

Symposium international sur le Soufre en Agriculture
Versailles, 3-4 décembre 1970

**PREMIERS RÉSULTATS D'UNE ENQUÊTE
SUR LES TENEURS EN SOUFRE DES SOLS
D'AFRIQUE TROPICALE**

*Preliminary results of a survey
showing the sulphur content of the soils
of Tropical Africa*

B. DABIN

avec la collaboration technique de E. GAVINELLI

*Office de la Recherche scientifique et technique d'Outre-Mer,
93 - Bondy*

Annales agronomiques

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle, Paris-7^e

PREMIERS RÉSULTATS D'UNE ENQUÊTE
SUR LES TENEURS EN SOUFRE DES SOLS
D'AFRIQUE TROPICALE (1)

*Preliminary results of a survey
showing the sulphur content of the soils
of Tropical Africa*

B. DABIN

avec la collaboration technique de E. GAVINELLI

*Office de la Recherche scientifique et technique d'Outre-Mer,
93 - Bondy*

INTRODUCTION

Par suite d'un accord avec les représentants des différents instituts d'outre-mer, nous avons été chargé de présenter une étude sur les teneurs en soufre des sols tropicaux. Nous avons choisi d'étudier les sols des régions où ces mêmes instituts effectuent des expérimentations, c'est-à-dire dans différents pays d'Afrique tropicale francophone. Jusqu'à présent très peu d'études systématiques sur le soufre dans les sols ont été entreprises dans ces régions, alors que des essais de fertilisation sur les plantes sont poursuivis depuis une dizaine d'années ; ceci tient en grande partie au fait que les teneurs en soufre de la plupart des sols sont très faibles et que le microdosage du soufre dans les sols est une analyse longue et difficile. En revanche, il existe un certain nombre d'études sur les sols où le soufre est en excès et peut présenter des caractères de toxicité, nous en citerons un exemple qui nous a été communiqué par l'I. R. A. T. Cependant le sujet essentiel reste celui de la carence possible en soufre et la détermination des réserves ou des fractions assimilables du sol qui peuvent être en relation avec les déficiences observées dans les plantes. En conséquence, un certain nombre de sols correspondant à différents types génétiques ont été analysés, de même que des parcelles d'essai où des carences en S ont été décelées ; néanmoins, il s'agit d'une étude préliminaire qui aura besoin d'être largement complétée par la suite.

(1) D'après des documents O. R. S. T. O. M., I. R. C. T., I. F. A. C., I. R. A. T., I. R. H. O.

I. — LES MÉTHODES D'ANALYSE CHIMIQUE

Les méthodes utilisées sont celles qui sont préconisées par le *Bulletin technique* n° 14 du « Sulphur Institute » de Washington (1968).

Soufre total

En ce qui concerne le soufre total qui, dans les sols considérés, est en majorité du soufre organique, la méthode employée est celle de CHAUDRY et CORNFELD (1966) qui comporte une prédigestion dans un mélange d'acide nitrique et nitrate de potassium, suivi d'une calcination, puis d'une extraction de SO_4 soluble dosé par turbidimétrie.

Néanmoins par rapport à la méthode préconisée par les auteurs, il a fallu apporter une modification importante en raison de la très grande quantité d'hydroxyde solubilisé au moment de l'attaque. Ces hydroxydes sont précipités par une solution de phosphate monopotassique et séparés par centrifugation.

En partant de 5 g de sol, cette méthode permet de doser jusqu'à 10 p.p.m de S.

Soufre soluble

En ce qui concerne le soufre soluble, la méthode employée est inspirée de ESMINGER et FOX et utilise l'agitation à froid dans une solution de phosphate monocalcique à 500 p.p.m. de P (l'ion PO_4 permet de déplacer éventuellement SO_4 adsorbé sur le sol). Une quantité non négligeable d'humus est solubilisée, il a donc fallu également traiter l'extrait par la solution de nitrate suivie d'une brève calcination ce qui constitue également une modification à la méthode.

En raison des très faibles quantités de S, il est nécessaire de partir de 50 g de sol et de concentrer 100 ml d'extrait, ce qui rend la méthode fort longue. Avec ces prises d'échantillon, il est possible de doser jusqu'à 1 p.p.m. de S. Néanmoins cette méthode reste aléatoire.

Autres méthodes

M^{me} BURDIN de l'I. R. A. T. qui a travaillé sur des sols organiques de Côte-d'Ivoire (Agnibi) et du Sénégal (Bimbol) préconise soit la méthode du soufre organique de BARDSLEY et LANCASTER (qui comporte une élimination préalable des sulfates, suivie d'une calcination du sol en milieu alcalin) ou bien une méthode de soufre total par fusion alcaline, ou attaque nitro-perchlorique.

Le soufre de H_2S est déterminé par dosage du S total avec ou sans dessiccation du sol.

Le soufre des sulfates est dosé par attaque du sol par HCl concentré à l'ébullition pendant une heure.

La différence entre S total et S des sulfates donne une idée du soufre organique, elle correspond d'ailleurs au résultat de la méthode BARDSLEY et LANCASTER.

Les ions SO_4 sont dosés soit par gravimétrie, soit par complexométrie.

II. — TENEURS EN SOUFRE TOTAL
DE QUELQUES TYPES DE SOL, D'AFRIQUE TROPICALE

A. — *Comparaison de S, C, N, P₂O₅*

Les sols analysés sont des sols sous jachère ou des sols cultivés provenant de différentes régions climatiques d'Afrique tropicale :

sols ferrallitiques fortement ou moyennement désaturés de Côte-d'Ivoire,
sols bruns eutrophes du Cameroun,
sols ferrugineux tropicaux du Tchad,
sols hydromorphes et vertisols du Tchad.

En même temps que les teneurs en S, les dosages du carbone, azote et phosphore total ont été effectués afin de comparer l'équilibre de ces divers éléments. Les résultats sont présentés en p. 1 000 de terre sèche et en valeur relative par rapport à N pris comme base = 10 (tabl. 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E).

TABLEAU 1 A
Sols ferrallitiques
Ferrallitic soils

		S %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	S	C	N	P ₂ O ₅	
Sols moyennement désaturés, remaniés, sur granite. (Côte-d'Ivoire)	Lakota	S	0,100	33,8	2,6	0,6	0,38	130	10	2,3
		P	0,045	6,7	0,64	0,12	0,7	105	10	1,9
	Gagnoa	S	0,115	18,9	1,66	0,46	0,69	113	10	2,75
		P	0,079	4,2	0,48	0,29	1,65	88	10	6
Sols faiblement désaturés typiques, sur roches basiques. (Côte-d'Ivoire)	Groh	S.	0,062	21,4	2,14	0,99	0,29	100	10	4,6
Sols faiblement désaturés, remaniés. (R. C. A.)	551	S	0,072	33,6	2,01	2,07	0,36	165	10	10,5
	541	S	0,050	28,7	1,9	1,82	0,26	150	10	9
	542	P	0,022	14,7	0,92		0,24	160	10	

S = surface.

P = profondeur.

Ces analyses constituent une liste longue bien que non exhaustive, et il est difficile de déceler des règles de répartition entre les types de sol, cependant on peut observer que les teneurs en S total varient de 0,02 p. 1 000 à 0,3 p. 1 000, soit 20 à 300 p.p.m., exceptionnellement 500. La majorité semble se situer entre 50 et 100 p.p.m., ce qui constitue des teneurs assez faibles.

