

# LE SOUFRE DANS LA FERTILISATION MINÉRALE DU COTONNIER

par

**M. BRAUD**

Chef de la Section d'Agronomie de la Station I.R.C.T. de BAMBARI  
(République Centrafricaine)

L'expérimentation sur la fertilisation minérale du cotonnier a été conduite de 1950 à 1953 en utilisant le sulfate d'ammoniaque comme source d'engrais azoté, ceci essentiellement pour des raisons pratiques. Les résultats nous avaient amené à conclure à l'efficacité de l'azote.

A partir de 1955, il a été possible de se procurer d'autres engrais azotés et en particulier de l'urée technique. L'utilisation de ces engrais ne nous a pas permis de vérifier les résultats obtenus avec le sulfate d'ammoniaque. Les cotonniers avaient au contraire une croissance ralentie et les parties jeunes présentaient une couleur jaunâtre, rappelant beaucoup une déficience en azote. La seule différence avec cette dernière était le fait que ce jaunissement apparaissait d'abord sur les parties jeunes, alors qu'une déficience en azote se manifeste en général sur l'ensemble du plant.

L'un de nos collègues (Roux - Tchad 1955) a eu l'idée de faire le rapprochement avec les symptômes de carence en soufre décrits dans la littérature anglo-saxonne. Nous avons pu vérifier cette hypo-

thèse en 1956 en utilisant les sources de soufre dont nous disposions (sulfates de magnésium, de manganèse et de zinc) pour faire un épandage sur une parcelle ayant reçu des nitrates et de l'urée et présentant ces symptômes d'une façon généralisée. La dose de soufre utilisée était de 24 kg/ha. Un mois après l'épandage exécuté à la mi-septembre, l'aspect chlorotique avait disparu et la croissance reprenait. Malgré cet apport tardif, l'augmentation de production avait été de 12 %.

Nous avons également toujours constaté cet aspect chlorotique sur des cotonniers cultivés en première année après débroussement. En 1957, des apports de sulfate d'ammoniaque et de sulfate de magnésium, à raison de 24 kg/ha de soufre, avaient le même effet correctif. Les cotonniers avaient un développement accéléré et présentaient une belle coloration verte.

Ces observations nous conduisirent à reprendre l'ensemble de la fertilisation minérale du cotonnier en y incorporant l'élément soufre.

## LA FERTILISATION SOUFRÉE

### TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

L'importance des interactions entre éléments de la fumure minérale vis-à-vis des effets principaux, nous a conduits à modifier nos dispositifs expérimentaux. Abandonnant l'analyse de la variance des essais factoriels, nous avons défini la méthode des coupes plus descriptive des effets observés sur le terrain.

Les différents objets sont disposés au hasard avec en général huit répétitions.

Chaque parcelle élémentaire est composée de quatre lignes de 25 m de long, séparées par une ligne tampon ne recevant pas d'engrais. Les deux lignes centrales sont seules testées.

L'espacement utilisé est 90 × 25 cm, le démariage étant fait à un plant par poquet. La variété utilisée est un *Gossypium hirsutum*, le D9, sélectionné à BAMBARI.

L'ensemble de ces essais reçoit cinq traitements insecticides à l'Endrine, à quinze jours d'intervalle le premier ayant lieu au début de la deuxième semaine de floraison.

### RÉSULTATS

#### Equilibre N × S

Les essais réalisés en 1955 et 1956 ont montré que l'azote seul, épandu sous forme de nitrate ou d'urée et le soufre seul ne donnaient aucune augmentation de rendement. Ces deux éléments utilisés simultanément, sous forme de sulfate d'ammoniaque par exemple, permettaient des récoltes beaucoup plus importantes. Il semblait donc probable que l'équilibre N × S avait une grande importance.

