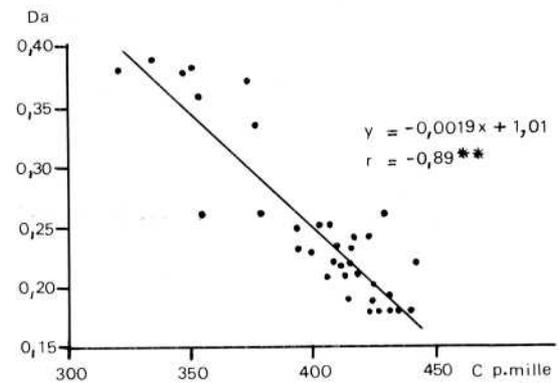


Fig. 10 • REGRESSION DE LA DENSITÉ APPARENTE EN FONCTION DE LA TENEUR EN CARBONE.

à une unité de volume, n'est pas différente entre les traitements.

Il existe des corrélations étroites entre les humidités à pF 2,5 et à pF 4,2 : $0,72 < r < 0,93$.

Indice de percolation.

L'indice de percolation (K) qui mesure la vitesse de filtration de l'eau sur des échantillons conservés frais au congélateur (12, méthode HENIN, MONNIER) est plus élevé dans les parcelles les plus chaulées : Ca₃ et Ca₄ (tableau 11). Cette évolution est en relation avec celle de la matière organique : K augmente quand C diminue (tableau 10).

Précisons que ce test de percolation n'a pas de signification agronomique, comme il peut en avoir dans les sols minéraux. La tourbe gonfle quand on la sature d'eau ; étant enfermée dans un tube, elle ne peut se dilater et subit de ce fait un tassement qui a pour effet de réduire la vitesse d'infiltration de l'eau. L'indice K mesuré au laboratoire donne donc des valeurs faibles, alors qu'en champ, la tourbe absorbe l'eau comme le ferait une éponge. Nous utilisons ce test en complément des autres mesures physiques, afin d'avoir des valeurs mesurables pour suivre l'évolution de la tourbe dans le temps et entre les différents traitements.

CONCLUSIONS.

Le chaulage répondant aux buts que l'on s'était fixés accroît la teneur en calcium extractible à l'acétate d'ammonium, le taux de saturation en cations du complexe absorbant et le pH du sol. Les résultats expérimentaux ont confirmé les estimations faites à partir des calculs théoriques. Compte tenu de la capacité d'échange élevée : 120 à 125 mé/100 g ou 25 à 30 mé/100 cm³, il faut des apports importants d'amendement calcaïque ou calco-magnésien pour modifier de façon notable le taux de saturation (S'/CEC)

TABLEAU 10 - Valeurs des coefficients de corrélation «r» entre les teneurs en carbone et diverses caractéristiques physiques (n : 35).

Années	pF 2,5	pF 4,2	eau utilisable	indice de percolation
1975	0,76 **	0,75 **	0,17 NS	- 0,40 *
1976	0,79 **	0,68 **	- 0,47 **	- 0,50 *
1977	0,80 **	0,77 **	0,22 NS	- 0,16 NS

TABLEAU 11 - Indice de percolation : K cm/heure.

années	jachère	bananeraie				Test F	p.p.d.s. 5 %	C.V. %	
		témoïn	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃				Ca ₄
1975	1,29	1,65	1,63	1,68	2,08	2,27	NS	-	35
1976	1,09	1,43	1,79	1,75	2,11	2,48	**	0,64	29
1977	1,64	1,70	1,59	1,39	2,00	4,05	*	1,53	60

donc le pH, ces deux caractéristiques étant étroitement corrélées. Il faut de l'ordre de 20 t/ha de CaO pour saturer le complexe absorbant en calcium dans l'horizon 0-25 cm et 4,5 t/ha pour élever le pH d'une unité.

Du point de vue de la croissance et de la productivité des bananiers, aucune conclusion nette ne peut être dégagée des premières années d'essais, cette expérimentation doit donc être poursuivie sur une plus longue période. Le traitement «dolomie», équivalant au traitement «Ca₁» du point de vue de la quantité de CaO (3 t/ha) mais fournissant en plus 2000 kg de MgO, n'a pas donné de production supérieure à «Ca₁», ce qui laisse supposer que les 120 kg de MgO épandus sous forme de kiésérite étaient suffisants.