Les teneurs les plus élevées en valeur absolue s'observent dans les sols hydromorphes organiques, les sols bruns eutrophes, les sols ferrallitiques. Les teneurs moyennes se rencontrent dans les sols ferrugineux tropicaux de bonne qualité, les

TABLEAU I B

Sols bruns eutrophes
Eutrophic brown soils

		S ‰	C ‰	N ‰	P ₂ O ₅ ‰	S	C	N	P ₂ O ₅
Nyombé (Cameroun) Roches volcaniques	3 356 S	0,21	31,6	2,53		0,82	123	10	
	3 368 S	0,245	30,5	3,04		0,8	100	10	

Sols ferrugineux tropicaux lessivés
Tropical ferruginous desaturated soils

Sur alluvions anciennes Tchad	Bonnes terres	Begada 11 S	0,072	10,4	0,49	0,77	1,48	210	10	16
		Begada 31 S	0,068	5,7	0,66	0,95	1,5	86	10	14
		Bangoul 31 S	0,071	11,5	0,720	1	1	160	10	14
		Bebed 2 S	0,084	13,1	0,81	0,98	1,23	162	10	12
	Moyennes terres	Bangoul 21 S	0,073	10,1	0,706	0,95	1,02	142	10	13,2
		Bebed 1 S	0,066	8,3	0,57	0,66	1,15	145	10	11,5
	Mauvaises terres	Begada 21 S	0,044	5,8	0,32	0,39	1,4	170	10	12
		Bangoul 11 S	0,041	4,8	0,306	0,29	1,35	157	10	9,6

TABLEAU I C

Sols des bas-fonds des zones de forêt
Bottom soils of forest areas

		S ‰	C ‰	N ‰	P ₂ O ₅ ‰	S	C	N	P ₂ O ₅	
Sols ferrallitiques faiblement désaturés sur granite ; Sols colluvionnés jaunes	Bongouanou	S .	0,115	15,4	1,52	0,43	0,76	100	10	2,8
		P .	0,015	2	0,32	0,12	0,48	64	10	3,8
Sols ferrallitiques moyennement désaturés sur granite ; Sols colluvionnés jaunes	Sassandra	S .	0,066	6,1	0,59	0,12	1,14	105	10	2,05
		P .	0,21	4,5	0,053	0,18	0,4	86	10	3,4
Sols hydromorphes minéraux sableux sur granite. Côte-d'Ivoire	Brabodougou	S .	0,122	16,1	1,39	0,87	0,88	116	10	6,3
		P .	0,068	5,1	0,32	0,12	0,48	64	10	3,8

TABLEAU I D

Sols des bas-fonds des zones de Savane
Bottom soils of savanna areas

		S %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	S	C	N	P ₂ O ₅
Sols sur alluvions anciennes Tchad	Kokati 11 S	0,045	3,3	0,186	0,19	2,4	175	10	10,2
	Kokati 21 S	0,043	3,2	0,193	0,19	2,2	165	10	10
	Dila 31 S	0,027	4,8	0,37	0,2	0,74	130	10	5,5
Sols hydromorphes minéraux argileux, sur alluvions récentes Tchad	Our 11 S	0,036	16,6	1,37	2,2	0,26	120	10	16
	Our 12 P	0,043	4,6	0,45	1,04	0,96	101	10	23
Sols hydromorphes organiques, sur alluvions récentes. Polders de Bol Tchad	Bol 271 1 S	0,230	24	2,2	1,47	1,05	110	10	6,7
	Bol 271 2 P	0,140	15,2	1,2	1,56	1,15	126	10	13
	Bol 272 1 S	0,58	53,3	4,58	2,66	1,25	116	10	5,8
	Bol 273 1 S	0,220	48	4,42	3,21	0,5	107	10	7,3

TABLEAU I E

Vertisols
Vertisols

		S %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	S	C	N	P ₂ O ₅	
Sur alluvions Tchad	Dila {	21 S	0,027	7,4	0,5	0,4	0,54	148	10	8
		22 P	0,010	1,8	0,2	0,24	0,5	90	10	12
	Magao 11 S	0,038	2,4	0,24	0,44	1,6	100	10	18	
	Bedeni {	11 S	0,036	4	0,34	0,39	1,05	116	10	11,5
		12 P	0,043	3	0,21	0,34	2	145	10	16
Dila	11 S	0,014	5,2	0,35	0,43	0,4	150	10	12,3	
	Magao 21 S	0,027	4,5	0,36	0,61	0,75	125	10	17	
Sur roche basique Cameroun	Verti 1 S	0,063	7,9	0,64	0,76	0,99	123	10	12	
Solonetz solodisé Cameroun	Hardé 1 S	0,05	4,2	0,28	0,2	1,7	150	10	7	

teneurs basses dans les sols ferrugineux appauvris, les sols hydromorphes sableux et les vertisols.

Si l'on compare les horizons de surface et les horizons de moyenne profondeur (20-50 cm), on constate en général une diminution de la teneur en S en profondeur ; mais cette diminution est plus ou moins accentuée, elle correspond d'ailleurs à une diminution de la matière organique.

En ce qui concerne la comparaison des teneurs en S avec les teneurs correspondantes en C, N, P_2O_5 , on observe que les teneurs en carbone sont en moyenne 100 fois plus fortes, les teneurs en azote 10 fois à 20 fois, les teneurs en P_2O_5 5 à 10 fois plus élevées (soit 2,5 à 5 fois si l'on calcule en P).

Si l'on porte sur un graphique (fig. 1) les teneurs en S en fonction des teneurs en N total, on observe une corrélation linéaire assez lâche, mais qui montre cependant que le soufre dans les sols est essentiellement sous forme organique. Les points se situent autour de la droite $S = \frac{1}{10} N$. Il est rare que les proportions de S dépassent beaucoup cette valeur, mais, en revanche, elles peuvent être nettement plus faibles. C'est l'inverse en ce qui concerne le phosphore ; le rapport $\frac{P_2O_5}{N}$ qui, sur un grand nombre de sols, est en moyenne de $\frac{1}{2}$, peut dépasser très largement cette valeur. Ceci provient du fait qu'une grande partie du phosphore total (environ les $\frac{2}{3}$) est sous forme minérale, alors que dans les sols étudiés la quasi-totalité du soufre est sous forme organique ; cette matière organique étant plus ou moins riche ou pauvre en soufre.

Les sols où la teneur relative en S de la matière organique paraît la plus faible sont les sols ferrallitiques, et certains sols hydromorphes argileux et vertisols ; presque tous les autres sols sont voisins de la moyenne indiquée.

Dans les sols ferrallitiques, la teneur relative en soufre est plus élevée en profondeur qu'en surface ; dans les autres sols, elle est souvent équivalente ; dans les sols colluvionnés, c'est la surface qui a la teneur relative la plus élevée.

B. — *Comparaison du S total et du S soluble dans plusieurs profils de sols ferrugineux tropicaux*

Il aurait été utile de déterminer les teneurs en S soluble sur tous les sols étudiés, mais notre enquête a commencé trop tardivement.

Certains sols pauvres en S total ont donné des teneurs en S soluble quasiment nulles, pour d'autres le S soluble (phosphate de chaux) représente environ 10 p. 100 du S total.

Le tableau 2 représente des terres à coton du Cameroun, certaines sous jachère ou en 1^{re} année de culture (C-A), une autre cultivée en continu avec engrais NSPKB (arrière-effets) (B).

Les terres en début de culture présentent généralement une déficience en S ; la parcelle B, par contre, n'a pas de déficience. Si l'on considère l'horizon supérieur 0-10, c'est la parcelle B non carencée qui a la teneur en S soluble la plus élevée 13 p.p.m., due vraisemblablement à l'apport d'engrais. D'après les auteurs américains (ENSMINGER et FRENEY, 1966), une teneur de 8 à 10 p.p.m. de soufre soluble (phosphate) constitue la limite de réaction aux engrais.

