

# ACTION DES APPORTS DE SOUFRE SUR LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES D'UN SOL VOLCANIQUE EN CULTURE BANANIÈRE

J. GODEFROY et Ph. MELIN\*

ACTION DES APPORTS DE SOUFRE SUR LES  
CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES D'UN SOL VOLCANIQUE  
EN CULTURE BANANIÈRE

J. GODEFROY et Ph. MELIN (IFAC)

*Fruits*, mars 1973, vol. 28, n°3, p. 255-261.

**RESUME** - L'action des apports de soufre sur les caractéristiques chimiques du sol est étudiée dans deux essais réalisés en bananière sur un sol volcanique (Cameroun). Les apports de soufre ont diminué les teneurs en calcium et en potassium échangeables du sol, et acidifié le sol. La nitrification de l'urée utilisée comme engrais azoté est ralentie, mais non l'ammonification. L'action du soufre sur la teneur en magnésium échangeable n'est pas clairement mise en évidence dans ces deux essais. Le soufre n'a pas d'action sur la matière organique du sol (C et N total, C/N) ni sur la teneur en phosphore assimilable.

Des études concernant l'action de soufre sur la croissance du bananier, sont en cours depuis 1969 à la station IFAC de Nyombé au Cameroun occidental. Comme pour tous les essais de fertilisation faits à l'IFAC, ces études portent sur les aspects : agronomiques, physiologiques et agrochimiques. Les deux premiers aspects ont déjà été étudiés et présentés aux lecteurs de FRUITS (Ph. MELIN 1970, J. MARCHAL et al. 1972). La présente publication étudie l'action des apports de soufre sur quelques caractéristiques chimiques du sol : matière organique, ammonification et nitrification, cations échangeables, pH, phosphore assimilable.

## SOL ET CLIMAT

Les caractéristiques pédoologiques des sols de Nyombé, et les caractéristiques climatiques ont déjà été présentées dans cette revue (DUGAIN 1960, GODEFROY 1967 et 1969),

\* - GODEFROY, Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC), B.P. 1740, Abidjan (République de Côte d'Ivoire). Collaboration technique Madame MULLER.  
MELIN - Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC) B.P. 13, Nyombé (République du Cameroun).

nous les rappellerons donc très brièvement.

Le sol formé à partir d'un matériau volcanique récent (lapillis) appartient au groupe des sols bruns eutrophes de la classification française (AUBERT 1963). Ce sol se caractérise par une très grande richesse chimique, une capacité de fixation des cations et de rétention en eau très élevée, une bonne structure et une perméabilité élevée.

Le climat est du type tropical humide, la pluviosité annuelle est de 2.500 à 3.000 mm et la température moyenne de 26,5°C.

## CONDITIONS EXPERIMENTALES

La première étude commencée en 1969 est l'essai NYO-33 sur bananier «Grande Naine». Dans cet essai qui étudie les effets d'apports élevés d'éléments minéraux (S, K, Ca, Mg, P) nous ne retiendrons que les deux traitements qui nous intéressent dans la présente étude : le témoin et le traitement soufre. Les deux traitements principaux sont divisés en deux sous-traitements :

- apport d'engrais azoté «normal» correspondant aux doses

habituellement utilisées dans la région (N<sub>1</sub>),

- apport d'engrais azoté «en supplément» (N<sub>2</sub>).

Le nombre des répétitions est de cinq (blocs de Fischer). Les traitements sont donc les suivants (apports en kg/ha/an):

Sous-traitements	Témoin (T)	Soufre (S)
N normal (N <sub>1</sub> )	412 de N	412 de N + 1270 de S
N en supplément (N <sub>2</sub> )	640 de N	640 de N + 1270 de S

Un deuxième essai : NYO-54 commencé au mois de mai 1970, étudie l'action d'apports de doses croissantes de soufre. Comme dans le précédent essai, on étudie également les effets de l'azote à deux niveaux (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>). Il n'y a pas de répétitions.

Les traitements sont les suivants :

Essai NYO-54 : apports de soufre en kg/ha/an

sous-traitement	1 (Témoin)	2	3	4	5	6
N normal (N <sub>1</sub> ) 350 kg/ha/an de N		532	1.060	2.120	4.240	8.480
N suppl. (N <sub>2</sub> ) 700 kg/ha/an de N		532	1.060	2.120	4.240	8.480

Dans ces deux essais la fumure azotée est apportée sous forme d'urée. Les épandages sont faits en couronne autour des bananiers en six épandages annuels. Le soufre apporté sous forme de fleur de soufre est appliqué sur toute la surface du sol en une seule fois.

