

M. BRAUD

**LA FERTILISATION D'UN SYSTÈME DE CULTURE
DANS LES ZONES COTONNIÈRES SOUDANO-SAHÉLIENNES**

Institut de
Recherches du
Coton et Textiles
exotiques (IRCT,
France)

Supplément à COTON ET FIBRES TROPICALES, 1987
Série Documents, Etudes et Synthèses, n° 8

Supplément à « *Coton et Fibres tropicales* »

SÉRIE « DOCUMENTS, ÉTUDES ET SYNTHÈSES »

- N° 1. **J. CAUQUIL et P. VINCENS.** — Maladies et ravageurs du cotonnier en Centrafrique : expression des dégâts et moyens de lutte. 32 pages. Prix de vente : 40 F.

Des données collectées de 1973 à 1981 sur un réseau régional de parcelles à trois niveaux de protection, ainsi que des sondages en milieu paysan, ont permis d'évaluer les dégâts et d'adapter les moyens de lutte aux conditions locales et aux différents stades de développement de la plante : levée, phase végétative et phase reproductive. Ceci aboutit à une intervention chimique raisonnée sous la forme d'un calendrier des applications d'insecticides nécessaires.

En annexe, la liste des microorganismes, des maladies et des principaux ravageurs. 50 références bibliographiques.

- N° 2. **M. CRÉTENET.** — Contribution à l'étude des systèmes de production au Mali. Mise au point d'une méthodologie applicable au suivi de cas en motorisation inter-médiaire. 41 pages. Prix de vente : 40 F.

Proposition d'une méthodologie de collecte et de dépouillement de données techniques et économiques recueillies sur trois exploitations agricoles motorisées produisant du coton. Le traitement informatisé de ces données doit aboutir à un conseil de gestion individualisé.

- N° 3. **B. HAU, E. KOTO et A. ANGELINI.** — Le cotonnier « glandless » en Côte-d'Ivoire. 19 pages. Prix de vente : 40 F.

Cette plaquette traite successivement :

- 1) de la sélection de variété sans gossypol, comparables aux parents récurrents aux points de vue du rendement et de la qualité de la fibre ;
- 2) de leur sensibilité aux ravageurs nécessitant une protection insecticide précoce, inconvenient qui sera levé par voie de recherche génétique ;
- 3) d'une évaluation du marché du tourteau sans gossypol, basée sur des essais en usine et justifiant le développement de telles variétés, en attendant la mise au point d'un produit utilisable en alimentation humaine.

- N° 4. **G. SÉMENT.** — La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte-d'Ivoire. Neuf années d'expérimentation et d'observations multilocales (1973-1982). 40 pages. Prix de vente : 40 F.

Les pratiques culturales actuelles entraînent une désaturation importante des sols en Ca et Mg et une diminution des teneurs en matière organique. Les nombreuses données recueillies en observant les caractéristiques des sols, ainsi que par l'expérimentation, permettent d'approcher la définition d'une politique de la fertilité, sans laquelle on ne peut moderniser et stabiliser les systèmes agraires : elle doit intégrer les facteurs de fertilité autres que l'utilisation des fertilisants habituels, et s'adapter aux diverses situations.

- N° 5. **J. BOULANGER, J. C. FOLLIN et J. BOURELY, 1984.** — Les Hibiscus en Afrique tropicale. 1^{re} partie : Les conditions particulières de la production du kénaf et de la roselle. 81 pages. Prix de vente : 60 F.

Bilan d'une quarantaine d'années d'observations et d'essais effectués par l'I.R.C.T. sur *Hibiscus cannabinus* et *Hibiscus sabdariffa* var. *altissima*. La situation économique difficile de leur culture en vue de la production de fibres textiles pourrait s'améliorer par des valorisations nouvelles (pâte à papier par exemple). Après l'exposé des particularités de ces plantes, notamment leur morphologie et leurs exigences écologiques, le point est fait sur l'adaptation des variétés aux conditions édaphiques, leur sensibilité aux maladies et autres parasites, ainsi que sur les améliorations réalisées et à réaliser dans ces domaines.

- N° 6. **L. RICHARD et B. DJOULET, 1985.** — La fertilité des sols et son évolution en zone cotonnière du Tchad. 21 pages. Prix de vente : 40 F.

En 1^{re} partie : L'observation sur 10 années des rendements en coton et des caractéristiques du sol sous diverses fertilisations en culture continue de cotonnier et dans des successions cotonnier-sorgho avec ou sans jachère montre le rôle prépondérant de la matière organique et celui du potassium.

