

# LES JOURNÉES D'AGRONOMIE DE L'I.R.C.T.

18, 19, 20 Juillet 1966

Les programmes d'agronomie de l'I.R.C.T. se développent dans des milieux variés en Afrique et à Madagascar : ils présentent cependant un but commun : intensifier la production cotonnière dans le cadre d'une agriculture stable et évoluée.

Au cours de trois journées de travail tenues à Paris les 18-19-20 juillet 1966, sous la direction de M. LHUILLIER, Inspecteur Général de l'I.R.C.T., les agronomes ont exposé et discuté leurs résultats et leurs observations pour établir un premier bilan et pour tracer l'orientation des activités de l'I.R.C.T. vers le but proposé. Des rapports ont été présentés sur chacun des grands facteurs de l'intensification de l'agriculture tropicale : fertilisation, économie de l'eau, systèmes de culture ; d'autres problèmes plus précis ou plus locaux ont également été abordés.

La participation à nos travaux des Instituts de Recherches spécialisés de l'ORSTOM et de l'INRA nous a été très précieuse et nous remercions tout particulièrement Messieurs les Professeurs AUBERT, CHAMINADE et HENIN.

Au nombre des rapports présentés citons :

- M. BRAUD : La fertilisation minérale du cotonnier en Afrique tropicale et à Madagascar.  
H. KLAVER : Evapotranspiration et économie de l'eau des cultures.

G. SEMENT : Besoins en eau du cotonnier en culture irriguée. Mali - Afrique du Nord et Madagascar.

M. BRAUD : La nutrition minérale du cotonnier en culture sans sol.

M. BERGER : Les herbicides en culture cotonnière.

C. MEGIE : Notes sur l'étude du comportement des racines de cotonnier dans le sol.

P. FRANQUIN : Le développement chez des espèces cultivées de jour court. Equations et déterminisme climatique.

M. BRAUD, Ch. ERRATH : Lutte anti-érosive sur les Stations de N'Tarla (Mali) et Bambari (R.C.A.).

C. BOUCHY : Nécessité et organisation de l'expérimentation régionale en agronomie.

L. COUTEAUX : Un exemple d'action rurale au Togo dans la zone Est-Mono.

M. DAESCHNER : Problèmes agronomiques de la production cotonnière en Iran.

L. RICHARD : Evolution de la fertilité des sols en culture intensive.

Coton et Fibres Tropicales publiera dans plusieurs fascicules successifs, et ces rapports et les discussions qui ont suivi leur présentation.

## LA FERTILISATION MINERALE DU COTONNIER EN AFRIQUE TROPICALE ET A MADAGASCAR

par

**M. BRAUD**

Chef de la Section d'Agronomie  
de la Station Centrale de BAMBARI (R.C.A.)  
Adjoint au Chef de la Division d'Agronomie

### SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	248
I — L'ASPECT STATIQUE DE LA FERTILISATION MINERALE DU COTONNIER .....	249
A. — POSITION DE LA FERTILISATION MINERALE EN TANT QUE FACTEUR LIMITANT .....	249
B. — DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DÉFICIENTS .....	251
Méthode expérimentale .....	251
— Etude en un point .....	251
— Etude régionale .....	252
Possibilités d'utilisation des analyses foliaires .....	255

C. — DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION OPTIMALE DE LA FUMURE .....	256
<i>Méthode expérimentale</i> .....	256
— Choix des éléments à étudier .....	256
— Choix des niveaux .....	256
<i>Résultats obtenus</i> .....	257
— Relations $N \times P_2O_5$ .....	257
— Relations $N \times S$ .....	257
D. — ÉTUDE DE LA COURBE D'ACTION DES DOSES D'ENGRAIS .....	257
<i>Méthode expérimentale</i> .....	257
<i>Résultats</i> .....	258
— Exemple du N.E. Dahomey : effet direct .....	258
— Exemple de Bambari : effet direct + effet résiduel .....	260
<i>Discussion</i> .....	262
II — L'ASPECT DYNAMIQUE DE LA FERTILISATION DU COTONNIER .....	262
A. — INFLUENCE DES ROTATIONS .....	263
<i>Méthode expérimentale</i> .....	263
<i>Résultats</i> .....	263
— Apparition de besoins nouveaux : potassium .....	263
— Evolution des besoins : soufre, phosphore, azote .....	264
— Evolution de la réponse aux engrais au cours d'une rotation .....	265
B. — INFLUENCE VARIÉTALE .....	266
— Sur la composition optimale de la fumure .....	266
— Sur la courbe d'action des engrais .....	266
III — APPLICATION ET VULGARISATION DE LA FUMURE MINÉRALE .....	267
A. — MODALITÉS D'ÉPANDAGE DE LA FUMURE MINÉRALE .....	267
<i>Nature des engrais</i> .....	267
<i>Date d'épandage</i> .....	267
<i>Techniques d'épandage (pulvérisations foliaires d'urée)</i> .....	268
B. — FORMULES D'ENGRAIS VULGARISABLES ET RENTABILISATION .....	269
C. — ÉTAT ACTUEL DE LA VULGARISATION .....	270
CONCLUSION .....	271

## INTRODUCTION

L'évolution vers une agriculture tropicale fixée est le progrès essentiel à réaliser dans les prochaines décades. Le maintien de sa fertilité, voire son élévation, est l'une des conditions à remplir pour atteindre cet objectif. La fertilisation minérale, dans le cadre d'une agriculture aussi peu évoluée que mécanisée, peut en offrir un moyen plus ou moins immédiat.

L'agriculteur africain ne bénéficie pas, comme son collègue européen, d'une longue tradition de culture en bon père de famille. Tout amendement, toute restitution ont été ignorés. La fertilité naturelle, maltraitée par la culture, est sous la dépendance d'un climat très rude. Il s'ensuit qu'une des causes des productions souvent médiocres enregistrées est la présence de déficiences minérales très accentuées, qu'il serait difficile d'imaginer en Europe, tout au moins pour les macro-éléments. Leur correction réalise déjà dans de nombreux cas un progrès considérable.

Les ressources monétaires du paysan africain sont actuellement très faibles. Son premier souci est donc de rentabiliser le plus rapidement possible les sommes engagées sous forme d'engrais minéraux. Il s'ensuit que tout désir d'investissement lui est interdit.

Ces quelques considérations générales servent de cadre et de guide à la méthode d'expérimentation sur la fertilisation minérale du cotonnier que nous allons exposer en illustrant de quelques exemples.

Ce n'est donc pas une étude exhaustive des résultats obtenus par l'I.R.C.T. en matière de fumure minérale. Tous les points importants sont malgré tout examinés.

Dans un premier temps, il s'agit de savoir si la fertilisation minérale est un facteur limitant de la production. Ceci acquis, la détermination des éléments déficients dans les conditions actuelles de la culture doit être recherchée.

Le deuxième temps de notre étude vise à la détermination de la composition optimale de la fumure pour toutes les doses usuelles faisant intervenir les seuls éléments reconnus comme déficients.

Ces deux premiers points représentent la partie qualitative de notre étude.

Le troisième temps a pour objet la détermination de la dose d'engrais offrant la rentabilisation maximum et représente la phase quantitative de notre méthode.

Il est commode d'étudier la fertilisation dans une situation bien définie qui correspond en général à la sole cotonnière, tête de rotation. C'est ce que nous appelons l'aspect statique de la fumure. Mais l'utilisation continue des formules d'engrais ainsi définies pourrait présenter un danger. L'aspect dynamique de la fertilisation étudie l'évolution des besoins

présents en tête de rotation, mais également l'apparition des besoins nouveaux au cours de rotations successives.

Pour être complets, nous examinerons également les conditions d'application et de vulgarisation des formules d'engrais proposées.

## I. - L'ASPECT STATIQUE DE LA FERTILISATION MINÉRALE DU COTONNIER

### a) Position de la fertilisation minérale en tant que facteur limitant de la production

L'expérience montre que nous sommes bien souvent en présence de rendements très faibles. Cette faiblesse est due à l'effet de nombreux facteurs limitants parmi lesquels il faut situer l'importance relative de la nutrition minérale. Certains plans de développement sont encore trop souvent conçus sur l'idée maîtresse selon laquelle l'épandage d'engrais suffit à faire décoller la production.

Rappelons que les principaux facteurs limitants peuvent être :

- de mauvaises techniques culturales (préparation du sol, dates de semis, entretien, etc.) ;
- une alimentation en eau déficiente ;
- le parasitisme ;
- des déficiences minérales ou la faible fertilité du terrain.

De nombreuses interactions peuvent jouer entre ces quatre types de facteurs limitants. Pour avoir une information sur l'un d'entre eux, il conviendra d'éliminer les autres. Donc, toute étude sur la nutrition minérale suppose de bonnes techniques culturales, une bonne alimentation en eau pas toujours facile à réaliser et une excellente protection phytosanitaire.

Un essai réalisé à BEBEDJIA (Tchad) en 1965 illustre parfaitement ces considérations générales (fig. 1). Trois doses de sulfate d'ammoniaque et un témoin étaient comparés sous trois types de protection phytosanitaires : 0, 5 et 12 traitements insecticides. Les résultats ont été les suivants :

Tableau 1. — Production de coton-graine dans un essai où varient la quantité de sulfate d'ammoniaque et la protection insecticide, à BEBEDJIA (Tchad, 1965)

Fumure minérale	Protection insecticide		
	0 traitement	5 traitements	12 traitements
Sulf. d'amm. kg/ha	Production de coton-graine (kg/ha)		
0	775	1 077	1 240
100	841	1 285	1 592
200	1 013	1 452	1 758
300	945	1 441	1 976

Le rendement atteint un palier pour la dose de 200 kg/ha de sulfate d'ammoniaque avec 0 ou 5 traitements insecticides. Il faut 12 traitements pour obtenir un surcroît de production avec la dose de 300 kg.

En l'absence de traitement, l'effet de ces 300 kg est de 170 kg de coton-graine, augmentation négligeable. La connaissance de ce seul résultat tendrait à montrer l'inefficacité des engrais. Cette augmentation s'élève à 636 kg avec 12 traitements, chiffre à retenir pour préciser l'importance de la fumure minérale en tant que facteur limitant. Ce facteur levé, l'effet des 12 traitements est de 931 kg, alors qu'il n'était que de 465 kg sans engrais. Nous pouvons classer les facteurs limitants intervenant à BEBEDJIA. Le premier est le parasitisme, suivi par la nutrition minérale. Il existe deux facteurs d'amélioration de la production qui doivent être vulgarisés simultanément : traitements insecticides et fertilisation minérale.

Sans engrais, 12 traitements augmentent la production de 465 kg/ha de coton-graine. Sans traitement, 300 kg/ha de sulfate d'ammoniaque donnent 170 kg de coton-graine supplémentaires. L'action simultanée des deux améliorations entraîne une augmentation de 1 101 kg, au lieu des 635 kg obtenus par simple addition des effets précédents. C'est un bel exemple d'interaction positive.

Lorsque nous ne connaissons rien du milieu que nous devons étudier, il est nécessaire de comparer la production d'une parcelle sans engrais à celle d'une parcelle recevant une fumure minérale susceptible de corriger les déficiences pouvant être présentes. Le seul facteur variable étant la nutrition minérale, il convient donc que tous les autres facteurs de production soient aussi voisins que possible de l'optimum.

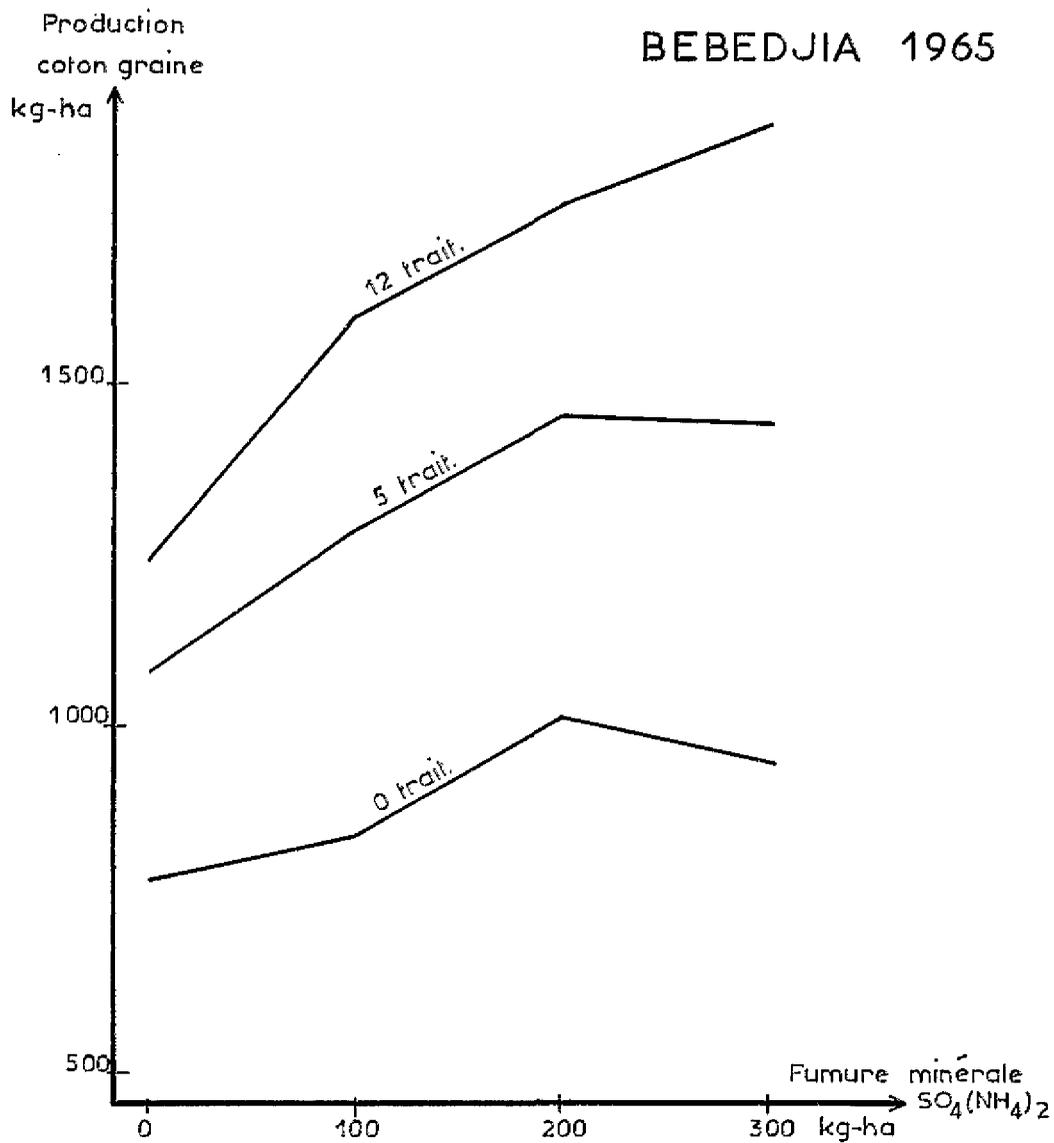
Pour des raisons d'ordre pratique, la formule choisie est en général la suivante :

Azote	30 kg/ha de N
Soufre	40 kg/ha de S
Phosphore	60 kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Potassium	100 kg/ha de K <sub>2</sub> O

Cette formule représente donc une dose moyenne sans grand déséquilibre et peut être réalisée par :

150 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
150 kg/ha de phosphate bicalcique
180 kg/ha de chlorure de potassium.