Les prélèvements d'échantillons de terre sont faits de 0 à 25 cm de profondeur entre quatre bananiers, en dehors de la zone d'application de l'engrais azoté.

## RÉSULTATS

Dans un but de simplification de la présentation, les résultats reproduits dans les tableaux sont les moyennes des deux sous-traitements (N<sub>1</sub> et N<sub>2</sub>), qui ne sont pas significativement différents ; excepté pour la teneur en azote minéral. L'étude statistique (P. LOSSOIS) de l'essai NYO-33 compare les traitements principaux (T et S) par sous-traitements et globalement, les sous-traitements entre eux, (N<sub>1</sub> - N<sub>2</sub>) et l'inter-action S x N. L'essai NYO-54 n'a fait l'objet que d'une étude statistique partielle.

## MATIERE ORGANIQUE

L'apport de soufre quelle que soit la quantité, n'a pas d'action sur les teneurs en carbone et en azote total du sol, ni sur la valeur du rapport carbone/azote (tableaux 1 et 2). L'apport de soufre augmente la teneur en soufre total du sol de 183 à 367 ppm (essai 33).

## AZOTE MINÉRAL

### Étude au champ.

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 ces échantillons prélevés annuellement, les niveaux en azote ammoniacal et nitrique entre les traitements. La comparaison des résultats des teneurs en azote ammoniacal et nitrique entre les traitements «témoins» et les traitements «soufre» des deux essais (tableaux 1 et 2) ne permet pas de dégager une action nette de soufre, les résultats étant souvent contradictoires d'un prélèvement à l'autre. Seules les teneurs en azote minéral total sont assez concordantes. On observe une nette tendance à une augmentation des teneurs avec les apports de soufre. Cette observation nous a semblé intéressante d'autant plus qu'elle corroborait certains résultats agronomiques et physiologiques.

Afin de préciser l'action du soufre sur la minéralisation de l'azote, nous avons été conduits à faire une étude *in vitro*, qui comme nous l'étudierons au paragraphe suivant, permet d'expliquer le rôle du soufre dans la minéralisation de l'urée.

L'apport supplémentaire d'urée augmente la teneur en azote minéral total, et la valeur du rapport N-NO<sub>3</sub>/N-NH<sub>4</sub>, mais les différences ne sont vraiment nettes que dans l'essai 54 pour lequel les doses d'azote varient du simple au double (tableau 3). Il faut se rappeler que le prélèvement de terre est fait hors de la zone d'épandage de l'urée. Les différences sont probablement plus élevées dans la zone d'application de l'engrais.

### Étude *in vitro*.

Le principe de la technique d'étude est le suivant : 50 g de terre placés dans les Erlenmeyers sont enrichis ou non en azote (200 ppm de N) et en soufre (2 p. cent de fleur de soufre) et mis à incuber à la température ambiante dans une armoire calorifugée (26° plus ou moins 3° C). Le sol est maintenu à une humidité constante voisine de l'humidité à la capacité au champ (50 p. cent). On détermine les teneurs en azote ammoniacal et nitrique de la terre à la mise en incubation (J<sub>0</sub>) puis après 1, 2, 4 et 8 semaines. La terre utilisée pour les incubations a été prélevée dans une parcelle de la bananeraie de Nyombé qui n'a eu aucune fertilisation depuis 13 ans (parcelle N<sub>0</sub> P<sub>0</sub> K<sub>0</sub> de l'essai N° 1). Nous avons profité de cette étude pour comparer les vitesses de nitrification de l'urée et du sulfate d'ammoniaque. L'expérimentation comporte cinq traitements répétés cinq fois.

- 1 - témoin : terre (T)
- 2 - terre + urée (T + U)
- 3 - terre + soufre (T + S)
- 4 - terre + soufre + urée (T + S + U)
- 5 - terre + sulfate d'ammoniaque (T + SA)

L'expérimentation s'est déroulée dans de très bonnes conditions. Les résultats pour un même traitement sont extrêmement voisins dans les cinq répétitions, d'où des



coefficients de variation très faibles (4 p. cent maximum).