En 2^e partie : Des essais multilocaux d'engrais chez les cultivateurs ont permis, par des analyses de sol, une description agro-pédologique régionale et une explication de la variabilité des rendements.

En 3^e partie : Deux systèmes de culture à base de cotonnier et plantes vivrières sont testés en vraie grandeur dans le respect de la fertilité du sol. Dans l'un, la motorisation permet le recyclage de la biomasse (jachère naturelle et résidus de culture). Dans l'autre, en culture à traction animale, la fertilisation est basée principalement sur les apports de terre de parc à bétail. Premières observations des rendements et des caractéristiques du sol.

N° 7. J. C. FOLLIN, 1986. — La sélection du cotonnier (*Gossypium hirsutum*) pour la résistance aux maladies présentes en Afrique au Sud du Sahara.

Chez le cotonnier *Gossypium hirsutum* L., peu de maladies peuvent être maîtrisées par l'utilisation de pesticides et la recherche de la résistance variétale est d'une importance primordiale.

Les résistances variétales, recherchées à l'origine contre des pathogènes étudiés séparément, ont maintenant tendance à être regroupées au sein d'un même génome par différentes techniques de sélection. Ces techniques sont fondées, soit sur les principes classiques de sélection génétique (résistance multiple), soit sur les corrélations existant parfois entre différentes résistances à des pathogènes ou à des stress (résistance multi-adversité). L'origine des résistances aux différentes maladies chez *G. hirsutum* est rarement le résultat d'hybridations intraspécifiques. D'autres *Gossypium*, diploïdes ou tétraploïdes, ont très souvent été utilisés.

L'auteur passe en revue la sélection pour la résistance aux maladies fongiques et bactériennes : détérioration des graines et dommages à la levée, complexe *Fusarium* — nématodes galligènes, verticilliose, maladies foliaires, bactériose, pourritures de capsules, et aux maladies attribuées à des virus et à des mycoplasmes : leaf curl, mosaïque, maladie bleue et virescence florale.

En annexe sont indiquées les techniques d'inoculation artificielle les plus pratiquées pour la sélection de plants résistants à la bactériose, à la fusariose et à la verticilliose.

Ces brochures sont en vente à l'I.R.C.T.-C.I.R.A.D., 2, rue Louis David, 75116 Paris.

SOMMAIRE

Introduction	7
1^{re} partie : Les bases de la fertilisation d'un système de culture	8
1. Demande = Offre	8
— Evaluation de la demande du cotonnier	8
Exportations minérales	10
Mobilisations minérales	10
— Evaluation de l'offre	12
Evaluation de l'offre par le sol	12
Evaluation de l'offre externe	13
2. Maintien du potentiel de production	14
— Symptômes foliaires	14
— Analyse de la production	15
— Analyse du sol	15
— Analyses foliaires	15
3. Les contraintes	16
— Contraintes économiques	16
— Contraintes liées à la parcelle et à la technicité du paysan	16
— Contraintes liées à l'écologie	16
4. Méthodologie de la fertilisation d'un système de culture	17
— Fixation d'un plan de fumure initial	17
— Evaluation des effets du plan de fumure initial sur le potentiel de production du système de culture. Corrections	18
Annexe	18
Références bibliographiques	19
2^e partie : Le diagnostic foliaire du cotonnier	20
1. Historique du diagnostic foliaire du cotonnier	20
2. Choix de l'organe à prélever	21
— Age de la feuille	21
— Age du plant et position du plant	21
— Type d'organe	22
— Effet de dilution	22
3. Modalités du prélèvement	23
— Conditions de prélèvement	23
— Dates, nombre de feuilles et de prélèvements	23
4. Traitement des échantillons	23
5. Eléments à déterminer à l'analyse	23
— Diagnostic foliaire standard I.R.C.T.	23
— Diagnostic pétioleaire	23
6. Interprétation des résultats	23
— Cas de l'azote	24
— Cas du phosphore	25
— Cas du soufre	25
— Cas du potassium	26
— Autres éléments	26
7. Conclusion	27
Références bibliographiques	27