L'expérience conduite de 1957 à 1960 par la méthode des coupes a précisé ces premières observations en donnant les résultats suivants (en kg/ha de coton-graine) :

	3 000 éq./ha	10 000 éq./ha
Rendement moyen des témoins .....	998	1 190
" " pour N = 100 % ..	1 163	1 331
" " pour S = 100 % ..	1 020	1 230
" " pour N/S optimal	1 264	1 616

Cette expérience a porté sur douze essais, tous significatifs. L'azote utilisé seul (N = 100 %) n'a donné un résultat significativement supérieur au témoin que dans trois essais seulement. Le soufre utilisé seul (S = 100 %) n'a donné un résultat significativement supérieur que dans deux essais.

L'équilibre optimal entre N et S a été déterminé pour les deux doses 3 000 et 10 000 équivalents-hectares :

- Pour 10 000 éq., nous avons :  $\text{NO}_3^- = 58\%$  ;  $\text{SO}_4^{--} = 42\%$  ;
- Pour 3 000 éq., nous avons :  $\text{NO}_3^- = 75\%$  ;  $\text{SO}_4^{--} = 25\%$  .

Ce qui nous donne l'équation de la projection de la ligne de crête de la surface de réponse NS :

$$69 N - 71 S - 1020 = 0$$

ou N et S sont exprimés en équivalents  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{--}$  (fig. 1) et nous permet de donner le tableau ci-après :

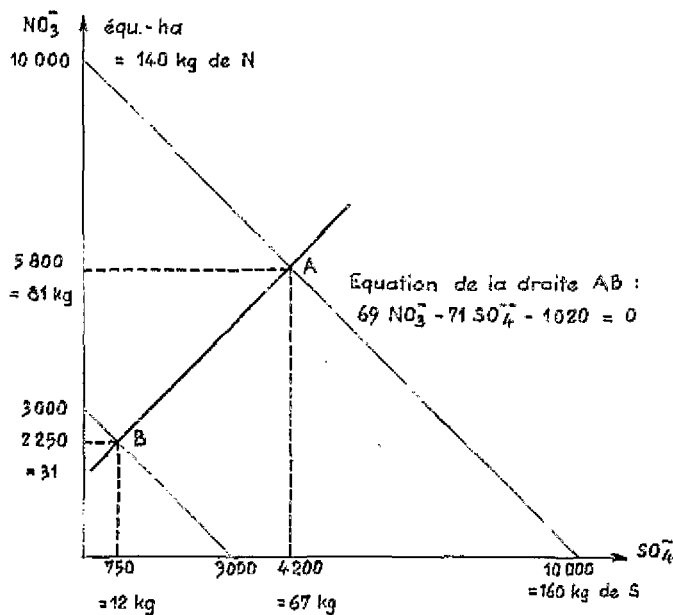


FIGURE 1. — Variation de l'équilibre  $\text{NO}_3^- \times \text{SO}_4^{--}$  en fonction de la dose totale.

Dose totale engrais	N			S		
	%	éq./ha	kg/ha	%	éq./ha	kg/ha
3 000 éq. ...	75	2 250	31,5	25	750	12
6 000 éq. ...	68	4 080	57	32	1 920	31
9 000 éq. ...	60	5 400	76	40	3 600	58
12 000 éq. ...	53	6 360	89	47	5 640	90
15 000 éq. ...	46	6 900	97	54	8 100	130

L'équilibre N x S se déplace donc vers N lorsque la dose totale décroît.

Si nous tenons compte de l'équilibre N x P, nous arrivons alors aux équilibres ternaires suivants :

Dose totale engrais	N		S		$\text{P}_2\text{O}_5$	
	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
3 000 éq. ...	53	22	18	9	29	21
6 000 éq. ...	48	40	23	22	29	41
9 000 éq. ...	42	53	28	40	30	64
12 000 éq. ...	37	62	33	63	30	85
15 000 éq. ...	33	69	38	91	29	103

La recherche de la formule la plus rentable est actuellement à l'étude. Les premiers résultats obtenus en 1962 et 1963 semblent montrer que ce soit la formule à 6 000 équivalents qui répondra le mieux à cet impératif.