Des modifications locales peuvent être apportées en fonction des connaissances que l'on peut déjà avoir sur la fertilité naturelle ou les relations entre



trait. $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	0	5	12
0	775	1077	1240
100	841	1285	1592
200	1013	1452	1758
300	945	1441	1876

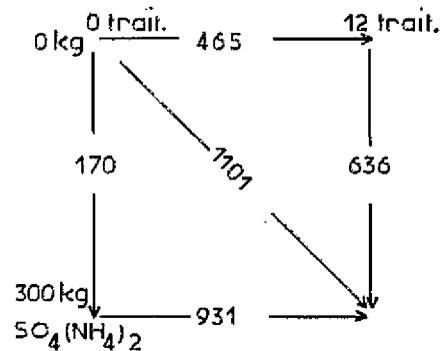


Fig. 1. — Interaction entre la fumure minérale et la protection phytosanitaire dans la production de coton-graine. BEBEDJIA (Tchad).

les différents éléments. C'est le cas, en particulier, de la déficience phosphatée de la Haute-Volta et du Mali (MPESOBÁ). La dose de  $P_2O_5$  a été portée dans ce cas particulier à 100 kg/ha, sous forme de 270 kg/ha de phosphate bicalcique.

Nous supposons a priori que N, P, S et K sont les seuls éléments déficients. Une réponse très positive à la fumure nous donnera vraisemblablement raison. Une absence de réponse ne signifie pas que les engrais minéraux soient inefficaces, mais met en évidence la présence d'un autre facteur limitant qui reste à déterminer et qui peut être encore d'ordre nutritif (oligo-éléments par exemple).

Cette expérimentation ne doit pas être compliquée en recherchant la position relative de la nutrition minérale parmi les facteurs limitants. Ce renseignement devra nous être fourni par le reste de l'expérimentation.

Que devons-nous attendre de ce type d'expérimentation? Uniquement une réponse qualitative. Il s'agit de savoir si oui ou non la fumure minérale présente un intérêt. C'est un objectif qui peut paraître bien peu ambitieux, mais de la réponse dépendra le reste de l'expérimentation sur la fertilisation minérale.

L'essai proposé est très simple et pourrait être réalisé par la méthode des couples. Il est plus intéressant de le combiner avec l'expérimentation sur la détermination des déficiences minérales que nous allons examiner.

## b) Détermination des éléments déficients

Nous avons constaté que N, P, S, K sont déficients globalement. Le deuxième problème à résoudre consiste à rechercher les éléments déficients, l'importance de cette déficience, et à établir une hiérarchie.

L'expérimentation au champ par la méthode dite soustractive nous apporte une solution intéressante et elle offre l'avantage d'être simple. Elle consiste à comparer la formule complète NSPK citée plus haut à quatre formules incomplètes d'où l'on retire alternativement chacun des 4 éléments. L'addition d'une parcelle sans engrais nous donne un essai à 6 traitements :

- 1 - Témoin
- 2 - Formule NSPK
- 3 - Formule NSP. (—K)
- 4 - Formule NS, K (—P)
- 5 - Formule N, PK (—S)
- 6 - Formule . SPK (—N)

La comparaison des traitements 1 et 2 donne une solution au premier problème posé: la fertilisation minérale est-elle facteur limitant?

La comparaison successive des traitements 3, 4, 5 et 6 au traitement 2 met en évidence les facteurs

limitants. La comparaison des rendements obtenus avec ces quatre dernières formules permet d'avoir une idée de l'importance de ces déficiences et d'établir une hiérarchie. La gravité des déficiences sera fonction de l'importance de la diminution de récolte. L'expérience nous permettra de préciser les normes d'interprétation. Mais il conviendra de tenir compte des facilités de correction pouvant varier avec les éléments.

La réalisation pratique de cette expérimentation est simple. La méthode des blocs de Fisher convient parfaitement. La composition des différents traitements est résumée dans le tableau suivant :

Objet	Quantités d'engrais minéraux (kg/ha)				
	Sulfate ammoniaque	Urée	Sulfate de potassium	Chlorure de potassium	Phosphate bicalcique
NSPK	150	—	—	180	150
— K	150	—	—	—	150
— P	150	—	—	180	—
— S	—	75	—	180	150
— N	—	—	225	—	150

Ce type d'expérimentation a été mis en place pour la première fois en 1965 :

- au Sénégal, avec le concours de la C.F.D.T.
- au Togo en 4 points (MANGO, LAMA-KARA, SOKODE et DJOKPE)
- en R.C.A. à BAMBARI
- au Rwanda.

A titre d'exemple, nous examinerons les résultats obtenus au Sénégal qui sont présentés ci-dessous (fig. 2 et tabl. 2) :

Tableau 2. — Résultats d'un essai « soustractif » de nutrition minérale du cotonnier au Sénégal (1965)

Objet	Production coton-graine	
	kg/ha	% T
Témoin .....	1 518	57,7
NSPK .....	2 631	100,0
— K .....	2 420	91,9
— P .....	2 113	80,3
— S .....	2 291	87,0
— N .....	1 669	63,4
d.s. à P = 0,05 .....	267	10,1
P = 0,01 .....	356	13,5

Premier point: la nutrition minérale NSPK est un facteur limitant important.

Deuxième point: trois éléments sont déficients. Ce sont par ordre d'importance décroissante: N, P et S. N est très fortement déficient. Son absence

ne permet pas aux autres éléments, eux-mêmes déficients, d'avoir une action positive.

Production de coton-graine      NSPK = 2,631 kg-ha = 100

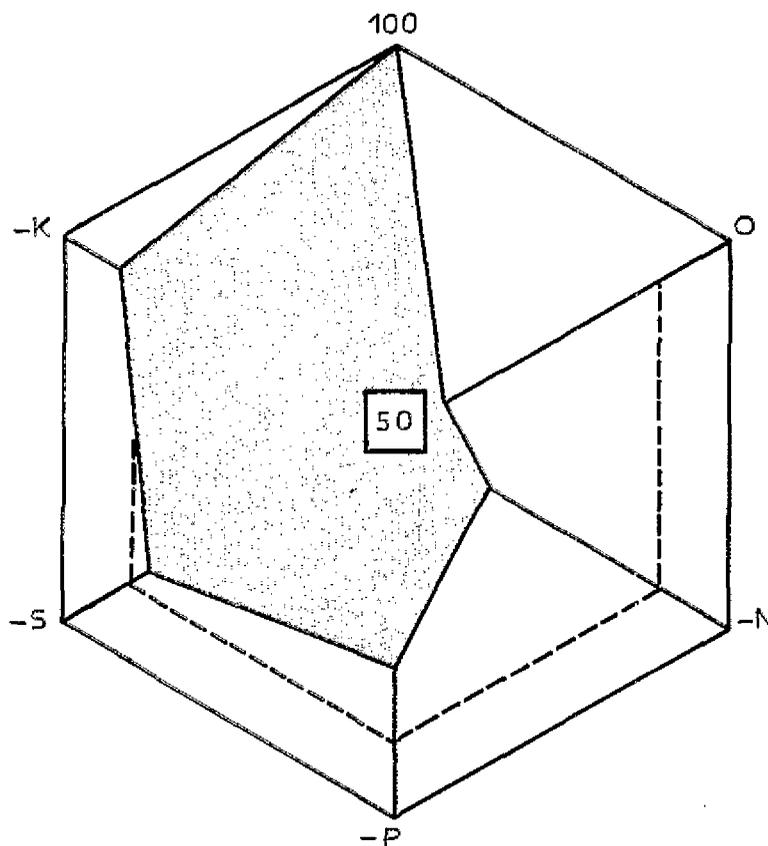


Fig. 2. — Représentation graphique du résultat d'un «essai soustractif» de fumure minérale au Sénégal.

Ces résultats sont encore purement qualitatifs. Quel intérêt présentent-ils? Ils vont permettre d'orienter la détermination de la composition optimale de la fumure. Dans le cas présent, les surfaces de réponse NS et NP sont à étudier par la méthode des coupes. L'étude de la surface PS peut être éliminée pour simplifier l'expérimentation. En l'absence de déficience soufrée, la surface NP aurait seule été étudiée.

L'étude d'une région peut être envisagée par ce procédé en utilisant une série d'essais multilocaux du même type. Une expérience de ce genre a été tentée en 1965 au Togo avec un protocole légèrement différent quant aux doses utilisées :

Objet	Quantités d'engrais minéraux (kg/ha)		
	Sulfate d'ammoniaque	Triple-superphosphate	Chlorure de potassium
NSPK .....	100	85	65
— K .....	100	85	—
— P .....	100	—	65
— (NS) .....	—	85	65

Les effets N et S n'ont donc pas été individualisés. Quatre essais ont donné les résultats du tableau 3 et de la fig. 3.

Tableau 3. — Résultats de quatre essais «soustractifs» de nutrition minérale du cotonnier au Togo (1965)

Objet	Production de coton-graine dans les essais de :			
	MANGO	LAMA-KARA	SOKODE	DJOKPE
O. sans fumure ..	57,3 %	57,3 %	65,0	92,2
NSPK .....	593 kg = 100 %	739 kg = 100 %	554 kg = 100 %	1 286 kg = 100 %
- K .....	100,7	97,3	93,3	99,1
- P .....	51,9	82,8	92,2	104,0
- (NS) .....	90,2	77,1	73,8	79,6
d.s. à P = 0,05 ..	13,7	11,9	12,5	13,1

ESSAIS SOUSTRUCTIFS DU TOGO (1965)

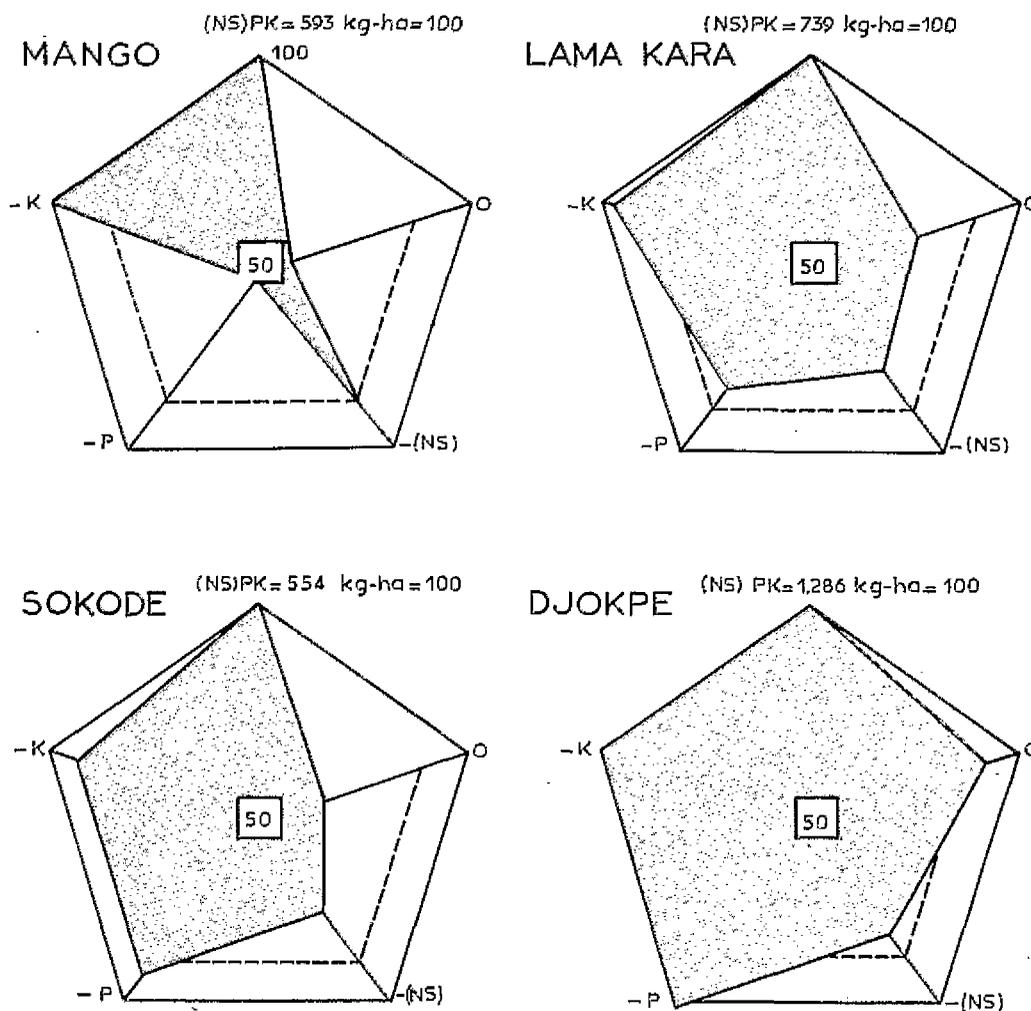


Fig. 3. — Représentation graphique des résultats de quatre essais soustractifs de fumure minérale mis en place au Togo (1965).

En dehors de DJOKPE, la nutrition minérale est un facteur limitant pour l'ensemble de la zone étudiée dans les conditions de l'expérimentation. Le niveau de production est néanmoins très faible et laisse supposer l'existence d'autres facteurs limitants. Ces résultats semblent montrer une localisation de la déficience phosphatée. Pratiquement inexistante à DJOKPE et à SOKODE, elle apparaît à LAMA-KARA pour devenir très importante au nord de MANGO. Le sulfate d'ammoniaque, inefficace à MANGO, est nécessaire dans les trois autres points étudiés.

Dans un certain nombre de cas, et le Sénégal en est un, cet essai peut déboucher sur une vulgarisation immédiate de ce résultat préliminaire. L'utilisation de la formule NSP dans l'essai apporte un surcroît de production de 900 kg/ha de coton-graine. Une amélioration peut même être espérée en tenant compte des résultats : il suffira d'augmenter l'importance relative de N.

Quelle est la portée pratique de ce genre d'expérimentation ? Quelles sont ses limites ?

Nous cherchons, à ce niveau de l'expérimentation, une vue aussi complète et aussi large que possible des problèmes que nous avons à résoudre. Cela nous amène nécessairement à prévoir une étude régionale. Il nous faut connaître, pour une zone de production donnée, la fréquence des différentes déficiences et leur importance relative. Une expérimentation multilocale est obligatoire. Le type d'essai proposé est simple, mais comporte 48 parcelles élémentaires pour 8 répétitions. La complexité du dispositif expérimental le rend difficile à implanter en de nombreux points qui doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- être représentatifs des sols de la zone ;
- être homogènes ;
- être parfaitement cultivés et protégés du parasitisme.