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement sur les figures 1 et 2. L'étude de ces courbes montre que :

- L'ammonification de l'urée est extrêmement rapide, puisqu'après une semaine d'incubation la quasi totalité de l'urée s'est transformée en azote minéral (figure 1).
- Le soufre n'a pas d'action sur la minéralisation nette de l'azote (T+U identique à T+U+S, et T identique à T+S).
- La minéralisation nette de l'azote avec apport d'urée ou de sulfate d'ammoniaque est identique (T + U identique à T+SA).
- Le soufre ralentit la nitrification (T+U supérieur à T+S+U à 1, 2 et 4 semaines, T supérieur à T+S à 1 et 2 semaines avec une probabilité de  $P = 0,01$ , et à quatre semaines avec une probabilité de  $P = 0,05$ ) (figure 2). A la huitième semaine les teneurs en nitrates sont identiques dans les deux échantillons «urée» d'une part, et dans les deux terres non enrichies en azote d'autre part.
- La nitrification de l'urée est identique à celle du sulfate d'ammoniaque, on observe toutefois une petite différence

(12 p. cent) à la deuxième semaine (significatif à  $P = 0,01$ ), mais pour les autres dates aucune différence n'est significative.

Cette étude montre donc nettement le rôle du soufre dans la minéralisation de l'urée : pas d'action sur la minéralisation globale nette, mais ralentissement de la nitrification. Comme nous l'étudierons plus loin, cette «régulation» de la nitrification est en relation avec l'augmentation de l'acidité du sol. Ce ralentissement de la vitesse de nitrification de l'urée est un facteur favorable, car le «stockage» de l'azote apporté par la fumure minérale se fait pendant une période plus longue sous forme ammoniacale qui est beaucoup moins lixiviable que la forme nitrique. La vitesse de nitrification est suffisante pour assurer la nutrition de la plante, et les pertes sont plus faibles. Cette action du soufre n'est peut-être pas la seule pour expliquer la meilleure nutrition en azote des bananiers, mais elle y contribue certainement.

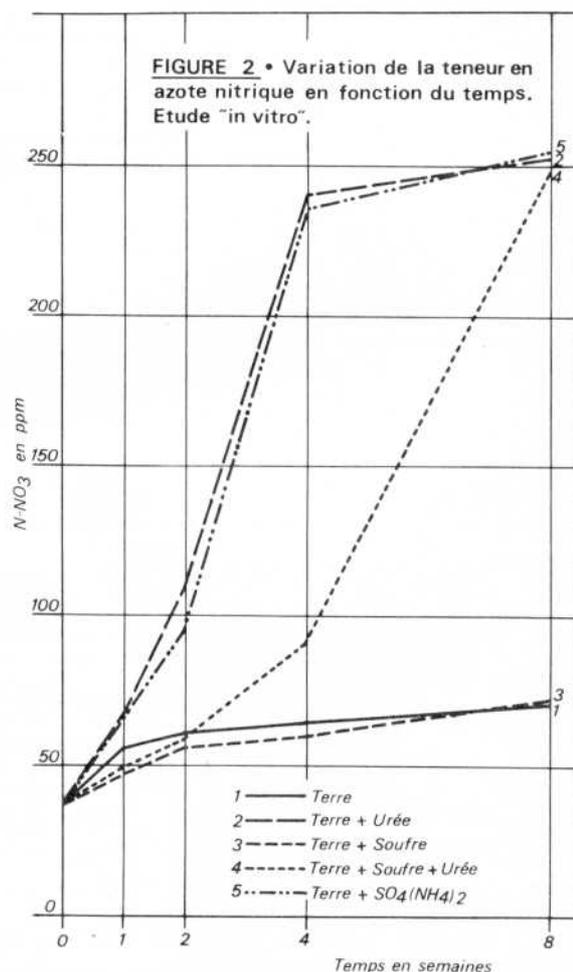
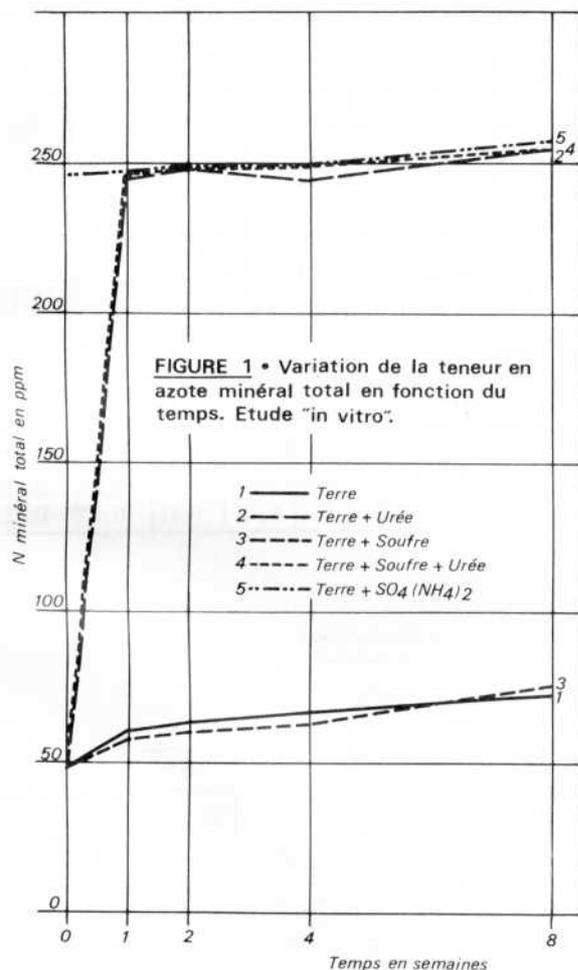