### Equilibre S x P

Cet équilibre n'a jamais pu être calculé dans les conditions de la station, ce qui montre que nos sols ont un rapport S/P naturellement voisin de l'équilibre optimal.

L'équilibre S/P a pu être néanmoins calculé indirectement par l'intermédiaire des deux équilibres binaires N x P et N x S et nous avons pu constater qu'il variait très peu d'une année sur l'autre :

1957 : rapport S/P =	0,76
1958 : —	= 0,81
1959 : —	= 0,80
1960 : —	= 0,88

### NATURE DE LA FERTILISATION SOUFREE

Les premiers essais d'équilibre N x S et S x P ont été réalisés en utilisant différents sulfates, sulfates de potassium, de magnésium et de calcium. Les essais de fumure cationique ont montré que ces éléments n'avaient aucun effet sur le rendement en coton-graine. Apporter le soufre sous forme de sulfate de potassium, par exemple, revient donc à épandre un élément, le potassium, qui ne sert à rien et qui

coûte cher. Il nous a donc semblé intéressant de voir si le soufre élémentaire n'avait pas une valeur fertilisante analogue à celle des sulfates.

L'ensemble des résultats 1959 et 1960 montre que ces deux formes de fumure soufrée sont techniquement identiques (fig. 2).

Engrais	Rendement du témoin kg/ha	Rendement maximal kg/ha	Equilibre		Amplitude de variation de variation pour $SO_4^{--}$ %
			$NO_3^-$ %	$SO_4^{--}$ %	
1959					
Soufre .....	1 136	1 552	54	46	37 - 49
$SO_4 (NH_4)_2$ .....	1 136	1 538	55	45	53 - 61
$SO_4 K_2$ .....	1 186	1 559	49	51	50 - 51
1960					
Soufre .....	1 136		non significatif		
$SO_4 K_2$ .....	1 136	1 641	51	49	48 - 50
Ensemble 1959-1960					
Soufre .....	1 169	1 561	52	48	45 - 49
$SO_4 K_2$ .....	1 169	1 578	49	51	51 - 52