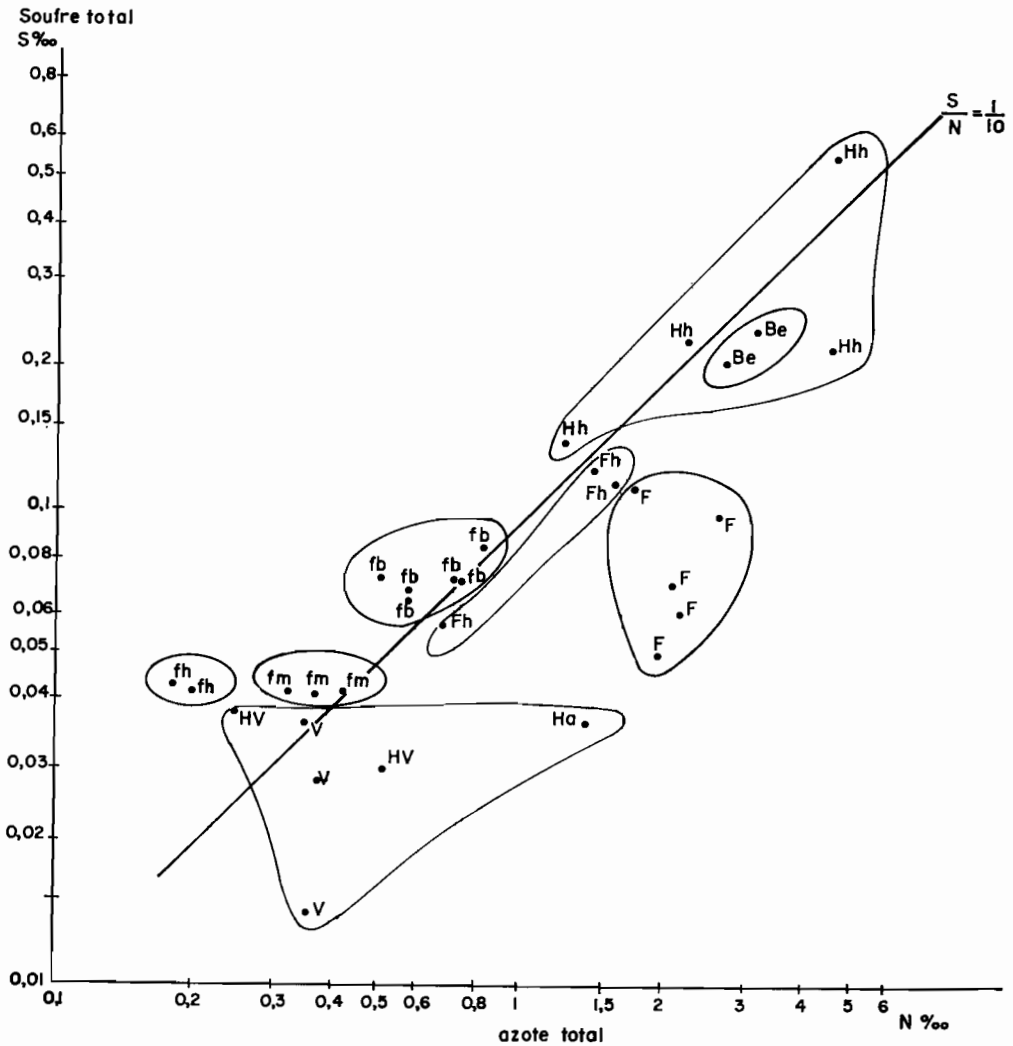


FIG. 1. — Soufre total et azote total dans différents sols tropicaux
 Total sulphur and total nitrogen in different tropical soils

Types de sols	Type of soils
Be	: brun eutrophes : <i>eutrophic brown</i>
fb	: ferrugineux (bon) : <i>ferruginous (good)</i>
fm	: — (mauvais) : — (<i>bad</i>)
fh	: — hydromorphes : <i>hydromorphic ferruginous</i>
F	: ferrallitiques : <i>ferrallitic</i>
Fh	: — hydromorphes : <i>hydromorphic ferrallitic</i>
Hh	: Hydromorphes humifères : <i>organic hydromorphic</i>
Hv	: — vertiques : <i>vertic hydromorphic</i>
Ha	: — argileux : <i>argilaceous hydromorphic</i>
V	: vertisols : <i>vertisols</i>

Si l'on compare les deux parcelles A et C, la teneur en S soluble en surface est proportionnelle à la teneur en S total et dépend de la teneur en matière organique qui passe du simple au double entre C et A.

TABLEAU 2
S total et S soluble
Sols à coton du Cameroun (région de Maroua)
Total and soluble Sulphur
Cotton soils of Cameroun (Maroua region)

Profondeur (cm)	A Sol de la région de Badgouna (1 ^{re} année de culture)				B Sol de la région de Guetalé (culture continue avec engrais)				C Sol de la région de Guetalé (jachère)			
	S total p.p.m.	S soluble p.p.m.	C %	N %	S total p.p.m.	S soluble p.p.m.	C %	N %	S total p.p.m.	S soluble p.p.m.	C %	N %
0-10	80	7,5	8,6	0,66	64	13,5	2,69	0,27	36	4,05	4,82	0,43
10-20	71	7,5	6,87	0,5	50	5,02	3,49	0,3	34	0,3	3,49	0,26
20-30	47	5,25	4,36	0,34	15	6,45	2,49	0,22	28	0,3	2,1	0,2
30-40	51	12	3,31	0,22	34	6,45	1,37	0,16	22	2,4	1,52	0,14
60-70	110	21	1,25	0,35	15	1,90	0,48	0,067	30	4,5	0,53	0,1
30-100	26	2,5	0,96	0,18	22	très faible	0,96	0,133	8	1,65	0,36	0,047

Par contre, en profondeur, les teneurs en S total ou soluble sont relativement indépendantes des teneurs en matière organique; il est possible qu'une certaine accumulation, qui est d'ailleurs très nette dans le profil A, se produise entre 40 et 70 cm de profondeur, aussi bien sur S total que sur S soluble. Noter aussi que le sol B cultivé en continu avec engrais est fortement appauvri en C et N en surface, ce qui n'influe pas sur la teneur en S. Un sol peut donc être relativement enrichi en soufre sous l'action des engrais; par ailleurs, un niveau d'accumulation peut s'observer à une certaine profondeur. Ces résultats sont trop fragmentaires et auront besoin d'être confirmés.

III. — ANALYSE DU SOUFRE TOTAL ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS DES ESSAIS AGRONOMIQUES

Différentes parcelles d'essais sur coton entrepris en Côte-d'Ivoire par l'I. R. C. T. ont été analysées systématiquement en ce qui concerne le S total, C et N total; de même un essai de longue durée poursuivi à Bambari en R. C. A. a été analysé. Un essai sur bananier à la Station de Nyombé au Cameroun est également étudié sur des échantillons envoyés par l'I. F. A. C.

A. — Essai Côte-d'Ivoire

Les essais sont conduits suivant la méthode soustractive, c'est-à-dire que l'on compare une fumure complète NPSK avec différentes fumures carencées en un élément.

Les traitements analysés sont les suivants :

Témoin..... sans fertilisation
 NSPK..... fumure annuelle complète
 S..... fumure NPK annuelle
 Hors essai..... sol vierge non cultivé.

L'analyse a été faite à deux profondeurs : 0-15 cm, 15-30 cm.

Le tableau (3 A-3 B) comporte les variations de rendement en p. 100 du maxi-

TABLEAU 3 A
 Essai d'engrais en Côte-d'Ivoire
 Fertilizer trial in Ivory Coast

Emplacement	Traitement	Profondeur	% du Rt NPSK en 1969	S total (p.p.m.)	C %	N %
Nembingué 3 ^e année	Témoin	0-15	19	30	4,51	0,29
		15-30		28	2,61	0,2
	Hors-essai	0-15	100	41	5,05	0,34
		15-30		34	4,25	0,22
Katiola 3 ^e année	NPSK	0-15	69	72	3,87	0,23
		15-30		34	2,51	0,17
	NPK (-S)	0-15	41	52	6,61	0,44
		15-30		35	2,61	0,2
Niaka 4 ^e année	Témoin	0-15	44	61	6,16	0,52
		15-30		54	4,36	0,32
	Hors-essai	0-15	100	61	11,9	0,76
		15-30		54	9,9	0,63
Niaka 4 ^e année	NPKS	0-15	68	72	7,38	0,49
		15-30		40	4,61	0,36
	NPK (-S)	0-15	45	49	7,18	0,48
		15-30		35	4,77	0,35
Niaka 4 ^e année	Témoin	0-15	78	88	8,3	0,52
		15-30		52	5,28	0,40
	Hors-essai	0-15	100	78	11,9	0,7
		15-30		28	8,9	0,54
Niaka 4 ^e année	NPSK	0-15	78	88	10,6	0,62
		15-30		56	7,38	0,54
	NPK (-S)	0-15	78	87	7,69	0,49
		15-30		57	5,79	0,37

mum, c'est-à-dire du résultat de NPSK pour chaque emplacement, mais ne donne pas les valeurs réelles des rendements ; d'autre part seul l'essai 1969 est analysé au point de vue S total, C total, N total.