Vis-à-vis de la biodégradation des composés carbonés et de l'azote organique, un chaulage excessif a un effet nettement défavorable car il accélère les phénomènes de minéralisation, qui sont déjà très intenses après drainage et mise en culture de ces sols. Il n'y a donc pas intérêt, sur le plan agro-économique et sur le plan pédologique, à chauler fortement, ce qui a d'autre part pour conséquence de créer un déséquilibre nutritionnel du magnésium.

Un chaulage à dose modérée (3 t/ha de CaO) ne semble pas modifier sensiblement l'activité microbiologique globale de la tourbe et sa vitesse de minéralisation. Cette quantité épandue par moitié en 1973 et 1974 a été suffisante pour maintenir la tourbe à un pH égal ou supérieur à 4,0 jusqu'en 1977. Cette valeur de 4,0 correspond au seuil d'acidité de la tourbe où la teneur en aluminium échangeable devient nulle. En dessous de pH 4,0 mais surtout de 3,5, Al⁺⁺⁺ augmente très rapidement. Bien qu'aucune étude n'ait été faite pour définir la sensibilité du bananier à l'aluminium, il nous paraît, à priori, préférable d'essayer de maintenir le pH de la tourbe à une valeur voisine de 4,0. Par contre, l'ammonification et la nitrification étant très intenses à des pH de 3,2 à 3,5 et a fortiori à des acidités plus faibles, il ne nous paraît d'aucune utilité d'élever le pH au-dessus de 4,0.

L'horizon argileux situé à 35-40 cm de profondeur a de très fortes concentrations en aluminium échangeable (600 à 900 p.p.m.) et des pH de 3,3 à 3,6. Cet essai montre qu'il est pratiquement impossible de modifier l'acidité de cet horizon donc de diminuer les teneurs en Al⁺⁺⁺. Pour y parvenir, il faudrait faire un surchaulage de l'horizon tourbeux, technique, comme nous l'avons montré, fortement déconseillée.

BIBLIOGRAPHIE

1. LASSOUDIÈRE (A.). 1973.

La culture bananière sur les sols hydromorphes dans la zone du Niéky en Côte d'Ivoire.
Fruits, 28, 2 et 3, p. 85-102 et 171-187.

2. DABIN (B.) et LENEUF (N.). 1960.

Les sols de bananeraies de Côte d'Ivoire.
Fruits, 15, 1-2-3, p. 3-27, 77-88, 117-127.

3. GODEFROY (J.). 1977.

Analyses physiques et chimiques des sols tourbeux.
Fruits, 32, 11, p. 647-664.

4. GODEFROY (J.). 1967.

Etude des sols tourbeux du Niéky.
Doc. IRFA, 10 p.

5. GODEFROY (J.). 1975.
Evolution des teneurs des sols en éléments fertilisants sous culture d'ananas. Caractéristiques chimiques des sols de Côte d'Ivoire.
Fruits, 30, 12, p. 749-756.
6. GODEFROY (J.), LACOEUILHE (J.J.) et MARCHAL (J.). 1976.
Effet du chaulage sur la culture de l'ananas dans un sol ferrallitique fortement désaturé.
Fruits, 31, 10, p. 603-615.
7. GODEFROY (J.). 1976.
Evolution des teneurs des sols en éléments fertilisants sous culture bananière. Caractéristiques chimiques des sols de Côte d'Ivoire.
Fruits, 31, 2, p. 75-82.
8. KILIAN (J.). 1970.
Etude des sols tourbeux et semi-tourbeux utilisés en culture bananière dans la région de Tamatave.
Fruits, 25, 1, p. 35-43.
9. GODEFROY (J.). 1976.
Etude pédologique des sols de la station IRFA de Rivière Lézarde en Martinique.
Doc. IRFA.
10. VELLY (J.). 1974.
Observation sur l'acidification de quelques sols de Madagascar.
Agronomie tropicale, XXIX, 12, p. 1249-1261.
11. ANGLADETTE (A.). 1966.
Le riz.
Techn. agric. et prod. trop. Maisonneuve et Larose, Paris, 930 p.
12. HENIN (S.) et MONNIER (G.). 1969.
Le profil cultural.
Masson Editeur, 332 p.