TABLEAU 4 - Effets du soufre sur la teneur des cations échangeables, du phosphore assimilable et sur l'acidité. Essai NYO - 33.

Traitements	1970		1971	
	Témoin	Soufre	Témoin	Soufre
Calcium mé p. 100 g	15,8	12,7 **	14,3	11,0 **
Magnésium mé p. 100 g	5,2	5,8+	4,1	4,9 *
Potassium mé p. 100 g	4,6	3,7*	3,2	2,7 *
Somme des cations mé p. 100 g	25,6	22,2 **	21,6	18,6 **
Capacité de fixation mé p. 100 g	35,4	34,9 ns	35,4	35,0 ns
Coefficient de saturation p. cent	71	61 **	61	53 **
pH	6,2	5,6 **	6,0	5,7 **
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable p. mille (DYER)	0,43	0,49 ns	0,43	0,46 ns

TABLEAU 5 - Effets du soufre sur la teneur des cations échangeables, du phosphore assimilable et sur l'acidité. Essai NYO - 54.

		Soufre en t/ha					
		Témoin	0,5	1,1	2,1	4,2	8,5
Calcium mé p. 100 g	1971	16,4	11,9	12,0	9,5	10,2	6,9
	1972	20,7	13,2	13,3	10,1	10,3	4,5
Magnésium mé p. 100 g	1971	3,6	3,6	4,3	4,3	4,5	6,8
	1972	4,3	4,1	4,2	3,8	3,9	2,5
Potassium mé p. 100 g	1971	3,1	2,3	2,7	1,9	1,8	1,1
	1972	4,4	2,5	3,9	2,8	2,4	1,6
Somme des cations mé p. 100 g	1971	23,1	17,8	19,0	15,7	16,5	14,8
	1972	29,4	19,8	21,4	16,7	16,6	8,6
Capacité de fixation mé p. 100 g	1971	33,4	34,0	36,1	33,8	36,7	33,5
	1972	38,4	33,9	36,4	37,2	38,1	33,4
Coefficient de saturation p. cent	1971	69	52	53	47	45	45
	1972	77	58	59	45	44	26
pH	1971	6,2	6,1	6,1	5,8	5,2	4,3
	1972	6,1	5,7	5,5	5,2	5,0	4,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable p. mille (DYER)	1971	1,32	0,82	0,78	1,15	1,17	1,32
	1972	1,35	0,86	0,90	1,12	1,12	1,04

Diminution de teneurs en p. cent du témoin - essai NYO-54

## CATIONS

Le soufre diminue très significativement les teneurs en calcium et en potassium échangeable (tableaux 4 et 5), cette diminution n'est pas proportionnelle aux doses de soufre apportées. Une dose faible (0,5 t/ha) diminue proportionnellement plus qu'une dose élevée (4 ou 8 t/ha) comme le montrent les résultats ci-contre.