Il serait utile de connaître l'évolution du sol de chaque traitement depuis le début de l'essai, avec suffisamment de répétitions car dans la comparaison des différentes parcelles, en particulier avec le sol vierge (hors essai), il faut tenir compte de l'hétérogénéité naturelle du sol qui est importante. Cependant l'apport de sulfate d'ammoniaque accroît les teneurs en S dans la plupart des parcelles NPSK.

TABLEAU 3 B
Essai d'engrais en Côte-d'Ivoire
Fertilizer trial in Ivory Coast

	Traitement	Profondeur	% du Rt NPSK en 1969	S total p.p.m	C ‰	N ‰
Beoumi 4 ^e année	Témoin	0-15 15-30	85	50 10	21,3 11	1,11 0,7
	Hors-essai	0-15 15-30		64 15	18 11	1 0,66
	NPSK	0-15 15-30	100	78 50	19,9 10,3	1,19 0,65
	NPK (-S)	0-15 15-30	85	46 42	22,3 9,9	1,25 0,63
Yamoussoukro 3 ^e année	Témoin	0-15 15-30	68	122 63	13,9 6,41	1,48 0,68
	Hors-essai	0-15 15-30		138 120	22,6 15,6	1,93 1,52
	NPSK	0-15 15-30	100	122 88	12,5 7,07	1,25 0,65
	NPK (-S)	0-15 15-30	97	127 35	18 7,07	1,77 0,68

Si l'on compare les différents essais du point de vue matière organique et soufre, on peut distinguer en gros les catégories suivantes : trois emplacements (Nembingué, Katiola, Niaka) sont à la fois pauvres en matière organique et en soufre ; un emplacement (Beoumi) est riche en matière organique et pauvre en soufre et un emplacement (Yamoussoukro) est à la fois riche en matière organique et en soufre.

Les différentes valeurs concernant les rendements, la teneur en azote et la teneur en soufre ont été portées sur la figure 2.

Malgré le manque de répétitions, on peut néanmoins observer assez grossièrement en ce qui concerne les quatre premiers emplacements (pauvres en soufre) que la différence de rendement entre la fumure NPKS et le témoin est d'autant plus grande que le sol est plus pauvre en azote.

La suppression du soufre de la fumure complète abaisse le rendement de 15 à 30 p. 100 par rapport à NPKS ; là encore ce sont les sols pauvres en azote qui semblent donner les différences les plus importantes. Il paraît donc y avoir un certain parallélisme dans la dynamique de l'azote et du soufre dans ces sols comme le signale M. RICHARD de l'I. R. C. T.

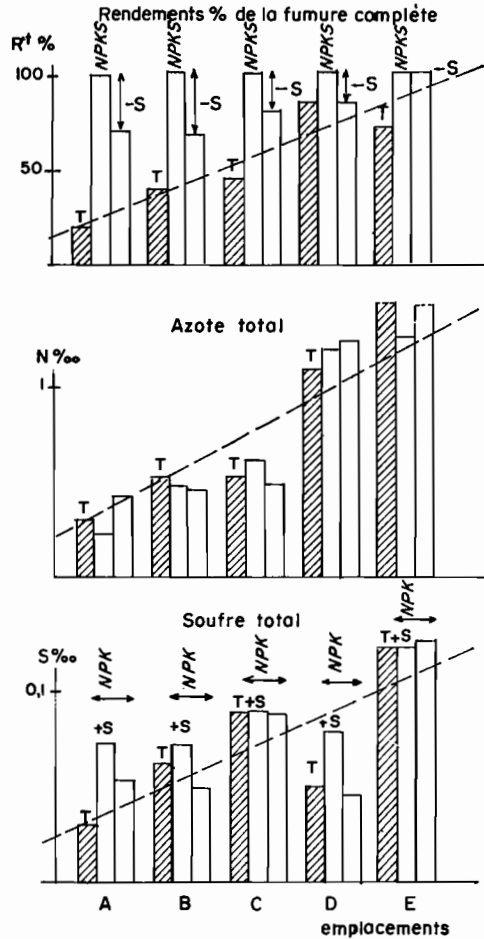


FIG. 2. — Essais sur cotonniers en Côte-d'Ivoire. Rendements et analyse du sol
 Fertilizer trials on cotton in the Ivory Coast. Yields and soil analysis

- | | |
|------------------|--|
| A : Nembigué | NPKS : fertilisation complète |
| B : Katiola | complete fertilisation |
| C : Niaka | S : fertilisation complète sans soufre |
| D : Beoumi | complete fertilization without sulphur |
| E : Yamoussoukro | T : témoin sans fumure |
| | test without fertilizer |

Dans le dernier emplacement (Yamoussoukro), il y a une réponse moyenne à l'azote, ce qui est normal, même dans un sol riche en matière organique, mais il n'y a aucune dépression dans la formule sans soufre, ce qui correspond à la teneur relativement élevée du sol en cet élément.

Donc, dans cet essai, il semble apparaître une correspondance entre les réserves du sol en azote et en soufre et les réponses des plantes aux engrais.

Il est à noter qu'il s'agit des réserves totales, et beaucoup d'agronomes sont enclins à penser qu'elles sont difficilement utilisables et que seule intervient leur vitesse de minéralisation.

Certains auteurs américains, comme BARDSLEY et LANCASTER (1960) ou REHM et CALDWELL (1968), ont montré une corrélation à la signification 0,05 entre le soufre total des sols et l'exportation en S par les plantes ; en ce qui concerne l'azote total, nous avons déjà signalé, à plusieurs reprises, des relations entre les teneurs en cet élément et la fertilité des sols de différentes régions d'Afrique tropicale. Récemment LATHAM (1965), dans les mêmes parcelles d'essai sur coton en Côte-d'Ivoire, a établi une corrélation entre la teneur en azote total dans le sol sans engrais azoté et le rendement en p. 100 du maximum ; la relation globale est assez lâche mais devient beaucoup plus étroite si l'on groupe les sols en trois catégories de texture : argile + limon, inférieure à 10 p. 100, entre 10 et 35 p. 100 et supérieure à 35 p. 100.

Il est donc possible d'établir une relation entre la nutrition azotée et l'azote total du sol à condition de tenir compte de la texture du sol mais aussi du pH. Dans les essais coton de Côte-d'Ivoire, le pH est faiblement acide et s'établit à une valeur moyenne voisine de 6. Il semble que dans les sols tropicaux ce sont les deux principaux facteurs qui, dans des conditions climatiques voisines, agissent sur la vitesse de minéralisation.

Il est vraisemblable que pour interpréter les teneurs en S total fortement liées à la matière organique, il faut également tenir compte de la granulométrie et du pH du sol. Dans les sols de Côte-d'Ivoire de granulométrie moyenne, la limite de teneur en S total semble se situer entre 70 et 100 p.p.m. ; nous allons voir dans un autre exemple pris au Cameroun, sur roche volcanique, avec une teneur en A + L supérieure à 45 p. 100, que la limite se situe presque au double de cette valeur.

B. — Analyse des essais sur bananiers à la station de Nyombé (Cameroun)

Divers essais sur bananiers sont suivis par l'I. F. A. C. à la station de Nyombé. Le sol est de type sol brun eutrophe sur matériau volcanique (tabl. 4 et 5).

Dans le premier essai recevant de l'urée à deux doses, moyenne et forte, et de la fleur de soufre, le rendement quantitatif et qualitatif du bananier a été amélioré par les apports de soufre, mais on n'a pas relevé de symptômes foliaires de carence.