Pour obtenir des résultats valables, un même expérimentateur ne pourra conduire qu'un petit nombre d'essais. Nous sommes tributaires du choix des emplacements.

Il est important de savoir dans quelle mesure les points choisis sont représentatifs de la zone à étudier.

Les analyses foliaires peuvent apporter un complément d'information et permettre une prospection plus importante. Nous avons tenté de définir à partir de l'ensemble des résultats de I.R.C.T. des niveaux critiques pour les éléments N, S et P. Nous avons retenu : 4% pour l'azote et 0,30% pour le phosphore et le soufre.

Reprenons l'essai mis en place au Sénégal (tabl. 2, fig. 2). Les analyses foliaires ont donné les valeurs rapportées dans le tableau 4.

Tableau 4. — Teneur des feuilles de cotonnier en N, S, P et K dans un essai « soustractif » de nutrition minérale au Sénégal (1965)

Objet de l'essai	Teneurs en :			
	N	S	P	K
	% de mat. sèche			
O sans engrais .....	2,70	0,33	0,33	1,96
— N .....	2,31	—	—	—
— S .....	—	0,33	—	—
— P .....	—	—	0,22	—
— K .....	—	—	—	1,50

La carence azotée apparaît très nettement. Des apports importants d'azote sont nécessaires. Les teneurs en soufre et en phosphore sont voisines de l'optimum. Les apports importants d'azote vont certainement induire des déficiences pour ces deux éléments. Ainsi, pour le phosphore, son absence dans la fumure (en présence des autres éléments) fait tomber la teneur dans la feuille à 0,22 nettement en dessous de l'optimum. Le cas du soufre est moins certain.

Le potassium est à un niveau correct. Mais son absence dans la fumure fait baisser sa teneur dans la feuille de 0,46%, ce qui est important.

Les essais du Togo (tabl. 3, fig. 3) peuvent être interprétés d'une façon analogue. Les résultats d'analyses foliaires sont groupés dans le tableau 5.

Tableau 5. — Résultats d'analyses foliaires de cotonnier dans des essais « soustractifs » au Togo (1965)

Élément	MANGO		LAMA-KARA		SOKODE		DJOKPE	
	Témoin sans engrais	Objet soustrait	Témoin sans engrais	Objet soustrait	Témoin sans engrais	Objet soustrait	Témoin sans engrais	Objet soustrait
	Teneurs en % de matière sèche							
N	2,74	-N 2,26	2,40	-N 2,44	2,64	-N 3,07	2,38	-N 1,93
S	0,26	-S 0,23	0,30	-S 0,37	0,40	-S 0,42	0,40	-S 0,40
P	0,20	-P 0,12	0,31	-P 0,16	0,43	-P 0,25	0,51	-P 0,37
K	0,94	-K 0,85	1,71	-K 1,36	1,58	-K 1,31	1,71	-K 1,43

La déficience azotée semble générale. Soufre et phosphore sont très déficients à MANGO, encore nécessaires à LAMA-KARA, inutiles à SOKODE et DJOKPE. Une déficience potassique existe peut-être à MANGO. La concordance entre ces résultats et la production de coton-graine est très bonne pour le phosphore.

Ces quelques résultats montrent l'intérêt que peuvent présenter les analyses foliaires pour la cartographie des déficiences minérales. Il est certain que ce moyen d'investigation demande à être perfectionné. La nutrition azotée est en général difficile à suivre avec la méthode utilisée actuellement. Les informations concernant la déficience potassique sont très fragmentaires. Mais dès maintenant la cartographie des déficiences soufrée et phosphatée doit pou-

voir être établie par des analyses foliaires. Quelques essais « soustractifs », dont l'emplacement sera judicieusement choisi, apporteront une sécurité complémentaire. Les analyses foliaires offrent en outre l'avantage important d'éliminer l'interaction avec le parasitisme.

A titre d'exemple, examinons les résultats d'une prospection systématique entreprise entre 1958 et 1963 en République Centrafricaine (fig. 4). Plus d'une centaine de prélèvements ont été effectués. Les déficiences en phosphore se trouvent localisées à l'Est de la zone de GRIMARI-BAMBARI-IPPY, et les déficiences en soufre à l'Ouest de cette même zone. Le Centre-Ouaka présente un cas intermédiaire où les besoins en soufre et en phosphore sont simultanés.

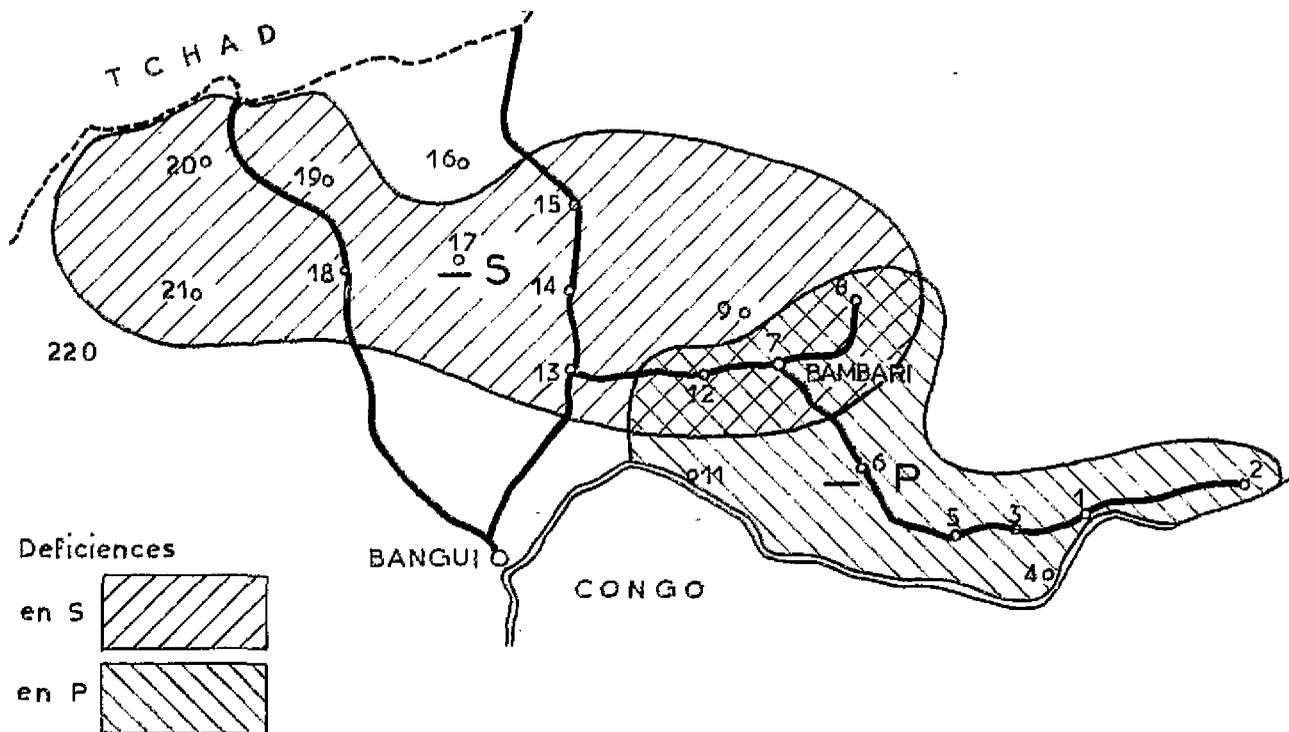


Fig. 4. — Cartographie des déficiences des sols en S et P en Centrafrique.

Si l'on considère que le besoin en azote est général, trois types de fumures sont à envisager pour la R.C.A. :

- une fumure N S pour l'Ouest
- une fumure N P pour l'Est
- une fumure N P S pour le Centre Ouaka.

Cette étude débouche sur une vulgarisation immédiate, tout en étant provisoire. L'état actuel de la culture est tel que la définition des formules d'engrais doit pouvoir se faire en utilisant comme unité le sac d'engrais de 50 kg, ou au minimum un demi-sac. De fortes fumures ne sont pas recommandables. Dans ces conditions, les types de fumures préconisées sont les suivantes :

Tableau 6. — *Fumures immédiatement vulgarisables en Centrafrique*

	Sulfate d'ammoniaque kg/ha	Urée kg/ha	Sulfate bicalcique kg/ha	N kg/ha	S kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha
Ouest .....	50	50	—	32	12	
Est .....	—	75	50	33		20
Centre Ouaka ....	50	50	50	32	12	20

La même étude doit pouvoir être entreprise dans d'autres pays après avoir recueilli un nombre d'échantillons suffisant.

### c) Détermination de la composition optimale de la fumure

#### Méthode expérimentale

La méthode des coupes est maintenant bien connue. Nous en rappellerons simplement les grandes lignes en apportant au passage quelques conseils pratiques qui sont le fruit d'une expérience vieille de neuf ans.

Cette méthode ne représente qu'une étape dans l'étude de la fertilisation minérale. Il est important de préciser ses conditions d'utilisation et ce que l'on peut en attendre.

Le but recherché est la définition de la projection de la ligne de crête de la surface de réponse pour deux éléments. Cette surface est étudiée au moyen de deux coupes transversales permettant de déterminer les coordonnées de deux points de la droite recherchée.

Deux questions se posent :

- quels éléments faut-il étudier ?
- à quels niveaux faut-il exécuter les coupes ?

— *Choix des éléments à étudier.*

Pour être complet, il est nécessaire d'étudier les quatre éléments N P S K. Six surfaces de réponse devraient donc être étudiées à deux niveaux ce qui conduit à pratiquer douze coupes. A raison de 4 traitements par coupe, ce sont 32 traitements, sans parler des témoins, qui seront nécessaires. Ceci est difficilement réalisable.

L'expérience montre que nous avons très rarement besoin d'étudier simultanément les quatre éléments. Les renseignements fournis par l'essai soustractif sont alors très précieux pour guider cette simplification. Les éléments déficients sont seuls étudiés. Bien souvent ceux-ci sont au nombre de deux, quelquefois trois.

Dans le cas de deux éléments, le problème est simple. Quatre traitements par coupe suffisent et deux niveaux sont étudiés. Il est important que les résultats obtenus pour chaque niveau le soient dans des conditions parfaitement comparables. Une bonne solution consiste à utiliser la méthode du split-plot où les deux niveaux représentent les traitements principaux, les 4 traitements et un témoin les traitements élémentaires.

Lorsque les trois éléments sont déficients, N, P, S, par exemple, l'expérience montre que l'on peut se contenter d'étudier deux surfaces de réponse. L'essai soustractif nous permet de choisir la surface à éliminer. Prenons le cas du Sénégal. La déficience azotée est prépondérante. Les déficiences soufrée et phosphatée sont secondaires et de même importance relative. L'élément à étudier en priorité est l'azote et les deux surfaces à examiner sont NP et NS.

Pour chaque niveau, sept traitements et un témoin sont nécessaires. Le dispositif expérimental est identique à celui du premier cas, le nombre de traitements élémentaires étant égal à 8.

Dans le cas de quatre éléments, trois coupes pour chaque niveau sont nécessaires pour étudier les surfaces de réponse intéressant les éléments les plus déficients.

Prenons le cas où les éléments déficients sont N S P K, avec une nette dominance de la déficience azotée. Les traitements élémentaires sont :

N		
NS	NP	NK
SN	PN	KN
S	P	K

et un témoin, soit un total de 11, et 22 pour les deux niveaux d'une répétition, au lieu des 32 théoriques.

En étudiant les résultats de culture sans sol obtenus à BAMBARÉ, nous justifierons cette simplification. Nous n'aborderons ici que l'aspect pratique de cette expérimentation.

— *Choix des niveaux.*

Les premières études de surfaces de réponse, en 1958 et 1959, ont été faites aux niveaux 3 000 et 10 000 équivalents/ha. Les résultats obtenus à

10 000 éq/ha ont été généralement satisfaisants. Mais il a été souvent difficile d'obtenir une information valable à 3 000 éq/ha. Cette dose est en général trop faible par rapport à la fertilité naturelle du terrain. Les variations de rendements imputables aux engrais sont du même ordre de grandeur que celles qui sont dues à l'hétérogénéité du terrain.

Pratiquement, il est préférable d'utiliser les deux niveaux 5 000 et 10 000 éq/ha dans le cas où la fertilité naturelle est moyenne: rendement du terrain de l'ordre de la tonne/ha. Lorsque, sans engrais, la production dépasse 1 500 kg/ha de coton-graine, 7 000 et 12 000 éq/ha seront les doses à utiliser.

Ce choix, fait a priori, ne signifie pas que ces doses seront vulgarisées. Cette détermination sera le fruit d'une étude économique sur les différentes doses d'engrais plus ou moins complets.

## Résultats obtenus

La méthode des coupes a été largement utilisée dans l'ensemble du réseau expérimental de l'I.R.C.T. Il est intéressant de comparer les résultats obtenus. Pour en faciliter la compréhension, nous prendrons en considération les éléments usuels N,  $P_2O_5$  et S (tabl. 7 et 8).

Tableau 7. — Relations entre N et  $P_2O_5$  d'après les résultats des essais « coupes ».

Pays	Relations
<i>Afrique de l'Ouest</i>	
Côte d'Ivoire .....	$P_2O_5 - 4 N + 63 = 0$
Dahomey	
N.E. ....	$P_2O_5 - 3,4 N + 29 = 0$
Centre .....	$P_2O_5 - 3 N + 105 = 0$
Haute-Volta .....	$P_2O_5 - 3,4 N = 0$
<i>Mali</i>	
M'Pesoba .....	$P_2O_5 - 4,2 N + 3 = 0$
Kogoni (culture irriguée) ..	$P_2O_5 - 1,6 N + 84 = 0$
<i>Afrique Centrale</i>	
R.C.A. Bambari .....	$P_2O_5 - 1,4 N + 12 = 0$
Tchad-Tikem .....	$P_2O_5 - 1,4 N = 0$
Bébedjia .....	aucun besoin en phosphore

Il est curieux de constater que ces relations se répartissent géographiquement.

- en Afrique de l'Ouest (à l'exception de KOGONI en culture irriguée), il faut 3 à 4 kg de  $P_2O_5$  pour un kg d'azote.
- en Afrique Centrale, les besoins en phosphore sont moins importants: 1,4 kg de  $P_2O_5$  pour un kg de N suffit.

Les termes constants ont une importance variable, mais sont tous de même signe. En général, l'azote

est le premier élément déficient mais l'importance relative de cette déficience est variable. Elle a la même valeur que la déficience phosphatée en Haute-Volta, au Mali (M'PESOPA) et au Tchad (TIKEM). Mais au Centre Dahomey, il faut une fumure de 35 kg/ha de N pour voir apparaître les besoins en phosphore. La connaissance de ce terme revêt donc une grande importance.