		Soufre				
		0,5 t	1,1 t	2,1 t	4,2 t	8,5 t
Calcium	1971	27	27	42	38	58
	1972	36	36	51	50	78
Potassium	1971	26	23	39	42	65
	1972	0	15	31	17	60

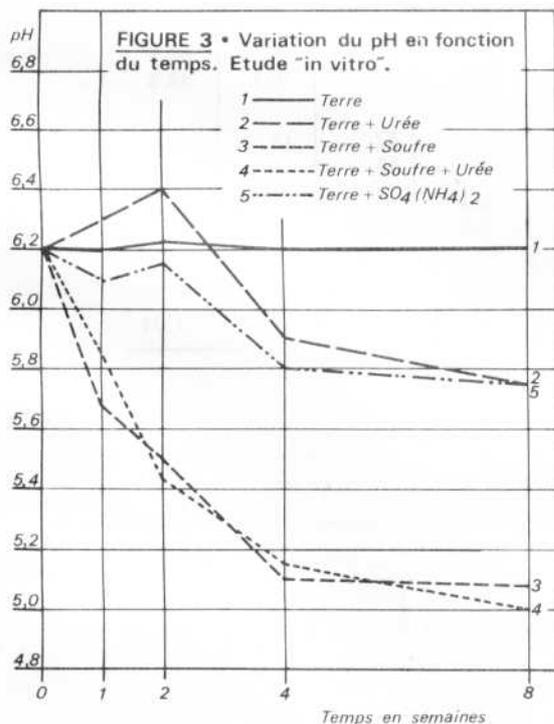
Dans cet essai l'hétérogénéité des résultats est due au fait qu'il n'y a pas de répétitions.

L'action du soufre sur la teneur en magnésium échangeable n'est pas nettement mise en évidence. Dans l'essai NYO-33, la teneur en magnésium dans le traitement soufre augmente par rapport au témoin (+ 12 p. cent et + 19 p. cent). Dans l'essai NYO-54 les résultats de 1971 et 1972 sont contradictoires. En 1971 on observe une augmentation de la teneur avec l'apport de soufre. Au prélèvement 1972 la teneur en magnésium a, au contraire, diminué avec les doses d'apport croissantes de soufre.

Quel que soit le comportement du magnésium, la somme des cations diminue quand on apporte du soufre. Corrélativement le coefficient de saturation en cations du complexe absorbant diminue et l'acidité augmente.

Le calcul des coefficients de corrélation entre cations échangeables et traitements, effectué sur le prélèvement de 1971 (P. LOSSOIS), donne les valeurs suivantes de «r» :

	sous-traitement-		
	«a»	«b»	«ab»
calcium	- 0,96	- 0,72	- 0,81
potassium	- 0,80	- 0,98	- 0,86
magnésium	+ 0,88	+ 0,80	+ 0,83
somme	- 0,91	- 0,64	- 0,73
<b>valeurs de «r»</b>			
P = 0,05	0,81	0,81	0,58
P = 0,01	0,92	0,92	0,71



## pH

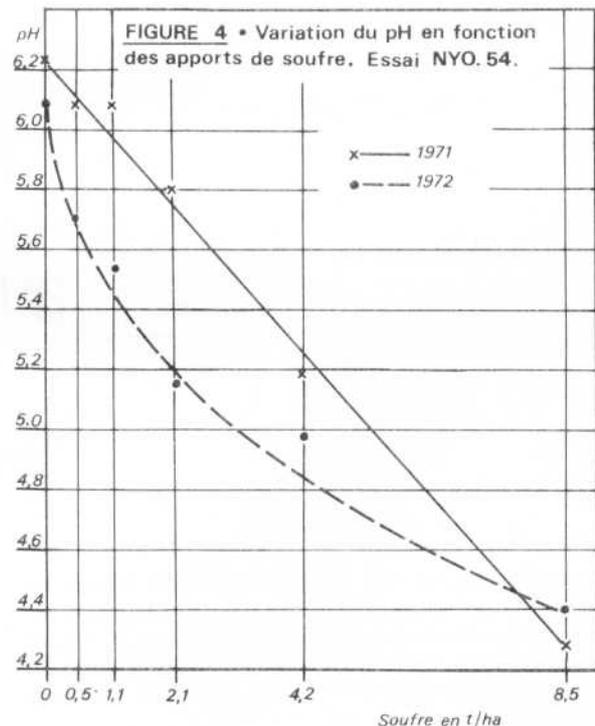
### Étude au champ.