La teneur en S total des parcelles sans soufre se situe entre 150 et 200 p.p.m. (moyenne 170), les parcelles avec soufre peuvent atteindre 300 p.p.m. et même davantage, ce qui correspond au rapport $\frac{S}{N}$ normal de $\frac{1}{10}$.

Dans le deuxième essai de longue durée (11 ans), les teneurs en matière organique sont plus faibles d'environ 20 p. 100 par rapport à la moyenne de l'essai précédent, les teneurs en S total ne dépassent pas 150 p.p.m., même dans l'essai recevant du sulfate d'ammoniaque.

Dans le troisième essai, on observe dans la parcelle ne recevant pas de déchets

organiques, des symptômes foliaires de carence en soufre, confirmés par l'analyse ; la teneur en S total dans le sol est inférieure à 150 p.p.m., elle est de 290 p.p.m. dans l'autre parcelle non carencée.

TABLEAU 4

Azote et soufre sur bananiers au Cameroun

1^{er} essai : N₁ — Sans excès de N, 360 g d'urée par cycle et par bananier, 6 épandages.
N₂ — Avec excès de N, 560 g d'urée par cycle et par bananier, 10 épandages.
N₁S, N₂S — Mêmes traitements + 500 g de fleur de soufre par bananier et par cycle.

Nitrogen and Sulphur on banana-trees in Cameroun

1st trial : N₁ = without N excess, 360 g of urea by cycle and by banana-tree, 6 applications.
N₂ = with N excess, 560 g of urea by cycle and by banana-tree, 10 applications.
N₁S, N₂S = the same treatments + 500 g of flower sulphur by cycle and by banana-tree.

	S total p.p.m.	C ‰	N ‰	
Bloc 1	N ₁	200	31,6	2,53
	N ₂	208	30,8	2,8
	N ₁ S	315	33,2	3,07
	N ₂ S	315	29,9	2,9
Bloc 2	N ₁	220	30,5	3,04
	N ₂	180	32,8	3,41
	N ₁ S	370	30,8	3,16
	N ₂ S	425	32,8	3,04
Bloc 3	N ₁	170	30,1	2,97
	N ₂	173	30,8	2,93
	N ₁ S	350	33,6	3,31
	N ₂ S	350	33,8	2,99
Bloc 4	N ₁	176	31,1	3,09
	N ₂	109	34,2	3,33
	N ₁ S	405	32,5	3,01
	N ₂ S	345	34,9	3,28
Bloc 5	N ₁	152	31,8	3,09
	N ₂	152	34,2	3,33
	N ₁ S	275	32,5	3,01
	N ₂ S	515	34,9	3,28

Le rapport de l'I. F. A. C. indique qu'il peut y avoir sur bananier des carences atténuées ou aiguës, se manifestant ou non par des symptômes apparents ; il semble que les teneurs dans le sol sont en accord avec ces différences. Cependant les limites de carence paraissent beaucoup plus élevées que dans le cas des sols à coton de Côte-d'Ivoire ; ceci peut être dû à la granulométrie plus fine du sol, mais aussi à un besoin plus élevé en soufre des bananiers.

Donc il semble possible de suivre l'évolution de l'alimentation en soufre par l'analyse de S total dans le sol, mais les limites de carence sont variables suivant la nature de la plante et certaines propriétés du sol, en particulier la granulométrie.

TABLEAU 5

Azote et soufre sur bananiers au Cameroun
2^e essai longue durée — NPK Poyo

T : sans fumure minérale.

NS : 750 kg sulfate d'ammoniaque par bananier et par cycle en 3 épandages.

Nitrogen and Sulphur in banana-tree in Cameroun
2nd trial (long time) — NPK Poyo

T : without mineral fertilization.

NS : Ammonium Sulphate, 750 kg by banana-tree and by cycle (3 applications).

	S total p.p.m.	C ‰	N ‰
T	156	26,2	2,47
NS	148	26,9	2,37
T	156	25,4	2,67
NS	148	25,4	2,36

3^e essai : avec ou sans déchets organiques

Avec déchets organiques GN 68 I.....	290	40,7	3,41
Sans déchets organiques carence en S GN 68 II.....	145	16,8	2,48

C. — *Évolution comparée de l'azote et du soufre*
dans un essai de longue durée sur coton en R. C. A.

(Bambari — I. R. C. T.)

Un fait en apparence paradoxal qui est signalé dans presque tous les essais, est qu'une carence en S constatée après jachère diminue ou même disparaît après quelques années de culture ; cette évolution du soufre est d'ailleurs parallèle, comme le signale RICHARD, à l'évolution de l'azote, contrôlée par les analyses foliaires.

On interprète ce phénomène par la minéralisation plus rapide, sous l'action des techniques culturales, de N et S bloqués dans les réserves organiques durant la période de jachère.

Cependant on devrait assister au bout d'un certain nombre d'années à une réapparition des carences en N et S lorsque les réserves organiques auront été épuisées. Il aurait été utile de suivre régulièrement chaque année les teneurs en N et S dans les sols comme cela a été fait dans les feuilles.

Un essai de culture continue de coton à Bambari en R. C. A. est suivi depuis 1957, l'évolution de la teneur en S dans les feuilles indiquée par BRAUD est donnée dans le tableau 6.

Pour suivre l'évolution de l'azote et du soufre dans le sol, nous avons comparé sur un prélèvement fait après plusieurs années de culture, d'une part les teneurs sous jachère non cultivée et les teneurs dans des parcelles témoin en culture continue.

et d'autre part, les teneurs dans des parcelles recevant une fumure organique : fumier et paille, et un engrais complet (tabl. 7).

Dans cet essai, si l'on considère les réserves totales en S, C et N, on observe dans le témoin E 7 et surtout dans le témoin E 28, un très net appauvrissement en carbone et azote total, par rapport à la jachère (diminution de près de moitié).

TABLEAU 6

Évolution de la teneur en S dans les feuilles de cotonnier
Evolution of cotton leaves sulphur content

Année	S %
1957	0,17
1964	0,29
1965	0,35
1966	0,27
1967	0,34
1968	0,38

TABLEAU 7

Essais sur cotonniers — Bambari R. C. A.
Cotton trials — Bambari R. C. A.

Traitements		C %	C %	C %	N %	N %	N %	S	S	S
		total	ac. fulviques	humine	total	humus soluble	humine	(p.p.m.) total	(p.p.m.) humus soluble	(p.p.m.) humine
Jachère S ₁		17,1	2,92	8,3	1,12	0,39	0,64	78	26	52
Jachère S ₃		15,6	2,45	7,7	0,93	0,43	0,5	72	24	48
Fumier + engrais + paille	E 14	17,4	2,72	7,1	1,17	0,52	0,47	106	42	64
	E 39	17,3	2,73	7,5	1,16	0,42	0,49	106	42	64
Témoins culture continue	E 7	11,4	2,52	4,5	0,8	0,38	0,25	54	26	28
	E 28	8,5	2,12	3,4	0,5	0,25	0,13	50	24	26

Les parcelles (fumier + paille + engrais) se maintiennent à peu près au même niveau que la jachère.

En ce qui concerne S total, il s'est abaissé d'environ 30 p. 100 dans les parcelles sans fertilisants, il a nettement augmenté dans les parcelles avec fumier et engrais.

L'appauvrissement en S dans les témoins s'opère donc en même temps que

l'appauvrissement en N et C et cela semble en contradiction avec le maintien sinon l'accroissement du taux de S dans les feuilles.

Dans ces mêmes parcelles, nous avons étudié récemment l'évolution des différentes fractions plus ou moins polymérisées de l'humus.

Si l'on compare l'évolution de l'azote dans la fraction colloïdale extractible de l'humus, avec celle de la réserve insoluble ou humine, liée au résidu solide, on constate que la teneur de la fraction extractible reste à peu près constante dans le témoin E 7 et ne diminue que de 30 p. 100 dans le témoin le plus pauvre E 28 ; par contre, dans la réserve insoluble ou humine, l'azote diminue de deux à trois fois dans E 7 et de six fois dans le témoins E 28 par rapport à la jachère.

Tout se passe comme si au fur et à mesure de la consommation de l'azote par les plantes, la fraction de réserve se dépolymérise progressivement et maintient constante la fraction extractible.