Tableau 8. — Relations entre N et S d'après les résultats des essais « coupes ».

Pays	Relations
<i>Afrique de l'Ouest</i>	
Côte d'Ivoire .....	$N - S = 0$
Haute Volta .....	$1,1 N - S = 0$
Dahomey N.E. ....	$1,1 N - S = 0$
<i>Afrique Centrale</i>	
Tchad - Bébedjia .....	$1,1 N - S = 0$
R.C.A. - Bambari .....	$1,1 N - S - 24 = 0$

Nous constatons que les besoins en soufre ne sont pas aussi fréquents que les besoins en phosphore. Ils semblent pratiquement peu fréquents ou inexistantes en particulier au Mali (M'PESOPA et KOGONI), au Centre Dahomey et en général au Tchad (TIKEM). Il faut en général un peu plus de soufre que d'azote. Le sulfate d'ammoniaque convient donc parfaitement partout où un besoin en soufre apparaît.

Le terme constant est nul, sauf pour BAMBARI. Dans la majorité des cas, il est nécessaire de corriger la déficience soufrée pour voir apparaître une réponse à l'azote, et inversement. Le sulfate d'ammoniaque est donc l'engrais tout indiqué.

Madagascar n'est pas représenté dans les deux tableaux précédents. Cela tient au fait que les besoins en soufre et en phosphore sont inexistantes jusqu'à présent aux emplacements expérimentés. L'azote est le seul élément qui peut apporter une augmentation de production, faible à TULEAR, très importante à MAJUNGA où 300 kg/ha d'urée font passer le rendement de 2 000 à 3 500 kg/ha.

## d) Etude de la courbe d'action des engrais

Les éléments déficients sont connus. La composition optimale de la fumure les faisant intervenir est déterminée pour toutes les doses usuelles. Tout ceci ne représente encore que l'aspect qualitatif de la fertilisation minérale. Son aspect quantitatif va pouvoir être maintenant abordé et déboucher sur des résultats pratiques.

### Méthode expérimentale

Sauf dans un cas très particulier (Sud Dahomey), les seuls éléments intervenant dans la composition de la fumure sont l'azote, le soufre et le phosphore.

Ces trois éléments sont reliés entre eux par des relations du type :

$$\begin{cases} P_2O_5 + a N + b = 0 & (1) \\ S + a' N + b' = 0 & (2) \end{cases}$$

La dose à étudier nous donne une troisième relation :

$$N + P_2O_5 + S = d \quad (3)$$

Pratiquement, la dose est fixée en équivalent/ha pour permettre des comparaisons entre différents points.

La relation (3) devient :

$$(4) 71,4 N + 42,3 P_2O_5 + 62,5 S = d \text{ éq./ha}$$

où N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et S sont exprimés en kg/ha.

Les augmentations de production constatées au cours de l'étude des déficiences minérales et de la détermination de la composition optimale de la fumure donnent une indication sur les doses à comparer. Selon les cas, on ira de 3 000 éq. jusqu'à 15 000 ou 30 000 éq./ha.

Les relations (1), (2) et (4) donnent la composition des formules à comparer qui sont réalisées à partir d'engrais simples : urée, sulfate d'ammoniaque et phosphate bicaïque.

La courbe de production est ajustée par simplification à une courbe du second degré.

## Résultats

A titre d'exemple, deux résultats vont être examinés :

- au N.E. Dahomey, l'effet direct est seul envisagé et la composition de la fumure est simple.
- à BAMBARI, l'étude de la courbe d'action est envisagée en tenant compte des effets directs et des effets résiduels sur deux cycles de cultures vivrières en deuxième année de rotation.

### Cas du N.E. Dahomey :

Les relations qui définissent la composition optimale de la fumure sont les suivantes :

$$\begin{cases} P_2O_5 - 3,4 N + 29 = 0 \\ S - 1,1 N = 0 \end{cases}$$

En négligeant le terme constant de la première relation, le système d'équation est satisfait par la formule :

100 kg de sulfate d'ammoniaque  
150 kg de triple super

correspondant à une dose totale de 5 900 éq./ha (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + 3 PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Cette formule, ses multiples et sous multiples ont été étudiés en 1964 et 1965 en trois endroits différents

dans le N.E. Dahomey et ont donné les résultats suivants :

Tableau 9. — Essai de doses croissantes de fumure. Aspect économique - Dahomey.

Fumure		Production de coton-graine		
kg/ha	éq./ha	kg/ha	% T	Prix du coton-graine (1) F CFA : 100
0	témoin	382	100	247
100		2 300	141	348
150		3 500	137	389
200		4 700	164	405
250		5 900	170	419
575		13 500	220	543
865		20 300	256	632
1 150		26 900	290	715

(1) : 28 F CFA le kg.

Ces résultats peuvent être ajustés de façon suffisamment valable à une courbe du second degré. Souhaitant déboucher sur une interprétation économique, les chiffres de revenu seront seuls étudiés.

Ce qui donne :

$$(1) Y = 282 + 2,48 X - 0,0034 X^2$$

où Y = revenu brut en centaines de francs CFA.

X = dose en centaines d'éq./ha.

La figure 5 donne une idée de la précision ainsi obtenue.

Le prix des engrais est en moyenne de 34 F CFA par kilo, ce qui donne la relation suivante :

$$(2) Y' = 1,37 X$$

où Y' = prix des engrais en centaines de francs CFA  
X = dose en centaines d'éq./ha.

L'augmentation du revenu à attendre des engrais est donnée par l'équation :

$$(3) Y'' = Y - Y' - 282 = 1,11 X - 0,0034 X^2$$

courbe du second degré dont le maximum est obtenu par :

$$X = \frac{1,11}{0,0034 \times 2} = 163$$

soit 16 300 éq./ha.

Cette dose correspond pratiquement à la formule :

275 kg/ha de sulfate d'ammoniaque  
415 kg/ha de triple super  
690 kg/ha d'engrais.

L'augmentation du revenu brut est alors de 9 060 F pour une dépense d'engrais de 23 460 F.

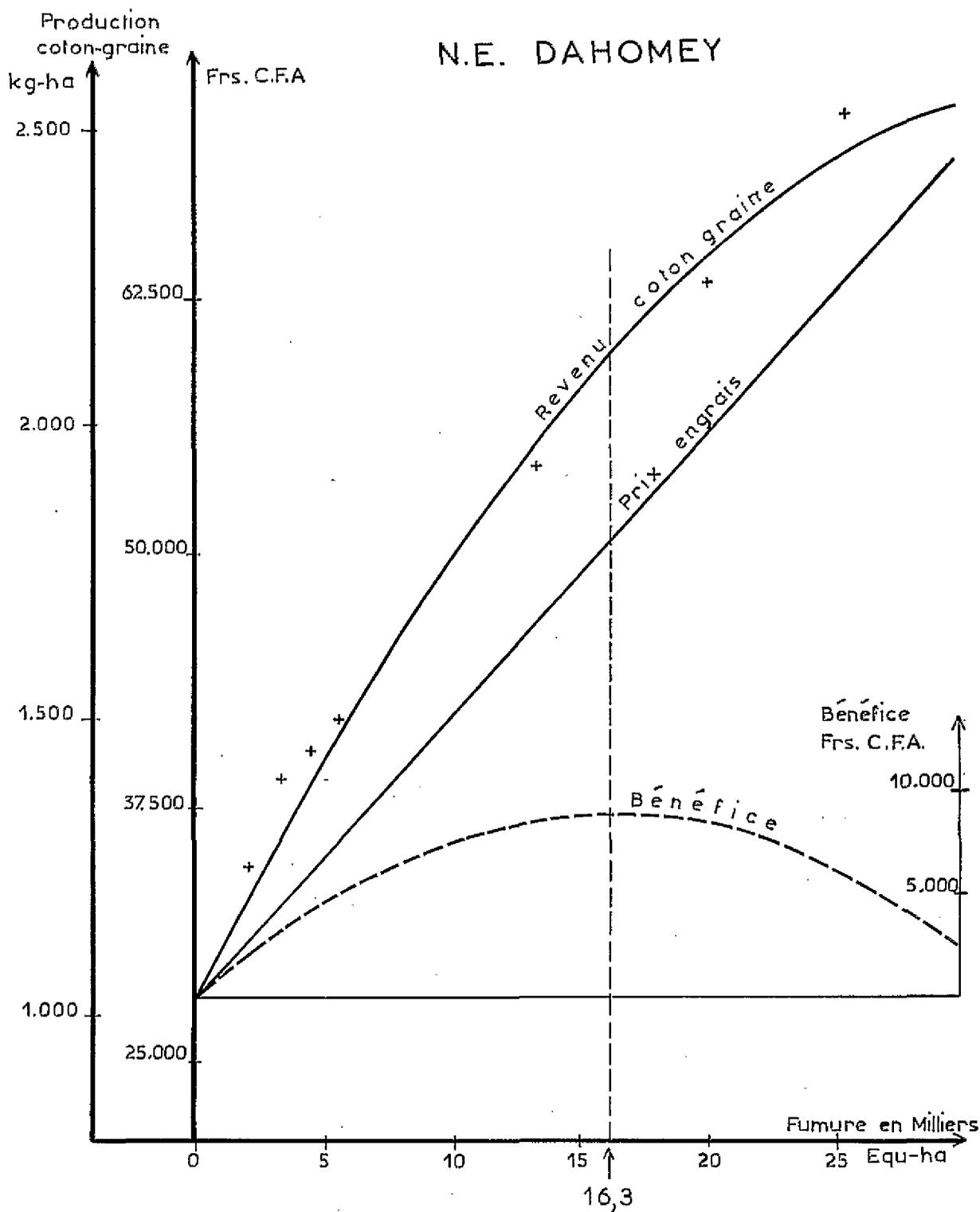


Fig. 5. — Courbe d'action des engrais au Dahomey (Nord-Est).

Cas de la Centrafrique (BAMBARI):

La composition optimale de la formule est définie par les relations :

$$\begin{cases} P_2O_5 - 1,4 N + 12 = 0 \\ S - 1,1 N + 24 = 0 \end{cases}$$

Cinq doses ont été comparées à une parcelle sans engrais. La composition de ces différentes formules est ici variable et est rappelée ci-dessous.

Formules éq./ha	Urée 45 %	Sulfate d'ammoniaque 20,6 %	Phosphate bicalcique 38 %	Sulfate de potassium 48 %	N	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
3 000 .....	33	37	54		22	9	21
6 000 .....	47	94	108		41	22	41
9 000 .....	39	170	168		53	40	64
12 000 .....	15	269	224		62	63	85
15 000 .....		336	271	93	69	97	103

Cette expérimentation a été conduite pendant quatre ans de 1961 à 1965 en étudiant l'effet direct sur un cotonnier en tête de rotation venant soit après débroussement soit après une longue jachère. L'effet résiduel a été étudié en deuxième année de cette rotation sur deux cycles de cultures vivrières : arachide puis sésame. Les résultats sont groupés dans le tableau 10.

Tableau 10. — Essai de doses croissantes de fumure. Aspect économique - Centrafrique.

Objet Fumure éq./ha	Production			Revenu	
	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année		coton-graine F CFA : 100	total F CFA : 100
	coton-graine kg/ha	arachide kg/ha	sésame kg/ha		
0 ..	952	1 013	283	248	454
3 000 ..	1 090	1 271	341	283	540
6 000 ..	1 184	1 406	367	303	589
9 000 ..	1 241	1 398	381	323	606
12 000 ..	1 289	1 455	400	335	631
15 000 ..	1 367	1 453	410	355	654
p.p. à 0,05	74	143	72	19	41

Le revenu global peut être ajusté également à une courbe du second degré (fig. 6):

$$Y = 462 + 24,6 X - 0,82 X^2$$

Y = revenu en centaines de F CFA  
X = dose en milliers d'éq./ha.

Le prix des engrais n'est pas rigoureusement proportionnel à la dose et peut être ajusté à l'équation :

$$Y' = 15,7 X - 0,10 X^2$$

Y = prix de l'engrais en centaines de F CFA  
X = doses en milliers d'éq./ha

L'augmentation du revenu brut (pour les deux années : effet direct + effet résiduel) est alors :

$$Y'' = 8,9 X - 0,72 X^2$$

Son maximum est atteint pour la dose :

$$M = \frac{8,9}{2 \times 0,72} = 6,2 \text{ soit } 6\,200 \text{ éq./ha}$$

Pratiquement, la formule vulgarisée est :

- 100 kg de sulfate d'ammoniaque
- 100 kg de phosphate bicalcique
- 50 kg d'urée.

Le triple superphosphate aurait été préférable puisque correspondant exactement à la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> souhaitable. Le phosphate bicalcique lui a été substitué en raison de ses plus grandes facilités de stockage et de mélange. L'augmentation de revenu est de 2 570 F pour une dépense d'engrais de 9 320 F.

Les essais conduits au Mali (KOGONI) et au Tchad (BEBEDJIA) permettent également des études économiques analogues.

— Mali (KOGONI) :

La composition de la formule répond à l'équation :

$$P_2O_5 - 1,6 N + 84 = 0$$

L'azote est apporté sous forme d'urée et le phosphore sous forme de triple superphosphate, payés respectivement 39 000 et 48 500 F maliens la tonne. Dans le cadre de la culture familiale, le coton-graine est acheté à 34 F le kilo.

L'augmentation maximum de revenu brut est obtenue pour la dose de 11 000 éq./ha soit 105 kg d'azote et 84 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ce qui correspond à la formule :

$$\begin{aligned} &235 \text{ kg d'urée} \\ &185 \text{ kg de triple super} \end{aligned}$$

(pouvant être avantageusement remplacé par 220 kg de phosphate bicalcique).

BAMBARI R.C.A.