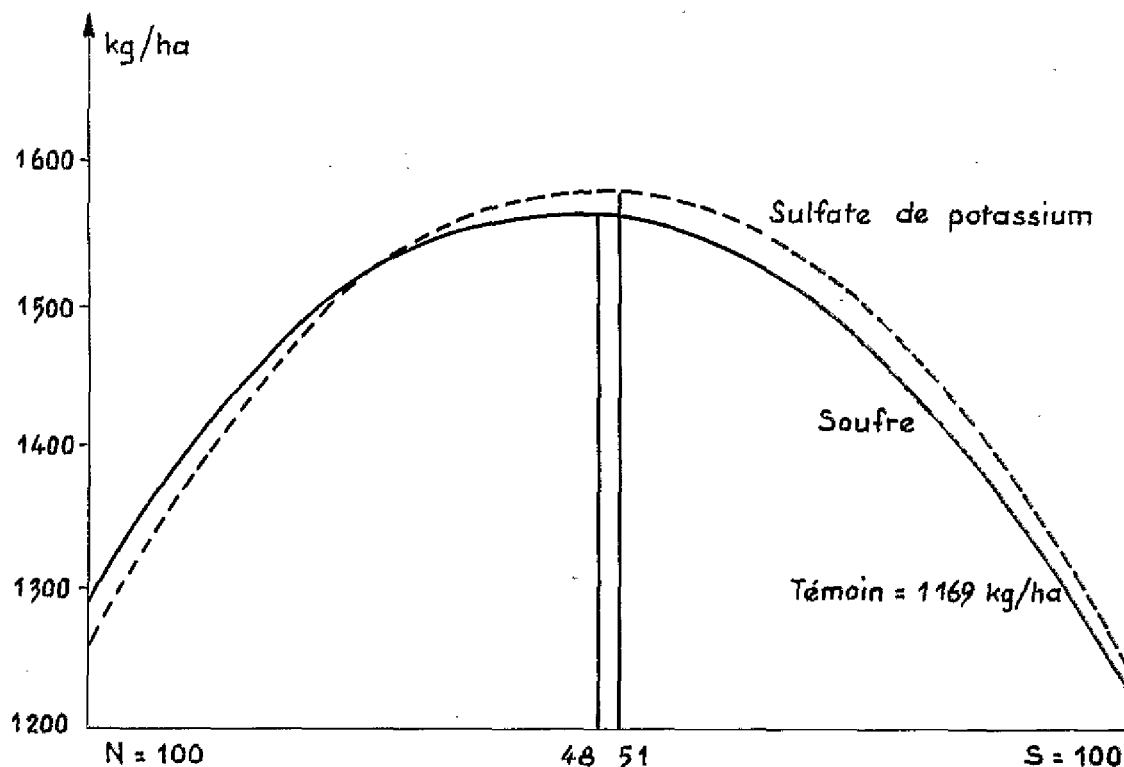


FIGURE 2. — Variation de l'équilibre  $NO_3^- \times SO_4^{--}$  en fonction de la nature de l'engrais soufre.

Dans cette expérimentation, le soufre a été épandu très tôt, immédiatement après le semis. Il est probable, en effet, que la plus grande partie de cet élément ne pourra être assimilée par le cotonnier qu'après transformation en  $SO_4^{--}$ .

Compte tenu de cette réserve, nous constatons que les équilibres optimaux obtenus sont pratiquement identiques, de même que les rendements maximaux.

-Pratiquement, nous constatons sur la quasi totalité des zones cotonnières un très fort besoin d'azote toujours supérieur à celui de soufre. Chaque fois que nous serons dans cette situation, la meilleure forme pour apporter le soufre sera donc le sulfate d'ammoniaque auquel on ajoutera de l'urée.

## L'ANALYSE FOLIAIRE, GUIDE DE LA FERTILISATION SOUFREE

Depuis 1957, tous nos essais de fertilisation minérale ont été suivis par l'analyse foliaire sur toutes les stations de l'I.R.C.T. en Afrique. Nous avions donc en 1962 en notre possession plus de deux mille résultats dont nous avons commencé l'interprétation.

La technique d'échantillonnage est la suivante : prélèvement d'une feuille à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement. Ce moment correspond en effet à la fin de la croissance de la feuille prélevée et de l'entre-nœud qui le précède. Nous pensons donc avoir là un instant physiologique bien déterminé. Par ailleurs, le prélèvement est réalisé dans les quinze premiers jours de la floraison, ce qui fait que la feuille prélevée se situe entre la première et la cinquième branche fructifère, donc sur le premier tiers du plant.

Nous avons pu mettre en évidence une liaison entre le rendement et la teneur des feuilles en N et S, liaison établie pour l'ensemble des stations de l'I.R.C.T. en Afrique Tropicale.

Pour pouvoir comparer entre eux les rendements obtenus en des lieux et des années différentes, nous les avons estimés en pourcentage du rendement moyen des parcelles sans fumure pour le lieu et l'année considérée. En effet, le rendement est fonction non seulement de l'alimentation minérale mais aussi de nombreux autres facteurs climatiques, parasitaires et pédologiques.

Le tableau ci-dessous donne, en fait, la liaison entre les variations de rendement et la composition foliaire.

Teneur de la feuille en % de matière sèche	N = 3,4 ± 0,20	N = 3,8 ± 0,20	N = 4,20 ± 0,20
S = 0,05 ± 0,05		116,9 % ± 3,8	127,6 % ± 3,9
S = 0,15 ± 0,05	118,1 % ± 3,0	125,6 % ± 3,0	145,3 % ± 6,2
S = 0,25 ± 0,05	129,5 % ± 3,7	135,6 % ± 3,5	156,0 % ± 11,0
Variation de rendement			

Nous voyons immédiatement que les rendements s'accroissent proportionnellement aux teneurs en N et S de la feuille. L'étude des seuils critiques et de leurs interdépendance se poursuit actuellement. Mais nous pouvons déjà être certains que le soufre a un effet positif sur le rendement lorsque la teneur de la feuille en cet élément est inférieure à 0,25 % de matière sèche.