La comparaison des teneurs en carbone des fractions les moins polymérisées ou acides fulviques et des fractions insolubles de l'humine conduit à la même conclusion, les acides fulviques restent constants alors que l'humine diminue fortement.

En ce qui concerne le soufre, nous n'avons pu faire l'analyse que de deux échantillons, un sous-jachère S 3 et un témoin E 7 ; cette étude doit donc être poursuivie ; néanmoins ces résultats sont suffisamment parlants et présentent une analogie avec les teneurs en carbone et azote, c'est-à-dire que la fraction du soufre extractible avec l'humus soluble ne diminue pas, alors que la fraction incluse dans l'humine insoluble diminue de près de 40 p. 100. On peut émettre l'hypothèse que c'est la fraction la plus soluble qui se minéralise de préférence, ce qui explique que l'alimentation en soufre ne diminue pas entre la jachère et le témoin après plusieurs années de culture.

Néanmoins ceci nous conduit à une conclusion qui est assez grave ; c'est que si l'on considère uniquement la fraction assimilable du S (exportée par les plantes), l'appauvrissement des réserves en soufre risque de ne pas apparaître, jusqu'au jour où elle se manifeste d'une façon très grave et correspond à une dégradation du sol difficilement réversible.

Il semble donc que l'analyse régulière des réserves en soufre dans les sols et l'étude de leur évolution est une précaution à ne pas négliger.

Cependant le blocage dans les sols sous-jachère d'une grande partie des éléments sous forme d'humine fortement liée à l'argile, peut être une des raisons de l'influence de la granulométrie sur la limite variable des carences que l'on observe d'un sol à l'autre.

C'est pourquoi il serait utile d'étudier plutôt que S total, le rapport des formes plus ou moins extractibles du soufre organique et son évolution en fonction de la culture.

IV. — CONCLUSIONS CONCERNANT LES CARENCES EN S DANS LES SOLS TROPICAUX

Le travail qui vient d'être présenté est très sommaire et mérite d'être largement complété, néanmoins il en ressort quelques idées principales.

Beaucoup de sols tropicaux sont pauvres en soufre, cette pauvreté étant liée à la faible teneur en matière organique.

Dans certains types de sol et pour certaines cultures, il semble possible de relier la réponse aux engrais soufrés à la teneur en S total dans le sol, mais les limites de carence varient dans d'autres types de sol et pour d'autres cultures. La granulométrie du sol et l'exigence de la culture peut être invoquée.

L'évolution des teneurs en S en fonction du temps, paraît suivre l'évolution des matières humiques. Les fractions les plus insolubles liées à l'humine diminuent alors que les fractions extractibles en milieu alcalin restent constantes, ceci pourrait expliquer une certaine constance de l'alimentation en soufre des plantes, malgré l'appauvrissement du sol.

ANNEXE I

LES FORMES DU SOUFRE DANS LES SOLS ORGANIQUES ET TOURBEUX

Sulphur forms in the organic and peaty soils

(Résumé du rapport I. R. A. T.)

Deux exemples sont donnés par M^{me} BURDIN, l'un dans des sols tourbeux de l'Agnébie en Côte-d'Ivoire, tableau 8, l'autre dans des sols salins et acides du Sénégal (bords de N'Diael, embouchure du Bimbol, tabl. 9). Nous ne pouvons que résumer très brièvement les résultats de cette étude.

TABLEAU 8

*Sols de l'Agnébie**Agnébie soils*

Numéros des échantillons	S total %		Perte par dessiccation SH ₂	S des sulfates	S organique + sulfures, etc.	C %	pH
	Sol humide	Sol sec					
4	3	2,56	0,44	0,31	2,25	20,1	3,9
27	8,8	3,36	5,48	0,19	3,14	38,1	3,4
28	0,12	0,1	0,02	0,08	0,02		5
29	10,67	6,03	4,64	0,14	5,89	54,7	
36	10,91	8,06	2,89	0,31	7,75	36,8	4,6
37	16,37	11,98	4,39	0,71	11,27	44,6	
40	3,47	2,94	0,53	0,09	2,85		3,55

Les techniques d'analyse du soufre total, soufre organique, sulfates, sulfures, ont été indiquées en introduction de notre rapport.

Les échantillons 27, 29, 36, 37 accusent une forte perte de SH₂ par dessiccation, par contre, dans ces sols acides la teneur en sulfates est très faible.

Le soufre est lié en grande partie à la matière organique, les rapports C/S sont normaux et voisins de 100 dans les échantillons 4, 27, 29, mais pour 36 et 37 les rapports sont de 47 et 40. Dans ces deux derniers échantillons l'auteur pense qu'il existe d'autres composés du soufre tels que sulfures, thiosulfates, etc.

Sols salins et acides du Sénégal.

Les échantillons sont arrivés secs, aussi il n'a pas été possible de déterminer SH_2 .

Le soufre organique et combiné est déterminé par différence entre le S total et le soufre des sulfates totaux et solubles.

Parmi les divers profils étudiés, un seul est présenté ici (tabl. 9).

TABLEAU 9

Sols salins du Sénégal

Saline soils of Senegal

Profondeur	S % total	S % sulfates solubles	S % sulfates totaux	S % organique et sulfures	C %	pH
0-23	6,4	2,91	2,70	0,79	0,73	3,5
23-55	4,92	2,6	1,76	0,56	0,56	3,3
55-82	8,92	2,67	5,03	1,22	0,52	3,1
82-100	32,3	6,97	2,05	23,30	4,02	2,35
100-130	45	1,28	1,09	43,38	0,8	3,2

En surface, le soufre est en grande partie sous forme de sulfates, mais en profondeur, le S total augmente jusqu'à 45 p. 1 000 et ne correspond pas aux sulfates.

De même le taux de 43 p. 1 000 dosé comme S organique ne correspond pas au taux de carbone, il faut envisager la présence de composés inorganiques, réducteurs.

Exemple de soufre organique dosé par la méthode BARDSLEY et LANCASTER (1960)

Région de Gandon (horizons profonds et tourbeux)

N°	Prof. cm	S % total	S % sulfates totaux	S % organique dosé	S % organique calculé	C %
Al 53	100-120	39,3	5,4 (dont 3,9 hydro)	33,06	33,9	5,70

Le soufre organique dosé correspond bien au soufre calculé (S total — sulfates) mais ne correspond pas au taux de carbone.

Autres exemples.

Le problème de l'évolution des sulfates dans les sols tourbeux a été également traité par CHEVERRY au Tchad ; mais nous rejoignons le problème plus général des sulfates dans les sols salins qui est un problème différent qui sort du cadre de cette étude.

ANNEXE 2

AUTRES TECHNIQUES D'ÉTUDE DES CARENCES EN S :
LES ESSAIS EN VASES DE VÉGÉTATION ET AUX CHAMPS

Other technics to study sulphur deficiencies : the pot and field tests

(Résumé du rapport I. R. A. T. — Les Carences en S en Région tropicale)

La détermination des carences en soufre est recherchée également par la méthode des essais en vases de végétation. Les résultats de nombreux essais sont présentés dans un rapport de l'I. R. A. T. Il s'agit de la technique en petits vases de 1 kg, décrite par CHAMINADE (1965) avec le ray-grass comme plante test.

Ces essais ont été effectués sur de nombreux types de sol (ferrugineux tropicaux, ferrallitiques, hydromorphes et divers) du Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger, Dahomey, Togo, Cameroun, R. C. A., Madagascar, Réunion. Ces essais sont effectués suivant la méthode soustractive où l'on compare le rendement du traitement sans S avec le rendement de la fumure complète NPKS-Ca-Mg-oligo-éléments. Le tableau 10 représente quelques-uns des résultats principaux.