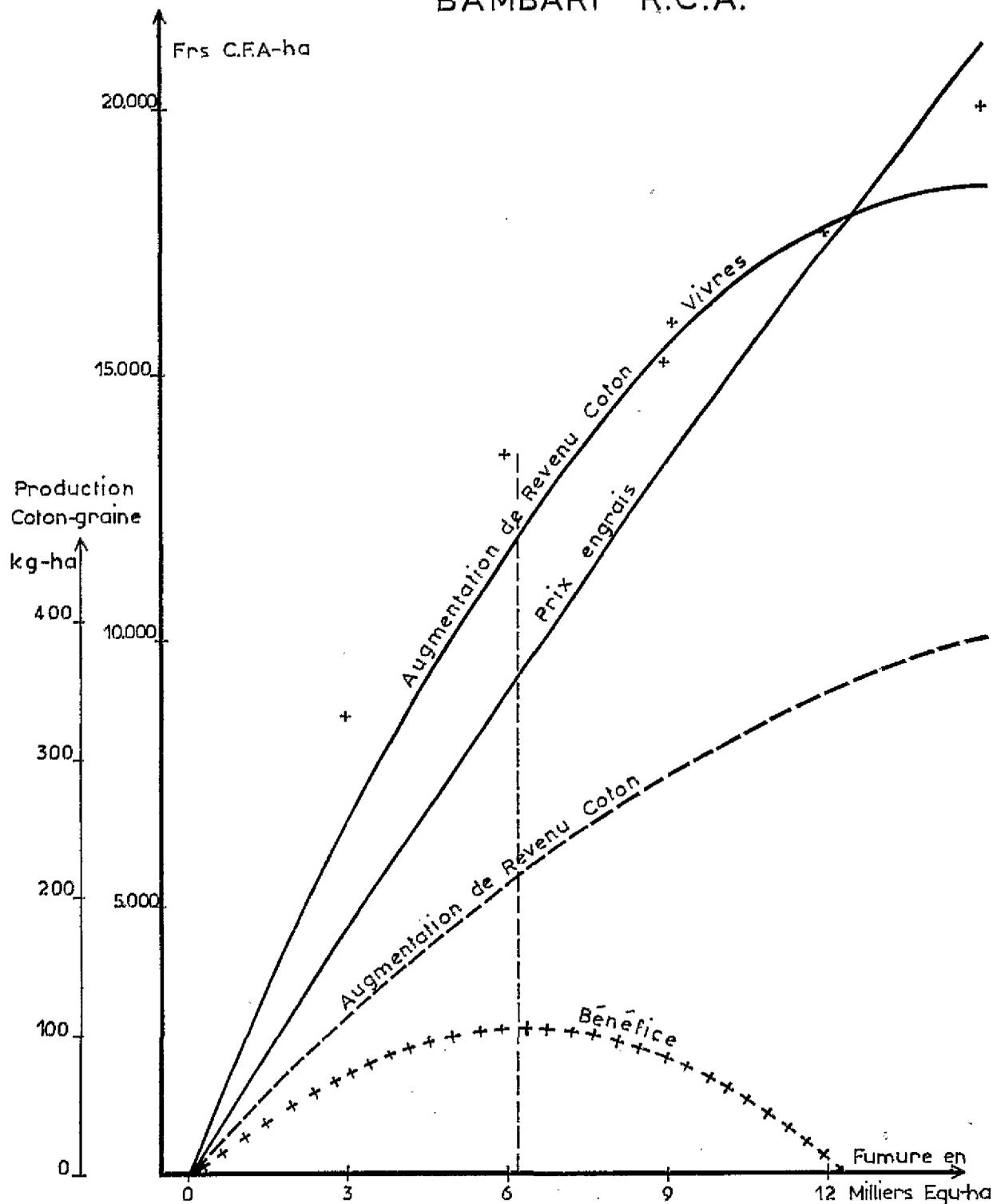


Fig. 6. — Courbe d'action des engrais en Centrafrique (BAMBARI).

## — Tchad (BEBEDJIA) :

La fumure minérale est très simple : sulfate d'ammoniaque, quelle que soit la dose. Le coton-graine est vendu 26 F le kilo et l'engrais est payé 30 F le kilo.

L'augmentation maximum de revenu est obtenue pour la dose de 9 500 éq./ha, soit pratiquement 325 kg/ha de sulfate d'ammoniaque.

**Discussion des résultats**

La marche à suivre pour résoudre le problème posé est la même que l'on se limite à l'étude de l'effet direct ou que l'on y associe l'effet résiduel.

La méthode d'ajustement est discutable pour rendre compte d'une courbe du type Mitcherlich, mais est suffisamment précise pour les quatre cas étudiés. Elle offre l'avantage d'une solution simple. L'extrapolation au delà des points étudiés n'est évidemment pas à envisager.

Tous les calculs sont conduits dans le cadre d'une agriculture familiale. L'incidence de l'augmentation de production sur les frais de récolte n'est donc pas prise en considération.

Il est intéressant de noter qu'à BAMBARI l'effet résiduel représente environ 50 % de l'augmentation de revenu à attribuer aux engrais. Il est vraisemblable qu'il doit en être de même chaque fois que des phosphates entrent dans les formules composées. Dans le cas particulier, assez rare, où aucun besoin de phosphore n'apparaît aux doses utilisées, il est peu probable d'atteindre le même résultat avec une fumure à base de sulfate d'ammoniaque ou d'urée.

Un effet résiduel positif dans ces conditions serait sans doute à attribuer à l'augmentation des résidus de récolte provenant de l'effet direct.

L'étude comparée de ces courbes apporte des éléments nouveaux au premier point abordé : position de la fumure en tant que facteur limitant. En retenant les doses offrant la rentabilité maximum, les rapports entre l'augmentation de la production de coton-graine et la quantité d'éléments fertilisants apportés (somme N + S + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sont respectivement 3,67 - 3,65 - 1,96 et 9,17 pour le N.E. Dahomey, KOGONI, BAMBARI et BEBEDJIA. La réponse est très bonne à BEBEDJIA, bonne au Dahomey et à KOGONI. Par contre, le résultat de BAMBARI montre qu'il existe d'autres facteurs limitants qui réduisent l'action de la fertilisation minérale.

Les courbes étudiées font apparaître deux autres aspects du problème. La rentabilité de la fumure minérale est en général assez faible. L'augmentation du revenu représente seulement le tiers de la dépense engagée, en dehors du cas de BEBEDJIA. Cela tient, pour une grande part, à la disproportion entre le prix du coton-graine (26 à 34 F/kilo) et le prix des engrais (30 à 44 F/kilo).

L'augmentation maximum de revenu brut a été calculée en se plaçant au niveau de l'agriculteur. Le Dahoméen par exemple n'a pas intérêt à dépasser la dose de 435 kg d'engrais, dose au delà de laquelle il perd de l'argent. Lorsqu'il utilise cette fumure, il augmente son revenu personnel mais contribue également à l'accroissement de la production nationale avec toutes les conséquences économiques qui en résultent.

## II. - L'ASPECT DYNAMIQUE DE LA FERTILISATION MINÉRALE

Notre expérimentation sur la fertilisation minérale s'est placée d'une façon générale dans les conditions les plus simples : en tête de rotation, soit après jachère, soit bien souvent après débroussement.

Cette position se justifie largement par le fait que l'agriculture africaine était, et est encore pour sa plus grande part, itinérante et que le cotonnier est toujours mis en tête de rotation. Mais cette situation tend à évoluer. Dans certaines régions, sous l'influence de la pression démographique, les jachères voient leur importance diminuer et tendent parfois à disparaître. Par voie de conséquence, le temps de culture augmente. De nouveaux types de rotation apparaissent où le cotonnier occupe plusieurs scles. Certaines régions pratiquent même la culture cotonnière continue. Nous devons nous tenir prêts à répondre aux

problèmes qui seront posés par ces nouvelles situations.

Déterminer la fertilisation minérale optimale à un moment donné d'une rotation est important. C'est envisager le problème sous son aspect statique. Ce point acquis, l'évolution des besoins en éléments minéraux au cours de la rotation ou de rotations successives demande à être étudiée. C'est envisager l'étude de la fertilisation minérale sous son aspect dynamique.

Les rotations ne sont pas le seul facteur susceptible d'avoir une influence sur la composition de la fertilisation minérale. Une variété de cotonnier peut être remplacée par une autre très différente. Les résultats sont-ils transposables ?

## a) Influence des rotations

La variation de la nutrition minérale du cotonnier au cours de rotations successives est fonction :

- du temps de culture ;
- du temps de jachère ;
- de la nature des autres cultures ;
- de la fumure mise en tête de rotation.

Les combinaisons entre ces différents facteurs sont évidemment très variables et rendent l'expérimentation au champ très complexe, sinon impossible. Néanmoins, il semble possible de répondre à certaines questions par des essais simples. Les résultats d'analyses foliaires doivent être des guides précieux. Après avoir présenté une méthode expérimentale possible, nous examinerons les résultats déjà acquis.

### Méthode expérimentale

Deux problèmes sont à étudier :

- 1<sup>er</sup> cas : l'apparition de nouveaux besoins (ex. potassium)
- 2<sup>e</sup> cas : l'évolution de besoins déjà existants.

1<sup>er</sup> cas - deux solutions sont possibles :

- L'essai soustractif utilisé pour la détermination des déficiences minérales est poursuivi de façon pérenne avec la rotation locale. L'essai du Sénégal a montré que l'absence de potassium entraîne en première année une baisse de production non significative. Il sera intéressant de suivre cette évolution au cours de la rotation. Il sera alors du plus grand intérêt de connaître le nombre d'années après lesquelles ce besoin deviendra significatif.
- Une deuxième méthode plus simple consiste à comparer à la formule optimum, définie pour le cotonnier, tête de rotation apportant les éléments N P S par exemple, une deuxième formule apportant en plus des mêmes éléments une certaine quantité de potassium. C'est en fait un essai soustractif limité à l'élément K.

2<sup>e</sup> cas - deux solutions sont également possibles :

- Si l'on dispose de champs fertilisés de façon uniforme avec la fumure définie pour le cotonnier tête de rotation, un essai soustractif mise en place dans ces conditions donnera la réponse. Cela suppose un planning expérimental portant sur de nombreuses années de réalisation, en général très difficile à suivre sur station.
- Des observations faites par ailleurs peuvent conduire à formuler une hypothèse qui est vérifiée par un essai plus simple réalisé dans des conditions bien précises.

C'est ici que peuvent intervenir les résultats d'analyses foliaires. Celles-ci offrent l'avantage considérable de pouvoir faire des observations dans toutes les situations possibles. La connaissance précise du passé cultural des parcelles ayant été échantillonnées permettra d'orienter l'expérimentation vers des essais de confirmation très simples. En fait, cela revient à procéder par voie d'enquête.

### Résultats

— Apparition de besoins nouveaux : cas du potassium

La détermination de la composition optimale de la fertilisation a rarement mis en évidence des besoins en potassium. Une seule exception à cette règle est représentée par les régions du Sud du Dahomey et du Togo. Cela signifie que les sols des zones à vocation cotonnière sont suffisamment pourvus en cet élément. On est en droit de se demander pendant combien de temps cette situation va se poursuivre.

Les essais pérennes actuellement en cours à BAM-BARI permettent de préciser ce problème. Un essai d'assolement mis en place en 1961 compare des rotations d'intensité différente. Des analyses foliaires ont été faites en 1964 et 1965. La classification des rotations par ordre d'intensité croissante donne les résultats du tableau 11.

Tableau 11. — Réduction de la teneur en K des feuilles de cotonnier selon l'intensité de la rotation (Centrafrique).

Précédent				K % 1964	Précédent					K % 1965
61	62	63	64		61	62	63	64	65	
•	•	•	C	2,36	•	•	•	•	C	2,58
AS	•	•	C	2,25	C	Am	m	•	C	2,32
Am	m	•	C	2,20	C	AS	•	•	C	2,08
•	C	AS	C	1,99	•	•	C	AS	C	2,28
AS	C	AM	C	1,91	C	AS	C	AM	C	1,99
AM	C	AS	C	1,71	C	AM	C	AS	C	1,75

C = cotonnier

AS = arachide (premier cycle), sésame ou paddy (2<sup>e</sup> cycle)

Am = arachide avec manioc

m = manioc

AM = arachide et maïs associé (premier cycle)

• = jachère

Quatre et cinq années de culture continue entraînent une baisse de la teneur en potassium de 28 à 32 % respectivement.

Cette première observation est précisée par un essai de jachères mis en place en 1958 et comparant les durées de 0, 2, 3 et 4 ans de jachère avec deux types de fumure en tête de rotation : 20 t/ha de fumier de ferme et une fumure minérale NSP à 10 000 éq./ha. La rotation suivie est :

- 1<sup>re</sup> année : cotonnier
- 2<sup>e</sup> année : deux cycles de cultures vivrières
- 3<sup>e</sup> année : cotonnier

Sans jachère et avec la fumure minérale, les cotonniers en tête de rotation présentent une teneur en potassium dans les feuilles qui est de 1,19 % en 1964 et de 1,07 % en 1965.

En 1965, des symptômes très nets de déficience potassique sont apparus, donc après 8 ans de culture continue. Avec une jachère de 2 à 4 ans ou une fumure organique, quel que soit le temps de jachère, cette teneur reste supérieure à 2 %.

Parallèlement, dans un essai de culture cotonnière continue, la teneur en potassium des feuilles est passée de 2,44 % en 1956 à 1,82 % en 1964, sur des parcelles ne recevant aucune fumure. L'évolution est la même lorsque l'on utilise une fumure minérale NSP à 10 000 éq./ha.

Ces premières observations tendent à montrer que les besoins en potassium, inexistant en début de rotation, peuvent apparaître après un certain temps de culture et ceci d'autant plus rapidement que cette culture est plus intensive.

#### — Evolution des besoins existants.

La détermination de la composition optimale de la fumure fait le plus souvent appel aux deux éléments N et P (8 cas sur les 9 étudiés). Le soufre vient s'y ajouter dans 5 cas. Il est intéressant de savoir si l'importance relative de ces trois éléments va varier.

Le soufre semble représenter un cas singulier. Un sol, déficient en soufre en tête de rotation (après débroussaillage ou longue jachère) voit les besoins en cet élément diminuer au cours d'une rotation ou de rotations successives. Ce cas se présente à BAMBARI. De 1955 à 1958, il était facile de provoquer l'apparition de symptômes de déficiences soufrées, par un apport d'urée. Cette manifestation est maintenant difficile à mettre en évidence sur les mêmes sols.

Ces observations ont été précisées par les résultats d'analyses foliaires. Les teneurs en soufre des parcelles sans engrais de l'essai de culture continue sont passées de 0,17 en 1957 à 0,29 en 1964. La déficience nette a fait place à une teneur voisine de l'optimum.

Compte tenu de l'apport annuel de sulfate d'ammoniacal, nous constatons dans ce même essai des teneurs élevées en soufre pour les parcelles recevant une fumure minérale.

Les observations concernant le phosphore montrent une augmentation des besoins en cet élément au cours d'une rotation. Un essai de nature de pâturages, combiné avec la recherche de la composition optimale de la fumure pour le cotonnier venant après chaque pâturage, le montre assez bien.

Les analyses foliaires faites à partir des prélèvements effectués sur les parcelles de cotonnier sans engrais ont donné les résultats ci-dessous :

Tableau 12. — Teneur en P des feuilles de cotonniers cultivés après une plante fourragère (Centrafrique).

Pâturage	Teneur en P	
	1962	1964
	% mat. sèche	
<i>Pennisetum purpureum</i> .....	0,36	0,23
<i>Paspalum virgatum</i> .....	0,29	0,24
<i>Stylosanthes gracilis</i> .....	0,22	0,24
Moyenne .....	0,29	0,24

De 1962 à 1964, donc du cotonnier de 1<sup>re</sup> année au cotonnier de 3<sup>e</sup> année, l'équilibre optimum à 10 000 éq./ha a varié de la façon suivante :

Pâturage	1962		1964	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> éq./ha	3 PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup> éq./ha	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> éq./ha	3 PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup> éq./ha
<i>Pennisetum purpureum</i> .....	8 400	1 600	6 000	4 000
<i>Paspalum virgatum</i> ..	5 500	4 500	4 000	6 000

Les fumures correspondantes auraient dû être (en kg/ha) :

Pâturage	Urée		Phosphate bicalcique	
	1962	1964	1962	1964
<i>Pennisetum purpureum</i> .....	260	190	100	250
<i>Paspalum virgatum</i> ..	170	140	280	370

L'essai de durée de jachère déjà cité montre également une chute des teneurs des feuilles en phosphore lorsque l'on supprime la jachère.