Nous allons sur un exemple concret montrer l'exploitation possible de ce résultat.

Les analyses foliaires des témoins non fumés des essais réalisés à BAMBARI ces dernières années sont résumées dans le tableau suivant en indiquant pour chacun des essais l'écart entre la teneur en soufre de la feuille et cette teneur minimale de 0,25 %.

	S %	Ecart avec teneur minimale 0,25
1957		
A .....	0,17	- 0,08
C .....	0,22	- 0,03
1958		
A 10 .....	0,32	+ 0,07
A 3 .....	0,24	- 0,01
A/C .....	0,27	+ 0,02
1959		
A 10 .....	0,10	- 0,15
A 3 .....	0,06	- 0,19
N .....	0,12	- 0,13
S .....	0,06	- 0,19
P .....	0,07	- 0,18
1960		
F .....	0,20	- 0,05
S .....	0,19	- 0,06
P .....	0,16	- 0,09
Moyenne des écarts .....		- 0,09

L'expérience a montré qu'il existait une liaison linéaire entre l'apport de soufre au sol et la composition foliaire. Une fumure de 100 kg/ha de soufre augmentant de 0,35 % la teneur de la feuille en cet élément.

Pour compenser cet écart de 0,09 %, il faudrait donc apporter en moyenne au sol  $\frac{100 \text{ kg} \times 0,09}{0,35} = 25 \text{ kg/ha}$  de soufre.

Tous nos essais montrent justement que cette quantité de 25 kg/ha se révèle la plus intéressante et la plus rentable. Ce résultat confirme donc tout l'intérêt du diagnostic foliaire.

## CONCLUSIONS

Les essais de fertilisation minérale réalisés de 1955 à 1957 ont mis en évidence la nécessité de faire un apport simultané de soufre et d'azote pour que l'effet de ce dernier élément puisse se manifester. Le soufre semble jouer le rôle de facteur limitant dans la fertilisation azotée.

De 1957 à 1960, une expérimentation conduite par la méthode des coupes nous a permis de préciser ces premières observations en définissant les équilibres  $N \times S$  pour deux doses totales choisies a priori. Partant de ces deux équilibres et des équilibres  $N \times P$  définis par ailleurs, des formules ont été calculées pour différentes doses. La rentabilité de ces dernières est à l'étude.

Au cours de cette expérimentation, nous avons également montré que le soufre élémentaire avait la même valeur fertilisante que l'ion  $SO_4^{--}$  d'un sulfate. Mais chaque fois que le rapport  $N/S$  de la

formule d'engrais sera supérieur à l'unité, la forme de soufre la plus économique sera le sulfate d'ammoniaque apportant en quantité égale  $NO_3^-$  et  $SO_4^{--}$ .

L'analyse foliaire réalisée sur l'ensemble des stations de l'I.R.C.T. d'Afrique Tropicale a permis de montrer qu'il y avait une forte liaison entre le rendement et les teneurs en N et S de la feuille; la nutrition soufrée du cotonnier étant déficiente lorsque la teneur en soufre de la feuille est inférieure à 0,25 % de matière sèche.

Ce résultat nous permet de calculer pour BAMBARI une dose de soufre à épandre pour corriger les teneurs observées dans les témoins sans engrais. Le résultat obtenu, 25 kg/ha de soufre, est parfaitement concordant avec celui obtenu à partir des essais aux champs réalisés par la méthode des coupes. Il y a donc une possibilité d'utiliser le diagnostic foliaire comme guide de la fertilisation soufrée.

## BIBLIOGRAPHIE

Rapport d'Agronomie de la Station de BAMBARI, de 1950 à 1963.

M. BRAUD. — La fertilisation minérale du cotonnier en République Centrafricaine - *Coton et Fibres Tropicales* - 1962, vol. XVII, p. 11-22.