TABLEAU 10

Recherche des carences en soufre par la méthode des essais en vases de végétation
Determination of Sulphur deficiencies by the pot tests method

Types de sols	Lieux de prélèvement		Importance de la carence		
			Primaire	Secondaire	Rendement FC-S/FC
<i>Ferrugineux tropicaux</i>					
Sol rouge	<i>Sénégal</i>	Sinthiou-Maleme	+		0,28
Sol du SENO	<i>Mali</i>	Bankass	+		0,62
Sol graveleux sur micaschiste	<i>Dahomey</i>	Boukombe	+		0,65
<i>Ferrallitiques</i>					
Faiblement ferrallitique	<i>Haute-Volta</i>	Farako-Ba	—	—	—
Rouge sur basalte	<i>Cameroun</i>	Koumelap	—	—	—
Sol sur gneiss à 2 micas	<i>R. C. A.</i>	Grimari		+	0,76
Sol sur quartzite		Bambari		+	0,53
Sol sur micaschistes	<i>La Réunion</i>	Gounouman		+	0,26
Brun	<i>La Réunion</i>	Colimaçons	—	—	—
<i>Hydromorphes</i>					
Sol Danga	<i>Mali</i>	Kogoni	+		
Humifère à gley	<i>Madagascar</i>	Mahitsy	+		0,42

Nous résumons ici les principales conclusions de ces essais :

L'examen des résultats montre que c'est surtout dans le cas des sols ferrugineux tropicaux que le ray-grass accuse une déficience en S dès sa première récolte ; pour les sols ferrallitiques c'est au contraire plus fréquemment à la deuxième récolte.

Les normes d'interprétation de ces résultats ne sont pas encore parfaitement établies, l'épuisement du sol est plus rapide dans les vases que dans le sol en place ; les doses d'éléments fertilisants sont beaucoup plus élevées ; en conséquence, l'insuffisance du S fourni par le sol se manifeste très rapidement ; on est donc amené en première approximation à ne considérer comme possible pour le sol en place que les carences qui sont très accusées en vase dès la première récolte.

L'apparition différée de la carence (à la deuxième coupe) peut être interprétée comme correspondant à l'existence de faibles réserves dans le sol ; on pourrait aussi penser à une mobilisation trop lente des réserves, même si elles sont importantes.

TABLEAU II

Efficacité du soufre en sol ferrugineux tropical
Résultats d'essais factoriels d'orientation 2ⁿ
Responses to sulphur in tropical ferruginous soil
Results of orientation factorial trials 2ⁿ

Points d'essais	Années	Cultures	Types d'essais	Effets significatifs	Rendements en kg/ha	
					S ₀	S ₁
<i>Sénégal</i>						
Bouel	1964	Arachide	SNPKO 2 ⁵	P	1 470	1 558 (30)
<i>Haute-Volta</i>						
Saria	1968	Sorgho	SKCa 2 ³	S	1 287	1 464 (15)
— ..	1966	Niébé (<i>Vigna unguiculata</i>)	SNK 2 ³	S × N, P	688	952 (10)
<i>Niger</i>						
Tarna	1963	Arachide	SPKCaMgO 2 ⁶	S, P	1 966	2 078 (23)
—	1964	Mil	SPKCaMgO 2 ⁶	S, P	1 734	1 933 (29)
<i>Togo</i>						
Gando	1968	Arachide	SPK 2 ³	S, S × P, P	1 141	1 831 (12)
Payoka	1968	—	—	S, S × P × K, P	1 663	2 408 (12)
Tantiégou	1968	—	—	S, S × P, P	876	1 118 (12)
<i>Dahomey</i>						
Ina	1967	Mais	SNPK 2 ⁴	S, S × N, S × N × P, N × P	624	940 (36)
—	1967	Voandzou	—	S	4 728	5 298 (36)

S = soufre
P = phosphore
Ca = calcium
O = oligoéléments
N = azote
K = potassium
Mg = magnésium
F = fumier

TABLEAU 12

Efficacité du soufre dans différents types de sols. Résultats d'essais factoriels d'orientation 2ⁿ
Responses of Sulphur in different types of soils. Results of orientation factorial trials 2ⁿ

Types de sols	Points d'essais	Années et saisons de culture	Cultures	Types d'essais	Effets significatifs	Rendements en kg/ha	
						S ₀	S ₁
Sols ferrallitiques typiques	R. C. A.	1965	Riz pluvial	SPKCaMgO·2 ^a direct		2 256	S kg/ha
	Bambari						2 305 (46)
Sols hydromorphes	Dahomey	1967 1967	Riz (<i>Tatchung 1</i>) Riz (<i>RZ 71</i>)	SNPK·2 ^a direct <i>d</i> ^o	S, S × N, S × P, N, K S, N	1 707	2 924 (36)
	Ina Ina					1 600	2 256 (36)

TABLEAU 13

Essais Urée — Sulfate d'ammoniaque. Dahomey
Urea — Ammonium sulphate trials. Dahomey

Types de sols	Points d'essais	Années et saisons de culture	Cultures	Témoin	Urée	Sulfate NH ₄	Urée + soufre	Soufre	Niveau de soufre testé
				PK	NPK	NPKS	NPKS	SPK	
						Rt kg/ha			
Sols ferrugineux tropicaux	Angaradebou	1966	Arachide	1 503	1 323	1 967	1 964	—	23 S
	Ina	1966	Arachide	2 067	2 057	2 535	2 622	2 361	23 S
Sol hydromorphe	Ina	1966	Riz (<i>RZ 71</i>)	2 597	2 938	4 476	4 112	3 616	32 S
Sols faiblement ferrallitiques	Meridjonou	1966	Maïs	1 815	2 630	2 935	2 510	2 065	46 S

A Meridjonou sur sol ferrallitique, le soufre n'a pas d'action significative sur les rendements du maïs et de l'arachide.

La première récolte épuiserait le sol en S rapidement assimilable, et la minéralisation de la matière organique ne s'effectuerait pas avec une rapidité suffisante dans l'intervalle de temps qui sépare la première de la deuxième récolte. Dans le sol en place, l'intervalle de temps qui sépare deux récoltes est beaucoup plus long, et la minéralisation de la matière organique a le temps de s'effectuer ; donc cette carence en S qui apparaît à la deuxième récolte peut très bien ne pas correspondre à une carence en grande culture. Néanmoins on constate fréquemment que la carence une fois apparue, en vases, s'aggrave rapidement au cours des récoltes suivantes et cela milite en faveur des faibles réserves.

On peut donc considérer que les carences en S décalées en vases sont un indice de l'apparition plus ou moins différée des mêmes carences en grande culture ; si ces carences sont très accusées dès la première récolte de ray-grass, elles doivent se manifester dès le début également en grande culture suffisamment intensive. Dans le cas d'une culture peu intensive, elle peut n'apparaître que plus tard. Il en est de même si la carence n'apparaît qu'à la deuxième ou troisième récolte en vases de végétation. Par ailleurs des plantes plus exigeantes en S que le ray-grass peuvent souffrir d'une carence plus rapidement — même en grande culture.

Des essais aux champs appelés essais d'orientation, soit essais factoriels ou essais comparatifs à but qualitatif, ont été effectués en grande culture sur divers types de sol de nombreux pays et sur des plantes comme le sorgho, le mil, l'arachide, le niébé, le maïs, le riz ; il en résulte que les carences les plus nettes ont été observées sur les sols ferrugineux tropicaux du Nord-Togo et sur certains sols hydromorphes du Dahomey. Les sols ferrallitiques étudiés n'ont pas présenté de carences graves en soufre. Les tableaux 11, 12, 13 résument les résultats les plus caractéristiques. Ces résultats sont à rapprocher des essais en vases. Certains d'entre eux sont spectaculaires : dans les sols hydromorphes du Dahomey (Ina), l'essai factoriel 2^a a mis en évidence un accroissement de rendement absolu de 600 ou 1 200 kg de riz à l'hectare pour un apport de 36 kg de soufre.

Toutes les plantes étudiées font apparaître les carences en soufre, il n'y a pas de sensibilité particulière de l'arachide ou des légumineuses.

En ce qui concerne le sol, nous avons indiqué dans la première partie de notre rapport que les sols ferrallitiques avaient des réserves en S en moyenne plus élevées que les sols ferrugineux tropicaux ou certains sols hydromorphes minéraux des régions de savane.