Le cas de l'azote est plus complexe. La nutrition azotée est fonction du type de sol mais également sous la dépendance des conditions climatiques. La nature des autres cultures peut également avoir une

influence. A BAMBARI, on a montré que la teneur en azote des feuilles de cotonnier était significativement plus élevée après un pâturage de *Stylosanthes gracilis*.

Toutes ces observations ont été faites sur des essais non prévus au départ pour remplir ce rôle. Beaucoup sont effectuées à partir de résultats d'analyses foliaires dont nous voyons le grand rôle qu'elles peuvent jouer dans ce domaine.

En exposant notre méthode expérimentale, nous avons dit qu'un essai « soustractif » pouvait servir de confirmation. C'est ce qui a été réalisé en 1965 à BAMBARI avec des cotonniers venant en 3<sup>e</sup> année de culture. La culture en 1<sup>re</sup> année avait reçu la fumure N S P classique. Un maïs avait été cultivé en 2<sup>e</sup> année. Dans ces conditions, on a obtenu en 3<sup>e</sup> année les résultats suivants :

Tableau 13. — Production de coton-graine d'un cotonnier de 3<sup>e</sup> année après cotonnier et maïs (Centrafrique).

Objet	Production de coton-graine	
	kg/ha	% N S P K
Témoin sans engrais .....	1 270	72,6
Formule N S P K .....	1 750	100,0
Formule -K .....	1 776	101,5
Formule -P .....	1 530	87,4
Formule -S .....	1 618	103,9
Formule -N .....	1 573	89,9

Le phosphore et l'azote sont les seuls éléments déficients.

Cet ensemble d'observations semble montrer que dans les conditions de BAMBARI, la fumure minérale du cotonnier devrait subir au cours d'une rotation les modifications suivantes :

- maintien du niveau de la fumure azotée qui peut varier avec les conditions de l'année ;
- diminution voire disparition du soufre ;
- augmentation du phosphore ;
- peut-être addition de potassium.

En 1965, deux essais ont vérifié ces observations et ont confirmé les résultats des analyses foliaires.

Une conséquence pratique importante s'en dégage. L'apport de soufre qui n'est pas gratuit puisque lié à l'azote dans nos formules de fumure, peut être supprimé. On aboutira alors :

- soit à supprimer le S et à recommander :

75 kg d'urée  
100 kg de phosphate bicalcique,

qui coûte actuellement 7 050 F/ha au lieu de 9 100 F pour la formule :

100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque  
100 kg/ha de phosphate bicalcique  
50 kg/ha d'urée

- soit à conserver le même prix de 9 100 F et à augmenter les quantités des deux autres éléments :

100 kg/ha d'urée  
130 kg/ha de phosphate bicalcique.

En 1966, nous utiliserons cette dernière formule dans un essai de pré vulgarisation portant sur 10 ha. Elle permet de proposer un prix d'engrais uniforme aux agriculteurs, ce qui représente un avantage psychologique important. L'effet de dose doit amener une augmentation de la production par rapport à la formule initiale.

- Evolution de la réponse aux engrais au cours d'une rotation.

Une des rotations possibles pour le centre de la R.C.A. prévoit deux soles de cotonnier, en première et en troisième année. La courbe d'action des doses d'engrais dans ces deux cas a été étudiée en 1963 et 1965 et a donné les résultats suivants :

Tableau 14. — Réactions des cotonniers en première année et en troisième année de culture à des doses croissantes de fumure (Centrafrique). Les fumures ont la même composition en 1963 et en 1966.

Doses eq./ha	1963		1965	
	Production kg/ha	Augmentation kg/ha	Production kg/ha	Augmentation kg/ha
Témoin	811	0	713	0
3 000	965	154	1 033	320
6 000	1 018	207	1 138	425
9 000	1 103	297	1 367	654
12 000	1 171	360	1 485	772
15 000	1 233	422	1 575	862

En 1963, cet essai avait été mis en place après une jachère de *Pennisetum purpureum* de 6 ans. La réponse aux engrais est modeste : 0,6 kg de coton-graine supplémentaire par kilo d'engrais pour la dose la plus forte. Deux ans de culture (cotonnier et deux cycles de cultures vivrières) doublent la réponse aux engrais : 1,23 kg de coton-graine supplémentaire pour 1 kg d'engrais.

Ces premières observations faites à BAMBARI montrent que les fumures définies pour une culture cotonnière venant en tête de rotation devront être revues en fonction des rotations. Le cas examiné met en évidence la diminution, voire peut-être la disparition, des besoins en soufre, l'augmentation des besoins en phosphore et l'apparition d'un problème potassium au bout d'un certain temps de culture.

Un grand nombre de ces observations ont été faites à partir de résultats d'analyses foliaires qui offrent un moyen relativement facile de suivre l'évolution de la nutrition minérale dans des essais de systèmes de culture. Cette constatation très importante montre que cet aspect dynamique de la fertilisation minérale pourra être étudié sans que l'on soit obligé de conduire des expérimentations compliquées.

## b) Influence variétale

L'étude de la composition optimale de la fumure a été réalisée à BAMBARI avec une seule variété, le D 9. Les autres variétés susceptibles d'être multipliées en R.C.A. ont des caractéristiques (port, précocité, etc.) souvent différentes. Il était important de voir dans quelle mesure des résultats acquis sur le D 9 étaient transposables à d'autres variétés.

Deux questions peuvent se poser :

- la variété a-t-elle une influence sur la composition optimale de la fumure ?
- la réponse aux différentes doses d'engrais est-elle fonction de la variété ?

Les deux aspects du problème ont été examinés à BAMBARI sur deux variétés différentes.

— *Influence variétale sur la composition optimale de la fumure.*

Les deux variétés utilisées en 1961 pour notre étude étaient :

- le D 9, avec branches végétatives importantes, production de base prépondérante, peu ou pas de production de tête ;
- le Réba W 296, avec un port se rapprochant du type Allen, capsules plus petites et production de tête plus importante.

La surface de réponse  $\text{NO}_3^- \times \text{PO}_4\text{H}_2^-$  a été étudiée pour chaque variété par une coupe effectuée à la dose 10 000  $\text{eq./ha}$  (somme  $\text{NO}_3^- + 3 \text{PO}_4\text{H}_2^-$ ).

Les rendements maximum ont été obtenus :

- pour la variété D 9
  - avec 6 100  $\text{eq.}$   $\text{NO}_3^- = 85 \text{ kg de N}$
  - avec 1 300  $\text{eq.}$   $\text{PO}_4\text{H}_2^- = 92 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$
- pour la variété Réba W 296
  - avec 5 900  $\text{eq.}$   $\text{NO}_3^- = 83 \text{ kg de N}$
  - avec 1 370  $\text{eq.}$   $\text{PO}_4\text{H}_2^- = 97 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$

Ces deux fumures sont pratiquement identiques et semblent montrer que l'influence variétale sur la composition optimale de la fumure est nulle.

— *Influence variétale sur la courbe d'action des engrais.*

Le D 9, servant toujours de référence, a été comparé à une nouvelle variété le Réba B 50, dont les principales caractéristiques agronomiques sont un port beaucoup plus trapu, une précocité supérieure d'une dizaine de jours, et une productivité supérieure de 10 à 20 %.

Cette étude, réalisée en 1963, a donné les résultats suivants (tabl. 15) :

Tableau 15. — Réactions de 2 variétés de cotonniers à des doses croissantes de fumure (Centrafrique).

Doses $\text{eq./ha}$	Production de coton-graine				Augmentation à partir du témoin	
	D 9		Réba B 50		D 9	Réba B 50
	kg/ha	%	kg/ha	%		
Témoin sans engrais ....	666	100,0	811	100,0	—	—
3 000 .....	810	121,6	965	119,0	144	154
6 000 .....	838	125,8	1 018	125,5	171	207
9 000 .....	900	135,1	1 108	136,6	234	297
12 000 .....	939	141,0	1 171	144,4	273	360
15 000 .....	989	148,5	1 233	152,0	323	422
d.s. à P = 0,05	65	10	65	8	65	65

L'augmentation de la production exprimée en % des parcelles sans engrais est identique pour les deux variétés, mais en valeur absolue est plus importante pour la variété Réba B 50, plus productive (fig. 7).

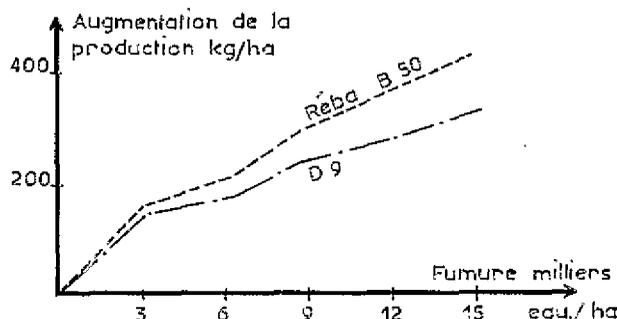


Fig. 7. — Réaction de deux variétés de productivité différente à de mêmes doses croissantes de fumure (BAMBARI).

C'est un résultat qu'il conviendrait de vérifier avec d'autres couples de variétés. Confirmé, il montrerait que la supériorité d'une variété productive sera d'autant plus grande que celle-ci sera cultivée avec

une bonne fumure minérale. Inversement, la rentabilisation d'une fumure minérale sera d'autant mieux assurée que l'on cultivera une variété améliorée.

### III. - APPLICATION ET VULGARISATION DE LA FUMURE MINÉRALE

#### a) Modalités d'épandage de la fumure minérale

##### Nature des engrais

Les engrais utilisés pour l'expérimentation qui vient d'être décrite sont, essentiellement, l'urée et le sulfate d'ammoniaque pour l'azote, le phosphate bicalcique pour le phosphore. Cette simplification apparente est le résultat d'un assez grand nombre d'essais conduits en différents points du réseau de l'I.R.C.T.

L'azote peut être apporté sous forme d'urée, de sulfate d'ammoniaque ou de divers nitrates. Les échecs constatés avec l'urée de 1955 à 1957 sont à imputer aux déficiences soufrées qui n'étaient pas corrigées. Pratiquement, on emploie le sulfate d'ammoniaque quand il y a des besoins en soufre, l'urée quand ces besoins n'existent pas à cause du prix plus faible de l'unité d'azote: 102 F contre 155 F en R.C.A. par exemple.

La nature du sulfate importe peu pour corriger la déficience soufrée. Il est commode d'utiliser le sulfate d'ammoniaque. Il peut être remplacé par du sulfate de potassium, lorsqu'un besoin en potassium apparaît, l'azote étant alors apporté sous forme d'urée. Il a également été montré que le soufre en fleur pouvait être utilisé sous réserve d'un épandage précoce.

Le phosphore peut être apporté sous deux formes équivalentes: monocalcique (triple superphosphate) ou bicalcique. Vingt quatre essais réalisés de 1959 à 1965 en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale donnent les résultats moyens suivants:

- Triple superphosphate: 1 620 kg/ha = 100
- Phosphate bicalcique: 1 607 kg/ha = 99,2

La Station de BAMBARI a démontré également que l'équilibre  $\text{NO}_3^- \times \text{PO}_4\text{H}_2^-$  à la dose de 10 000 équivalents est identique pour les deux types d'engrais phosphatés.

Le triple superphosphate a l'avantage d'une teneur plus élevée en  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Par contre, son stockage et son transport sont difficiles et il n'est pas facilement mélangeable à l'urée ou au sulfate d'ammoniaque.

Ce sont les raisons pour lesquelles le phosphate bicalcique lui est préféré.

Le phosphate d'ammoniaque, testé à BAMBARI et à TIKEM, semble également être une forme d'engrais phosphaté intéressante.

##### Dates d'épandage

Une expérimentation sur les dates d'épandage des engrais phosphatés ou soufrés n'a pas été jugée nécessaire. La faible migration des ions phosphatés demande un épandage aussi précoce que possible et à un niveau voisin du système racinaire du cotonnier. Un épandage en pleine végétation est à proscrire car il est certain que l'engrais ainsi épandu en couverture sera presque inutilisé par le cotonnier.

Il a été constaté que le jaunissement des jeunes cotonniers, baptisé « faim d'azote », peut être corrigé par un apport de sulfate. L'apport de soufre doit donc être fait également très tôt. Une simplification consiste à apporter simultanément soufre et phosphore aux semis ou immédiatement après la levée lorsque les lignes de cotonniers sont bien marquées.

Le problème de l'azote est moins simple. Le cotonnier en a un besoin important pendant toute sa phase végétative et au début de la fructification. La grande mobilité de l'ion  $\text{NO}_3^-$  peut faire qu'un épandage précoce ne mette plus d'azote à la disposition du cotonnier en début de floraison si la pluviométrie a été trop abondante.

En 1960, à BAMBARI, l'étude de la date d'épandage et de la variation de l'équilibre  $\text{NO}_3^- \times \text{SO}_4$  qui peut en résulter a été réalisée. La méthode utilisée était celle des coupes. Elle a donné les résultats du tableau 16.

L'efficacité de l'apport d'azote est accrue avec un épandage à 60 jours, en début de floraison.

Deux essais analogues mis en place au Mali (KOGONI) donnent des résultats que l'on peut rapprocher des précédents. L'effet de la date semble d'autant plus marqué que la dose d'azote est plus élevée.

Pratiquement, l'épandage de l'azote est à réaliser au cours de la quinzaine qui précèdera la floraison, soit entre 6 à 8 semaines après le semis.

Tableau 16. — *Etude de la date d'épandage de la fumure NS en fonction de l'équilibre NO<sub>3</sub> × SO<sub>4</sub> (Centrafrique).*

Dates d'épandage	Production de coton-graine		Equilibre correspondant au rendement maximum	
	Témoin sans engrais kg/ha	Rendement maximum kg/ha	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
			%	%
au semis	1 156	1 306	58	42
à 30 j.		1 447	55	45
à 60 j.		1 512	52	48

### Techniques d'épandage

La technique d'épandage couramment employée est celle du side-dressing qui consiste à mettre les en-

grais à 10 cm environ des cotonniers. Leur enfouissement est assuré par un léger houage. Cet enfouissement est important, principalement dans les cas de fortes pluviométries. Les conditions d'une bonne utilisation des engrais phosphatés ne sont sans doute pas parfaitement remplies. Mais une amélioration semble difficile dans l'état actuel de l'agriculture africaine.

L'utilisation d'épandeurs mécaniques en culture attelée ou motorisée a été tentée, mais n'a pas encore fait l'objet d'études précises.