Dans tous les cas l'apport de soufre diminue le pH du sol (tableaux 4 et 5 et figure 4). Cette action du soufre est bien connue ; le soufre s'oxyde en donnant des ions  $\text{SO}_4^{2-}$  qui se combinent aux ions  $\text{H}^+$  du sol pour former un acide. Dans l'essai NYO-54 le pH diminue en moyenne de une unité pour un apport de 4 t/ha de soufre.

### Étude in vitro.

La technique d'étude est exactement la même que pour l'étude de l'azote minéral, les cinq mêmes traitements sont comparés, mais avec deux répétitions seulement. La reproductibilité des résultats entre les deux répétitions est excellente puisque le coefficient de variation maximum est de 0,06 p. cent et les p.p.d.s. très faibles : inférieurs à 0,1 unité pH. Les résultats représentés sur la figure 3 montrent que :

- Le soufre augmente l'acidité du sol ; après huit semaines d'incubation la diminution du pH est de 1,1 unité pH.
- Dans une première phase (première et deuxième semaine) l'urée élève le pH du sol de 0,2 unité (phase d'ammonification) puis dans une deuxième phase (nitrification) le pH diminue. Après huit semaines d'incubation le pH a diminué de 0,45 unité.
- Lorsque l'on apporte à la fois du soufre et de l'urée, l'acidité du sol n'est pas sensiblement augmentée, puisque la diminution du pH n'est que de 0,08 unité (significatif à  $P = 0,01$ ) de plus que pour le soufre seul.



- Le sulfate d'ammoniaque diminue le pH ; après huit semaines d'incubation l'acidification du sol est exactement la même qu'avec l'urée : 0,45 unité pH.

### PHOSPHORE

Dans les deux essais étudiés l'apport de soufre n'a pas eu d'action sur la teneur en phosphore assimilable du sol.

### CONCLUSION

L'apport de soufre dans le sol produit des modifications importantes des caractéristiques chimiques. Les cations échangeables calcium et potassium sont très fortement diminués et le sol s'acidifie. L'un des buts des apports de soufre dans ces essais est de diminuer la teneur en calcium qui est élevée, afin d'améliorer l'assimilation des deux autres cations : Mg et K. On peut considérer que ce but a été at-

teint. En revanche, dans un sol acide et pauvre en calcium, lorsque des apports de soufre sont nécessaires pour corriger une déficience, cette action du soufre vis-à-vis du calcium et du pH peut être néfaste. Il convient alors de la corriger par un apport supplémentaire d'amendement calcique.

En relation avec l'acidification du sol l'apport de soufre ralentit la nitrification de l'urée. Dans ce sol qui nitrifie très rapidement, cette «régulation» est un facteur favorable, puisque la vitesse de production des nitrates est suffisante pour assurer l'alimentation de la plante, tandis que le ralentissement de la nitrification diminue les pertes par lixiviation, l'engrais restant plus longtemps sous forme ammoniacale. Dans un sol à faible pouvoir nitrificateur cette action du soufre pourrait être défavorable. Le soufre n'a pas d'action nette sur la teneur en matière organique, ni sur celle en phosphore assimilable. L'action vis-à-vis du magnésium échangeable demande à être précisée.

La teneur en soufre totale est très fortement augmentée par les apports.

### BIBLIOGRAPHIE

AUBERT (B.). 1963.

La classification pédologique française.  
*Cahiers ORSTOM pédologie*, 3, p. 1-7.

DUGAIN (F.). 1960.

Etude sur la fertilisation des sols de la plaine bananière du Cameroun.  
*Fruits*, vol. 15, n°4, p. 153-168.

GODEFROY (J.) et LOSOIS (P.). 1966.

Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques d'un sol du Cameroun.  
*Fruits*, vol. 21, n°10, p. 535-542.

GODEFROY (J.). 1967.

Le sous-solage en bananeraie.  
*Fruits*, vol. 22, n°8, p. 341-350.

GODEFROY (J.). 1969.

Evolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique sous culture bananière.  
*Fruits*, vol. 24, n°5, p. 257-271.

MARCHAL (J.) et all. 1972.

Le soufre et le bananier.  
*Fruits*, vol. 27, n°3, p. 167-177.

MELIN (Ph.). 1970.

Effets de forts apports minéraux sur le bananier.  
*Fruits*, vol. 25, n°11, p. 763-766.