SUMMARY

PRELIMINARY RESULTS OF A SURVEY

SHOWING THE SULPHUR CONTENT OF THE SOILS OF TROPICAL AFRICA (1)

This paper is complementary to the lecture given by Mr. Richard dealing with sulphur deficiencies in some tropical soils and with sulphur reserves and their evolution in various types of soils of the same climatic zones.

The various methods of determining the soils' total and soluble sulphur are described. A slightly modified Chaudry and Cornfield method was selected and used for total S determinations, and the monocalcium phosphate technique was used for soluble sulphur.

(1) Data supplied by O. R. S. T. O. M., I. R. C. T., I. F. A. C., I. R. A. T., I. R. H. O.

The total S method can be applied to a rather varied range of soils in tropical Africa : ferrallitic soils, highly or slightly desaturated, eutrophic brown soils, tropical ferruginous soils, mineral and organic hydromorphic soils, vertisols.

The sulphur content varies from 0.02 p. 1 000 to 0.3 p. 1 000 (200 to 300 p.p.m.) with an average between 0.05 p. 1 000 and 0.1 p. 1 000 (50 to 100 p.p.m.) ; these are relatively low levels.

The highest values are found in organic hydromorphic soils, eutrophic brown soils, ferrallitic soils. Ferruginous tropical soils seem to have lower reserves, especially when they are degraded. Mineral hydromorphic sandy soils and vertisols are also low in S content. A comparison between total S, total N and C contents shows that sulphur is mainly present in an organic form in these soils ; the $\frac{S}{C}$ ratio is usually below $\frac{1}{100}$ and the $\frac{S}{N}$ ratio below or equal to $\frac{1}{10}$, which demonstrates that S is essentially in an organic state and that it does not accumulate as mineral sulphur.

On the other hand, in organic peaty soils, an accumulation of sulphates, sulphides or other reducible inorganic compounds can take place.

Very few results concerning soluble sulphur are shown in this report ; the values which are determined in the ferruginous tropical soils of North Cameroun account for about 10 p. 100 of the total sulphur, that is an average of 5 to 10 p.p.m. However, it seems that fertilizer applications can increase the soluble sulphur level at the surface, and that also a layer of relative accumulation can be found at a depth from 40 to 70 cm, but these are still insufficient.

Total sulphur determinations were also carried out during fertilizer trials, where responses to sulphur were obtained (Ammonium sulphate, or sulphur flower). Experiments on cotton in tropical ferruginous soils of the Ivory Coast by I. R. C. T. showed significant yield differences of 15 to 30 p. 100 between the NPKS and NPK formulae. In other tests no response was found. These results are apparently in full agreement with the total sulphur contents which vary between 30 and 120 p.p.m., and also with the total N contents, which conditions the responses of the controls. These results are probably only valid for a given crop and in soils of similar types and textures.

In Cameroun in the case of banana crops in a volcanic soil, high in organic matter and finely textured, a response to sulphur is obtained with total sulphur levels of 150 p.p.m., while in ferruginous soils of the Ivory Coast it appears at levels below 100 p.p.m. These limits might of course also depend upon the crop needs.

The evolution of S deficiencies was studied in relation to crops, succession (rotation). It is often more severe immediately after fallow than during the following years. The sulphur content of the leaves does not decrease with time but may on the contrary increase. This evolution was compared with that of organic matter whose depolymerized fraction remains constant while the reserves in humus or insoluble elements decrease drastically. In the fallow soils, sulphur is probably blocked in organic compounds which only slowly mineralize. The mineralization increases with time, but the reserves become smaller, and the deficiency can become very severe in the long run. The results of the pot tests cannot lend themselves to a well established processing, but however more severe deficiencies seem to occur on ferruginous soils, this is confirmed by various field tests (report by I. R. A. T.).

To conclude, sulphur deficiencies can be foreseen in the short term from plant analyses and field tests, but soil analyses are indispensable to the evolution of soil sulphur reserves.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARDSLEY C. E., LANCASTER J. D., 1960. Détermination des réserves en soufre et en sulfates solubles dans les sols. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **24**, 265-268.
- BOUCHY C., 1970. Contribution à l'étude des déficiences minérales du sol en culture cotonnière de Côte-d'Ivoire. *Coton et Fibres Tropicales*, vol. XXV, fasc. 2, 235-251.
- BURDIN S., 1970. Quelques résultats de dosage du soufre dans les sols. Ronéo I. R. A. T. — 8 pages, 3 annexes.
- CHAMINADE R., 1965. Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique. Résultats. *Agron. trop.*, 1101-1162.
- CHAUDRY I. A., CORNFIELD A. H., 1966. Détermination du soufre total dans les sols et les plantes. *Analyst* **91**, (1965), 528-530.
- Determination of sulfur in soils and plant material (1968). *The Sulphur Institute. Technical Bulletin*, n° 14.
- ENSMINGER L. E., FRENEY J. R., 1966. Techniques de diagnostic pour déterminer les déficiences en soufre dans les récoltes et dans le sol. *Soil Sci.* **101**, 4, 283-290.

- GODEFROY J., LECOQ J., LOSOIS P. 1969. Evolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique sous culture bananière. *Fruits*, **24**, 5, 257-271.
- I.R.A.T., Division d'agronomie, 1970. Les carences en soufre en région Ronéo I. R. A. T. — 14 pages.
- LATHAM M., 1965. Contribution à l'étude du facteur sol sur le développement du cotonnier en Côte-d'Ivoire. *Rapport multigraphié*, O. R. S. T. O. M., Adiopodoumé, 12 p.
- REHM C. W., CALDWELL A. C., 1968. Capacité de fourniture du soufre par les sols et relations avec le type de sol. *Soil Sci.*, **105**, 5.
- RICHARD L., 1970. Les carences en soufre chez certaines cultures tropicales. Conditions de leur apparition et de leur évolution. Ronéo I. R. C. T., 26 p.

DISCUSSION

R. CHAMINADE (France).

Dans la détermination des carences en S du sol par les essais en vases de végétation, lorsqu'il y a, en première coupe de Ray-Grass, une chute de rendement de plus de 30 p. 100 dans les vases recevant la fumure sans S, on peut conclure à une carence.

Très fréquemment on constate, à partir de la deuxième coupe de Ray-Grass, une chute brutale du rendement. Cette chute peut être due à une mauvaise minéralisation du S organique dans les vases de végétation.

Pour beaucoup de sols tropicaux, les réserves en S sont faibles et la carence en cet élément apparaît rapidement lorsque S n'est plus présent dans la fertilisation.

La technique des vases de végétation permet de contrôler le niveau des réserves en S des sols sous culture.

L. H. P. JONES (Great-Britain).

I wish to make what might be thought of as a statement of philosophy, and then to direct 2 questions to Dr. Dabin. Final, it is rather difficult for me to understand why we should pay much attention to the primeval resources of organic sulphur or nitrogen that have accumulated in soils before man comes to grow crops on them. In the industrial countries we recognize that these resources have been exploited with respect to nitrogen, and we are living on current applications of fertilizer and for on recent biological fixation. This will become progressively truer with respect to sulphur and their nutrient elements, since as yields increase we remove more and more of the soil's resources from land to city to sewage and finally to ocean. Man is coming to rely less on the native wealth of the soil and more on the wealth of mines.

My 2 questions are :

1° Do Dr. Dabin's figures for total S that are used in this S/N ratios include Sulphate-sulphur, or are they total organic sulphur ?

2° In the abstract of Dr. Dabin's paper, in paragraph 2 on page 135, he gives 0,02 p. 1 000 S as 200 p.p.m. instead of 20 p.p.m.

B. DABIN.

Réponses.

1^{re} question. — Il s'agit du soufre total ; dans ces sols, le soufre des sulfates représente moins de 10 p. 100 du total et ne modifie pas le rapport $\frac{S}{N}$, 90 p. 100 étant sous forme organique.

2^e question. — Il s'agit bien de 20 p.p.m. S ou encore 0,02 p. 1 000 ce qui est la même chose.