Un cas particulier a néanmoins été étudié : celui d'apports fractionnés d'urée sous forme de pulvérisations. Cette technique peut se justifier lorsqu'il est possible de l'associer aux premiers traitements insecticides. De nombreux essais ont été étudiés dans le réseau expérimental de l'I.R.C.T.

— En Centrafrique (tableau 17).

Tableau 17. — *Action comparée de l'urée apportée en side-dressing au moment du semis ou en pulvérisations sur les feuilles.*

Objet	Production de coton-graine, kg/ha			
	1961	1962	Moyenne	% T
Témoin sans engrais .....	1 320	1 102	1 211	100,0
Fumure N P S, N au semis (19 kg/ha) .....	1 541	1 378	1 459	120,4
Fumure N P S, N en pulvérisations (19 kg/ha) .....	1 684	1 546	1 615	133,4
d.s. à P = 0,05 .....	126	141		

L'urée, ajoutée à la solution insecticide et pulvérisée sur les feuilles à l'occasion des trois premiers traitements insecticides, est au moins, si ce n'est plus, aussi efficace que l'urée apportée en side-dressing. On a montré, par ailleurs, que la solution conservait tout son pouvoir insecticide.

— Au Mali (Station de KOGONI).

On a montré en 1963 que 45 kg d'urée pulvérisée sur les feuilles amenaient un supplément substantiel de production. Une étude plus précise conduite en 1964 a apporté les renseignements suivants (tabl. 18).

La pulvérisation foliaire est d'autant plus payante que la dose totale d'azote est faible, ce qui est normal. On a ici simplement une courbe d'action de l'azote.

— Au Tchad (Station de BEBEDJIA).

La station de BEBEDJIA (Tchad) a montré en 1964 qu'une pulvérisation de 45 kg/ha d'urée, venant après un épandage de 200 kg/ha de sulfate d'ammo-

niaque au démarrage, entraînait une augmentation de production de 419 kg/ha de coton-graine, soit 20,9 kg de coton par kilo d'azote. La pluviométrie de juillet et d'août 1964 a été largement excédentaire.

En 1965, avec une pluviométrie déficitaire, les pulvérisations foliaires d'urée n'ont eu pratiquement aucun effet.

— En Côte d'Ivoire et en Haute-Volta, dix essais du même type que les précédents ont, en 1965, montré que sept fois sur dix un apport supplémentaire d'azote sous forme d'urée pulvérisée sur les feuilles au début de la floraison avait un effet très positif sur la production. Ces pulvérisations sont d'autant plus efficaces que la fumure de base est faible.

Un essai de prévilgarisation a été réalisé à BAMBARI sur une surface de 3 ha, chez des agriculteurs travaillant dans le cadre d'Associations agricoles. Cet essai a donné les résultats suivants :

- sans pulvérisation d'urée : 1 354 kg/ha
- avec pulvérisation d'urée : 1 541 kg/ha, soit + 187 kg

Ces pulvérisations ont été réalisées en trois fois à 15 jours d'intervalle, en apportant au total 42 kg/ha d'urée. Un kilo d'azote a augmenté la production de 9,8 kg/ha de coton-graine.

Cette technique peut donc présenter un intérêt dans deux cas bien précis :

— *Premier cas.* La formule complète exige azote, soufre et phosphore. Ces deux derniers éléments doivent être apportés au semis, ce qui entraîne également un épandage d'azote si le soufre est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque. Le rapport  $\text{NO}_3/\text{SO}_4$  étant toujours au moins égal à l'unité, un apport complémentaire d'azote s'impose. Il est intéressant de le faire au début de la floraison. Les pulvérisations sur les feuilles, associées aux traitements insecticides, permettent de réaliser cette opération sans travail supplémentaire.

Ce cas se rencontre à BAMBARI (R.C.A.).

— *Deuxième cas.* Une pluviométrie élevée est associée à un sol léger. Le lessivage de l'azote est important. Un apport complémentaire d'azote au début de la floraison peut être intéressant, la majeure partie de l'engrais étant mise peu de temps après le semis.

C'est le cas de BEBEDJIA (Tchad).

Lorsque l'azote peut être apporté en une seule fois 45 à 60 jours après le semis, les pulvérisations foliaires faites très peu de temps après cet apport principal ne présentent pas d'intérêt. Ce cas se trouve bien représenté à KOGONI (Mali).

Tableau 18. — Mise en évidence de l'action de l'urée pulvérisée sur les feuilles de cotonnier et amélioration de la production par des pulvérisations supplémentaires d'azote (Mali).

Urée à 40 jours (side dressing) kg/ha	Urée pulvérisée sur les feuilles		Quantité totale d'N kg/ha	Production coton graine kg/ha	Augmentation de la production kg coton/kg d'N pulvérisé
	48 j. kg/ha	63 j. kg/ha			
	0	40	—	18	1 997
0	20	20	18	1 939	24,7
200	40	—	108	3 002	8,1
200	20	20	108	2 916	3,3
200	—	—	90	2 856	—
0	0	20	0	1 494	—

## b) Formules d'engrais vulgarisables et rentabilisation

Dans notre exposé nous n'avons pris que quelques exemples pour illustrer les différents points de notre méthode. Dans le tableau qui suit nous avons regroupé par Etat les résultats obtenus, soit en station, soit à l'extérieur, avec des formules d'engrais vulgarisées ou susceptibles de l'être.

Tableau 19. — Formules d'engrais vulgarisables dans quelques Etats, en culture cotonnière.

LIEUX	Formules d'engrais				Quantités d'éléments			Production de coton-graine		Augmentation de production		
	Sulfate d'ammoniaque	Urée	Phosphates mono-calci-que	bicalci-que	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Moyenne sans engrais	Moyenne avec engrais	kg/ha	% du témoin sans engrais	kg cot.-gr./kg NSP
<i>Af. de l'Ouest</i>												
Côte d'Ivoire .....	100	—	100	—	20	45	23	801	1 094	293	36,6	3,81
N.E. Dahomey .....	80	—	120	—	16	54	18	834	1 314	480	57,5	5,39
Haute Volta .....	100	—	150	—	20	67	23	715	1 019	304	42,5	2,74
Mali - M'Pesoba ..	100	—	150	—	20	67	23	1 082	1 571	489	45,2	4,41
Kogoni .....	—	215	275	—	97	123	—	2 115	3 357	1 242	58,7	5,65
<i>Af. Centrale</i>												
Cameroun .....	100	—	—	50	20	19	23	1 080	1 320	240	22,2	3,81
R.C.A. - Bambari ..	100	50	—	100	42	38	23	1 012	1 380	368	36,3	3,54
Tchad - Bebedjia ..	200	—	—	—	40	—	46	904	1 342	438	48,5	4,98
Tikem .....	100	—	—	150	20	57	23	990	1 345	355	35,8	3,51
<i>Madagascar</i>												
Majunga .....		300			135	—	—	2 000	3 500	1 500	75,0	11,1

Ces formules ne représentent pas toujours l'optimum et peuvent être encore bien souvent améliorées en particulier quant à la dose. La formule du N.E. Dahomey pourra être comparée par exemple à celle définie lors de l'étude de la courbe d'action des doses d'engrais. La dernière colonne de ce tableau donne une idée de la rentabilisation de la fumure par le rapport entre l'augmentation de la production en coton-graine (kg/ha) et la quantité d'éléments fertilisants apportés (somme N + S + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en kg/ha). Ce rapport précise les conditions de rentabilisation de la fumure minérale dans les différentes situations.

### c) Etat actuel de la vulgarisation

La fertilisation minérale du cotonnier est maintenant bien connue sur nos stations. La régionalisation du problème est commencée. Où en est la vulgarisation ?

Il nous semble important de bien préciser que l'utilisation d'engrais minéraux est une technique agricole déjà évoluée. Il est donc indispensable qu'un certain préalable agronomique soit acquis. Nous entendons par là que l'emploi d'une fumure suppose une préparation du sol, des dates de semis et des entretiens corrects. Une bonne protection phytosanitaire doit être également assurée.

Ces conditions supposent dans l'état actuel de l'agriculture tropicale un encadrement correct. C'est la raison pour laquelle nous n'envisagerons que l'état de la vulgarisation dans les zones contrôlées par la C.F.D.T. Les rapports 1964 et 1965 de cette Société nous ont permis de dresser le tableau ci-dessous.

Pays	Fumures	Surfaces fumées en 1965
<i>Afr. de l'Ouest</i>		
Côte d'Ivoire	100 kg SA + 100 kg TS	8 000
Dahomey N.	80 kg SA + 120 kg TS	605 (1)
Haute Volta	75 kg SA + 75 kg TS	920
Mali .....	75 kg SA + 50 kg TS	6 402
<i>Afr. Centrale</i>		
Cameroun ..	100 kg SA	2 600
	100 kg SA + 50 kg Ph. bic.	
Tchad .....	100 kg SA + 50 kg Ph. bic.	7 649
R.C.A. ....	50 kg SA, 50 kg Ph. bic., 50 kg U.	2 400 (2)

SA = Phosphate d'ammoniaque (1) Chiffre 1964  
 TS = Triple super (2) Programme 1965  
 Ph.bic. = Phosphate bicalcique  
 U = Urée

C'est en Côte d'Ivoire que la fertilisation minérale est la plus employée : 75 % de champs sont fumés. La production s'en ressent fortement. En 1964, le rendement moyen a été de 1 141 kg/ha sur 1 762 ha en secteur de MANKONO où 98 % des champs avaient été fumés.

Au Mali, en culture sèche, l'utilisation des engrais progresse assez rapidement :

— Campagne 1961 :	228 ha fertilisés	
1962 :	892	* = 1961 + 665 ha
1963 :	1 824	* = 1962 + 931 ha
1964 :	4 119	* = 1963 + 2 295 ha
1965 :	6 402	* = 1964 + 2 283 ha

Au Tchad, la C.F.D.T. a montré en 1964 que l'utilisation simultanée de 100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque et de 50 kg de phosphate bicalcique avait permis d'obtenir une production moyenne de 1 078 kg/ha sur 4 200 ha.

La vulgarisation de la fertilisation minérale pose un certain nombre de problèmes lorsqu'elle s'adresse à des surfaces qui deviennent importantes.

L'obligation de passer par les services d'encadrement limite le nombre de formules d'engrais à deux, trois au maximum par pays. Dans le tableau ci-dessus une seule formule est présentée. En R.C.A., les deux formules proposées représentent actuellement le cas extrême.

Il faut reconnaître que techniquement cette situation a des conséquences minimes. Les formules proposées se situent encore à un niveau relativement faible : 88 kg/ha d'éléments fertilisants au maximum pour le N.E. Dahomey. A ce niveau, il est probable qu'une variation faible de la composition de la fumure entraînera une variation de rendement relativement faible en nous faisant nous replacer sur une courbe d'iso-production. C'est ce que montre bien souvent l'expérimentation.

Enfin, il est difficile d'envisager la formulation d'un engrais qui ne sera commercialisé qu'à quelques centaines de tonnes.

Nous sommes donc ramenés actuellement à réaliser des formules se rapprochant de nos résultats et faisant appel à des engrais simples se trouvant sur le marché. Ces engrais sont en nombre très limité : urée, sulfate d'ammoniaque et phosphate d'ammoniaque pour l'azote ; soufre et sulfate d'ammoniaque pour le soufre ; phosphate monocalcique, bicalcique et d'ammoniaque pour le phosphore.

Le mélange de ces engrais est-il compatible et comment se conserve-t-il ? Ces deux questions importantes ont été étudiées par la Société d'Etudes Chimiques pour l'Industrie et l'Agriculture à la demande de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, dans le cadre des formules d'engrais adaptées à la fumure du cotonnier.

Le sulfate d'ammoniaque convient bien lorsqu'un besoin d'azote est associé à un besoin en soufre. Mais pour les doses faibles, il se peut que la quantité de soufre soit trop importante : c'est le cas à BAMBARI. On peut donc être amené à enrichir ce mélange en azote.

Compte tenu du besoin quasi général en phosphore, le cas le plus général nous amène donc à envisager le mélange de sulfate d'ammoniaque avec un engrais phosphaté. La SECPIA a montré que la réalisation à l'avance d'un mélange triple superphosphate et sulfate d'ammoniaque semble à déconseiller: mauvais comportement en stockage dû à la formation progressive de sulfate de calcium et de phosphate d'ammonium, nécessitant vraisemblablement une granulation. La substitution du phosphate bicalcique au triple super paraît constituer une solution valable. Il existe également la possibilité de mélanger le sulfate d'ammoniaque au phosphate d'ammoniaque. On observe une prise en masse notable, mais les agglomérats restent assez friables. Le mélange se trouve enrichi en azote. En 1965, un tel mélange a été testé à BAMBARI et a donné les résultats suivants (tabl. 20).

Tableau 20. — Comparaison du phosphate d'ammoniaque au phosphate bicalcique dans un mélange avec du sulfate d'ammoniaque.

Objet			Eléments			Production coton- graine kg/ha
Sulfate d'amm.	Phosph. bicalc.	Phosph. d'amm.	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	S kg/ha	
—	—	—				1 083
200	100	—	42	38	48	1 634
120	—	30	41	41	29	1 646

Les résultats sont identiques avec les deux formules d'engrais mais le prix de revient de la seconde — avec le phosphate d'ammoniaque — est de 15 à 20 % inférieur.

## CONCLUSION

La diversité des méthodes proposées pour l'étude de la fertilisation minérale illustre parfaitement la complexité de celle-ci. Dans la méthode que nous venons d'exposer, notre soin constant a été de poser les problèmes à résoudre de façon aussi simple que possible et d'éliminer toutes les études inutiles.

C'est la raison pour laquelle la première question que nous nous posons est de savoir si la fertilisation minérale présente un intérêt immédiat. Ceci acquis, il est hors de propos d'étudier simultanément tous les éléments minéraux qui peuvent intervenir.

La recherche des éléments naturellement présents à un niveau suffisant dans le sol semble le deuxième problème à résoudre. Leur connaissance permettra de les éliminer de l'étude de la composition optimale de la fumure qui termine la *partie qualitative* de notre méthode.

Connaissant la composition optimale de la fumure aux différentes doses usuelles, nous rejoignons le

souci des agriculteurs du monde entier : gagner le maximum d'argent en utilisant les engrais. La *phase quantitative* de notre étude va avoir pour objet de définir la dose d'engrais offrant la rentabilité maximum.

La fertilisation est l'un des moyens qui nous sont offerts pour développer la production. La culture cotonnière, culture de rente, permet son utilisation. Néanmoins, notre soin dominant, compte tenu de la conjoncture actuelle, est d'assurer la rentabilité maximum et immédiate de cette fumure. Tout élément n'apportant pas immédiatement un surcroît de production est éliminé de la fumure.