M. BRAUD. — Note sur les analyses foliaires du cotonnier non publiées.

MM. BRAUD et DAESCHNER, G. MEGIE, L. RICHARD. — Application de la méthode des variantes systé-

matiques à l'étude des fumures minérales - *Coton et Fibres Tropicales* - 1959, vol. XIV, p. 1-24.

L. RICHARD. — Problèmes de fumure minérale - *Coton et Fibres Tropicales* - vol. XIII, 1958, p. 293-328.

L. RICHARD. — Les études de nutrition minérale chez les végétaux. Contribution à leur méthodologie. 1963. Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques.

## CONCLUSIONS-SUMMARY

Mineral fertilizing trials carried out from 1955 to 1957 showed the necessity of adding simultaneously sulphur and nitrogen so that the effect of the latter may operate. Sulphur seems to play the part of limiting factor in nitrogenous fertilizing.

From 1957 to 1960, experimentation conducted by the « méthode des coupes » permitted to make these observations precise by defining the  $N \times S$  equilibria for two total doses chosen a priori. Starting from these two equilibria and from  $N \times P$  equilibria defined elsewhere, formulas were calculated for different doses. The profitability of the latter is under investigation.

In the course of this experimentation, we also showed that elementary sulphur has the same fertilizing value as ion  $SO_4^{--}$  of a sulphate. But whenever the  $N/S$  ratio of the fertilizer formulae is superior

to the unit, the most economical form of sulphur will be ammonium sulphate adding an equal amount of  $NO_3^-$  and  $SO_4^{--}$ .

The foliar analysis made over the whole of I.R.C.T. Stations in Tropical Africa permitted to show that there is a strong relation between the yield and leaf contents in N and S, sulphur nutrition of the cotton plant being deficient when leaf contents in sulphur is under 0,25 % dry matter.

This result permits to us to calculate for BAMBARI a dose of sulphur to be spread in order to correct the contents observed in controls which had no fertilizer added. The result obtained — 25 kg/ha of sulphur — is perfectly concordant with that obtained from field trials conducted by the « méthode des coupes ». There is therefore a possibility of using foliar diagnosis as a guide for sulphur fertilizing.

## CONCLUSIONES-RESUMEN

Los ensayos de fertilización mineral realizados en 1955 hasta 1957, han puesto en evidencia la necesidad de efectuar un aporte simultáneo de azufre y nitrógeno para que el efecto de este último elemento pueda manifestarse. El azufre parece desempeñar el papel de factor limitante en la fertilización nitrogenada.

Desde 1957 hasta 1960, una experimentación realizada por « la methode des coupes » nos ha permitido precisar esas primeras observaciones definiendo los equilibrios N x S para dos dosis totales elegidas a priori. Partiendo de estos dos equilibrios y de los equilibrios N x P definidos en otro lugar, se han calculado fórmulas para diferentes dosis. Se está estudiando actualmente la rentabilidad de estas últimas.

En el curso de esta experiencia hemos mostrado igualmente que el azufre elemental tenía el mismo valor fertilizante que el ión  $\text{SO}_4^{--}$  de un sulfato. Pero cada vez que la relación N/S de la fórmula del

abono sea superior a la unidad, la forma de azufre más económica será el sulfato de amoniaco aportando en cantidades iguales  $\text{NO}_3^{--}$  y  $\text{SO}_4^{--}$ .

El análisis folial realizado en el conjunto de las estaciones del I.R.C.T. de Africa tropical, ha permitido poner de manifiesto que había una gran ligazón entre el rendimiento y los contenidos de N y S de la hoja. La nutrición azufrada del algodón es deficiente cuando el contenido de azufre de la hoja es inferior al 0,25 % de materia seca.

Este resultado nos permite calcular para BAMBARI una dosis de azufre a desparramar para corregir los contenidos observados en los testigos sin abono. El resultado obtenido, 25 kg/ha de azufre, concuerda perfectamente con el obtenido a partir de ensayos en los campos realizados por « la methode des coupes ». Existe, pues, una posibilidad de utilizar el diagnóstico folial como guía de la fertilización azufrada.