Nous sommes parfaitement conscients du danger que représente cette option. C'est la raison pour laquelle nous étudions l'*aspect dynamique* de la fumure minérale. Nous estimons être suffisamment en avance sur la vulgarisation pour prévenir le danger représenté par cette politique et trouver des remèdes simples à apporter en temps utile.

## DISCUSSION

M. HENIN. — Il est intéressant de voir se dessiner une doctrine et une logique pour aborder l'étude de la fertilisation minérale. Toutefois, il n'apparaît pas dans ce rapport que le bilan des exportations soit pris en considération. Les résultats d'arrière-effets exposés sont assez surprenants par leur ampleur et devraient pouvoir s'expliquer par le reliquat de fumure non utilisé par la plante. Ce bilan peut d'ailleurs prendre plusieurs aspects. M. BRAUD signale notamment une disparition de la carence en soufre

après un certain temps d'exploitation sans que l'on ait apporté de soufre aux cultures. Il faut donc envisager l'utilisation des réserves du sol, matière organique qui se minéralise ou peut-être matières minérales qui se solubilisent. Il n'est pas exclu d'ailleurs que sous l'effet d'une certaine fertilisation minérale on accroisse l'exploitation du sol par la culture principale et que le retour à celui-ci sous forme de matière organique favorise les cultures suivantes. Un bilan fidèle doit tenir compte de l'évolution des réserves

du sol. Cette appréciation du niveau des réserves suppose une analyse vraiment parlante et nous savons tous quelles sont les difficultés pour interpréter finement une analyse de sol quand il s'agit de quantités relativement petites.

L'utilisation des résidus de récolte prend une importance accrue dans les régions où le coût de l'engrais est élevé : tout gaspillage doit être évité pour améliorer la rentabilité de la fumure. Cette restitution au sol des résidus de récolte est évidemment un élément du bilan envisagé.

Malgré les diverses façons d'aborder un bilan, celui-ci devrait permettre de proposer des explications et peut-être d'orienter une expérimentation.

M. BRAUD. — Cet aspect de la fertilisation minérale ne nous a pas échappé. Si l'on restitue au sol la totalité des résidus végétaux en culture cotonnière, les exportations sont relativement réduites. Pour une production de 1 500 kg de coton-graine, ce qui représente un bon rendement en Afrique, il y a exportation de 40 kg d'azote, de 20 kg d'acide phosphorique et de 20 kg de potassium. Pour l'azote, cette quantité correspond à celle apportée généralement par la fumure, mais pour l'acide phosphorique, celle-ci dépasse très souvent les exportations de la culture. En raison de la stabilité du phosphore dans le sol, cet excédent pourrait expliquer les arrière-effets observés par la suite. Il ne faudrait pas en conclure que l'apport de  $P_2O_5$  pourrait être réduit sur cotonnier car l'effet est sans doute proportionnel à l'apport de cet élément. Dans le cas de BAMBARI, malgré l'apport excédentaire de phosphore sur le cotonnier, on assiste à une augmentation des besoins relatifs en cours de rotation.

M. AUBERT. — Cette augmentation des besoins en phosphore pourrait-elle correspondre à un approfondissement de la zone exploitée par les racines ?

M. BRAUD. — Il y a certainement une relation entre l'utilisation ou l'efficacité des engrais et la profondeur d'exploitation du sol.

À Bambari, l'étude de la courbe d'action des engrais a été étudiée en culture motorisée et en culture manuelle. Les résultats sont, a priori, assez surprenants : la réponse à la fumure en effet direct sur le cotonnier est plus faible en culture motorisée qu'en culture traditionnelle. Il est vraisemblable que dans le premier cas le sol est exploité plus profondément par le système racinaire et que l'effet relatif de la fertilisation minérale s'en trouve diminué. Notons cependant que la somme des effets directs et résiduels est identique dans les deux modes d'exploitation.

M. CHAMINADE. — L'application de la fumure minérale est vraisemblablement une des premières préoccupations de l'agronome en milieu tropical, mais il doit l'envisager d'abord en fonction des sols eux-mêmes. Ceux-ci présentent des déficiences et des carences minérales souvent très marquées que l'agronome doit s'efforcer de corriger. M. BRAUD a donné dans son exposé de nombreux exemples de correction mais je voudrais insister sur l'aspect rentabilité de ce type d'opération.

Lorsque l'on corrige une carence fondamentale d'un sol, c'est un véritable investissement que l'on crée, c'est une création de fertilité ; cette forme d'investissement est d'ailleurs quelquefois difficile à faire comprendre aux non-

agronomes. L'amortissement de ce capital doit être envisagé dans un ensemble de cultures d'une durée d'autant plus longue que l'on conservera cette fertilité par des fumures d'entretien correctes, évidemment plus réduites que la première. Le capital investi au départ doit donc être considéré comme amorti non pas en un an, mais en dix ans et peut-être même davantage. Je peux donner en exemple les rizières de Madagascar dans lesquelles des rendements record ont été obtenus : la fumure de redressement aurait été amortie en un an par 2 400 kg/ha de paddy, ce qui est évidemment très difficile à obtenir, mais amortie sur deux ans, cela ne représentait plus que 1 200 kg/ha. La rentabilité est donc très satisfaisante si l'on fait un bilan sur plusieurs années. La création d'un capital fertilité est certainement la meilleure façon d'aborder le problème de la rentabilité de la fumure minérale.

M. RICHARD. — Tous les agronomes sont d'accord sur le principe très général du redressement et de l'entretien de la fertilité minérale d'un sol. C'est un principe qui, du point de vue technique, s'applique tant au milieu tempéré qu'au milieu tropical. Toutefois les conditions économiques de certaines régions peuvent s'opposer à la notion de rentabilité à long terme incluse dans le principe de la fumure de redressement.

Deux caractéristiques principales du milieu cotonnier en Afrique imposent la recherche d'une rentabilité immédiate : l'instabilité des cultures et l'auto-consommation de celles d'entre elles en rotation avec le cotonnier. La culture cotonnière se pratique encore trop souvent sous une forme itinérante, l'emplacement des cultures et leur succession ne suivant pas un ordre logique. L'assolement et les rotations d'une région dépendent des besoins des cultivateurs, de la fertilité des terres et des durées de jachère, pour ne retenir que les raisons purement agronomiques : l'instabilité des cultures est donc une des caractéristiques du milieu agricole cotonnier. En outre, ce sont généralement des cultures vivrières qui succèdent au cotonnier dans la rotation, celles-ci sont auto-consommées ou ne donnent lieu qu'à de faibles transactions internes ; le cotonnier est alors la seule culture procurant une trésorerie au cultivateur.

L'impossibilité d'un amortissement à long terme et le prix élevé des engrais nous obligent à limiter la fumure aux seuls éléments utiles et directement rentables sans tenir compte de l'épuisement du capital sol pour les autres éléments. Nous sommes consciente de l'imperfection de la solution proposée que nous considérons comme transitoire.

Cette solution est cependant un facteur de progrès. Lorsque l'on apporte une fumure aux cotonniers, les arrière-effets sont souvent très importants, notamment avec le phosphore. M. BRAUD nous en a signalé de nombreux exemples ; les cultures vivrières succédant au cotonnier ont alors un rendement accru, cet accroissement vite remarqué par le cultivateur est une première approche de la notion de rentabilité à long terme et de stabilisation des cultures. Par ailleurs, l'utilisation des engrais améliore la trésorerie du cultivateur et lui permet d'envisager un meilleur équipement agricole. Ces divers avantages de la fertilisation minérale du cotonnier ne sont pas des vues de l'esprit, ils correspondent à des observations objectives réalisées tant au Tchad qu'au Cameroun et au Mali. On peut espérer que cette évolution du milieu agricole se poursuivra et que l'on pourra envisager l'application du principe de la fumure de redressement et d'entretien énoncé par M. CHAMINADE.

M. CHAMINADE. — Je comprends très bien les difficultés que présentent les calculs de rentabilité sur les cultures auto-consommées. Peut-être faudrait-il se placer alors au niveau d'une économie nationale. Je me souviens d'une réunion tenue à M'BAMBEY au cours de laquelle le président SENGHOR signalait que le Sénégal importait chaque année pour 4 milliards de produits vivriers. Devant un tel déficit, il est essentiel pour un pays d'accroître sa production même si celle-ci doit être auto-consommée.

M. RICHARD. — Ce point de vue nous conduit à envisager le financement des engrais non plus au seul niveau du cultivateur mais également à celui de l'économie nationale. Une participation même importante de l'Etat à l'achat des engrais est parfaitement justifiée et ne s'apparente pas à la politique du cadeau justement décriée. La fertilisation minérale est actuellement en Afrique une opération d'intérêt national à laquelle chacun doit participer à son niveau. Si ce principe était accepté, nous pourrions alors avoir une politique de fertilisation plus ambitieuse et plus conforme aux principes généraux de l'agronomie.

M. LOMBARD. — Dans le domaine de la rentabilité, je voudrais préciser le souci de la C.F.D.T. de réduire le prix de revient de la fumure auprès du cultivateur. En ce qui concerne l'azote, l'utilisateur des tourteaux de graine de coton peut être envisagée en considérant l'unité d'azote de ce tourteau comme équivalente à celle du sulfate d'ammoniaque ou de l'urée. Pour la fumure phosphatée, il serait bon de préciser les possibilités d'utilisation des phosphates naturels. Autrefois, à l'Office du Niger, nous avons eu des résultats non négligeables avec ces phosphates et l'on pouvait espérer les utiliser à la place des phosphates bicalciques en monocalciques. Au Maroc également, en reprenant ces essais, nous étions arrivés aux mêmes conclusions. Actuellement, au Sénégal, des essais conduits depuis deux ans montrent une certaine équivalence d'action entre les phosphates naturels et les formes plus solubles à quantités égales de  $P_2O_5$ . Même si les phosphates naturels se présentent pas une efficacité totale en première année, le bilan sur plusieurs années est certainement satisfaisant.

M. BRAUD. — Le problème de l'utilisation des phosphates naturels n'a jamais été perdu de vue par l'I.R.C.T. Nos essais n'ont cependant pas montré en première année une efficacité identique du  $P_2O_5$  suivant sa provenance : il faut, au contraire, environ deux à trois fois plus de phosphate tricalcique que de phosphate bi ou monocalcique pour avoir un effet identique. Le prix de revient du transport en Afrique rend prohibitif l'emploi de très fortes doses d'engrais. Rappelons que nous nous plaçons actuellement dans le cadre d'une agriculture itinérante où nous sommes obligés d'amortir une fumure sur une seule année cotonnière. Les exemples d'utilisation des phosphates naturels à l'Office du Niger et au Maroc sortent de ce cadre : il est certain que dans ces deux milieux très stables il est tout à fait normal d'espérer une plus-value sur plusieurs années. C'est pour cette raison également que nous poursuivons l'étude de ces phosphates naturels à l'I.R.C.T. pour pouvoir préconiser leur utilisation dans le cas d'une culture stable et intensive qui est le but général de nos programmes d'agronomie.

M. HENIN. — Je désirerais savoir si vous avez des informations concernant l'utilisation des éléments par la plante au cours de sa croissance. Vous nous avez cité bien des essais où ces informations auraient été très utiles, notamment les essais de dates d'apport des engrais et les essais de pulvérisation foliaire d'azote. Il est possible, par ailleurs, que l'apport de la fumure sur un sol travaillé superficiellement réponde mieux que sur un sol travaillé en profondeur en raison des exigences de la jeune plante au début de son développement.

M. BRAUD. — Cette étude fondamentale a été abordée par un certain nombre de chercheurs étrangers ; je ne citerai que les résultats les plus récents obtenus notamment au Brésil où l'on a montré que le rythme d'absorption de tous les éléments, excepté peut-être le magnésium, était maximal au cours d'une période se situant entre 20 et 60 jours après la germination. Le rythme d'absorption des éléments a été estimé en calculant par période de cinq jours la quantité absorbée en % de la quantité totale utilisée par la plante.

## CONCLUSION

*The variety of methods proposed for the study of mineral fertilization brings perfectly to light its complexity. In the method described earlier, our constant aim has been to put the problems to be solved in the most simple way and to eliminate any useless study.*

*This is the reason why the first question we are asking is to know whether mineral fertilization offers an immediate interest. Once this is established, it is irrelevant to study simultaneously all the mineral elements that can intervene.*

*The research of the elements that are naturally present at a satisfactory level in the soil seems*

*to be the second problem to work out. Their knowledge will permit to eliminate them from the study of the fertilizer optimal composition which ends the qualitative part of our method.*

*Knowing the fertilizer optimal composition in the various usual proportions, we reach the concern of farmers all over the world: make as much money as possible by using fertilizers. The quantitative phase of our study will aim at determining the dose of fertilizer yielding maximum profit.*

*Fertilization is one of the means available to us for developing production. Cotton growing, a cash crop, permits to use it. However, our predominant*

concern, taking in account the present conjuncture, is to ensure maximum and immediate return from this fertilizer. Any element which does not bring an additional production is eliminated from the fertilizer.

We are fully aware of the danger that lies in this

option. This is the reason why we are studying what we call the dynamic aspect of mineral fertilizer. We feel we are sufficiently ahead of extensive application to ward off danger represented by this policy and to find simple remedies to be applied in due course of time.

## CONCLUSION

La variedad de métodos propuestos para el estudio de la fertilización mineral ilustra perfectamente la complejidad de ésta. En el método que acabamos de exponer, nuestra preocupación constante ha sido plantear los problemas a resolver de la manera más sencilla posible y eliminar todos los estudios inútiles.

Es la razón por la cual la primera pregunta que nos hacemos es la de saber si la fertilización mineral presenta un interés inmediato. Establecido esto, queda fuera de propósito estudiar simultáneamente todos los elementos minerales que pueden intervenir.

La investigación de los elementos naturalmente presentes en grado suficiente en el suelo, parece el segundo problema que se ha de resolver. Su conocimiento permitirá eliminarlos del estudio de la composición óptima de la estercoladura que termina la parte cualitativa de nuestro método.

Conociendo la composición óptima de la estercoladura en las diferentes dosis usuales, llegamos a la misma conclusión que los agricultores de todo el

mundo : ganar el máximo de dinero utilizando los abonos. La fase cuantitativa de nuestro estudio tendrá por objeto definir la dosis de abono que ofrece la rentabilidad máxima.

La fertilización es uno de los medios que se nos ofrecen para desarrollar la producción. El cultivo algodonero, cultivo de renta, permite su utilización. Sin embargo, nuestra preocupación dominante, teniendo en cuenta la coyuntura actual, es asegurar la rentabilidad máxima e inmediata de esa estercoladura. Todo elemento que no aporta inmediatamente un acrecentamiento de la producción queda eliminado de la estercoladura.

Nos damos cuenta perfectamente del peligro que presenta esta opción. Es la razón por la cual estudiamos lo que nosotros llamamos el aspecto dinámico de la estercoladura mineral. Estimamos estar suficientemente en avance sobre la vulgarización, para prevenir el peligro representado por esta política y encontrar remedios simples para aportar en tiempo útil.