3 ^e partie : Exemples d'application de la méthode de fertilisation d'un système de culture.	29
1. Elaboration d'un plan de fertilisation d'un système de culture intensif = recherche du cap de départ.	29
2. Evaluations de l'évolution du potentiel de production d'un système de culture. Pilotage à vue	30
— Acidification des sols par une fumure minérale	30
— Le problème du potassium sur terre de Barre au sud du Bénin (Bozinkpé, Aplahoué)	30
— Le problème du phosphore au Burkina-Faso (cas de Kari-Dedougou)	31
— Suivi analytique de la fertilité des parcelles d'un système de culture ; Kolombada au Mali	31
3. Elaboration de grilles de décisions proposant des solutions alternatives	32
— La fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire selon la pluviosité, la date du semis effective et le type de désherbage	32
— La fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire selon la protection phytosanitaire	34
4. Conclusion	34
Références bibliographiques	35

La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes

M. Braud

Directeur du Département IRCT-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier, France

INTRODUCTION

Les premières expériences de fertilisation du cotonnier ont été réalisées par l'I.R.C.T. en 1950 sur la station de Bambari (R.C.A.). Depuis cette date, un certain nombre d'étapes significatives ont été franchies dans ce domaine, qui peuvent se résumer ainsi :

- 1956 — Apparition dans un cadre expérimental de l'effet des engrais azotés permettant d'identifier la déficience en soufre simultanément à Bambari (R.C.A.), Bebedjia (Tchad), et Madingou (Congo-Brazzaville).
- 1957 — Premières ébauches d'une méthodologie originale pour l'étude de la fertilisation minérale du cotonnier : variantes systématiques, puis méthode des coupes.
- 1958 — Début des études sur le diagnostic foliaire.
- 1959 — La fertilisation minérale est abordée et suivie à l'échelle du système de culture (rotations cotonvivières) à Bambari (R.C.A.).
- 1963 — Premières observations sur les symptômes de déficience en potassium.
- 1965 — Poursuite des efforts de méthodologie par la détermination des déficiences minérales avec une expérimentation au champ selon la méthode soustractive. La pérennisation de ce type d'essais à partir de 1967 apporte des informations précieuses sur l'évolution de ces déficiences en fonction du temps de culture.
- 1967 — Mise en évidence des symptômes de la déficience en bore sur le cotonnier : Bebedjia et Tikem (Tchad), puis Bambari (R.C.A.).
- 1970 — Début du contrôle de la nutrition azotée du cotonnier par analyses pétioles.
- 1971 — Débuts significatifs de la prise en compte des résultats d'analyse de sol à des fins de diagnostic de déficience ou d'évolution de fertilité. Cet effort va marquer particulièrement la décennie.
- 1972 — Proposition d'un nouveau mode d'interprétation des analyses foliaires sous forme de fonctions de productions.
- 1973 — Début de prise en compte de l'interprétation des essais pérennes en termes de bilans minéraux.

Ce bref rappel historique, non exhaustif, montre que les agronomes de I.R.C.T. ont abordé la fertilisation minérale de la sole cotonnière sous des aspects très complémentaires :

- résultats agronomiques ;
- observations visuelles sur le cotonnier ;

- diagnostics foliaire et pétiole ;
 - résultats d'analyses de sols ;
 - bilans minéraux ;
- en pratiquant une démarche systémique, avant la mode sinon la lettre, par :
- une étude de la fertilisation du système de culture ;
 - une approche en termes de bilans minéraux.

Cette vaste expérience, dépassant très largement la seule culture cotonnière, nous autorise à présenter cette étude sur la fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes. Cette histoire, commencée à l'I.R.C.T. en 1950, est loin d'être terminée. En conséquence, ces travaux ne représentent qu'une étape, car des progrès sans doute plus importants que ceux déjà accomplis sont possibles, et donc attendus, en faisant largement appel soit à des connaissances et des outils provenant d'autres thèmes (économie de l'eau, par exemple), soit à des outils de traitements de données ou d'observations, inconnus il y a seulement dix ans. En d'autres termes, malgré les 36 ans d'expérience acquise, ils ne constituent qu'une base de départ.

Cette étude comporte trois étapes :

1^{re} partie. — Les bases de la fertilisation d'un système de culture passant en revue les outils utilisables et proposant une stratégie. Elle veut être d'abord opérationnelle. De ce fait, on ne prend en compte que les outils pour lesquels le rapport intérêt/coût est véritablement attractif, afin de les rendre utilisables à l'échelle du développement. Il en résulte que les mécanismes mis en cause sont supposés connus par ailleurs et ne font l'objet que de rappels succincts et non exhaustifs.

2^e partie. — Elle porte essentiellement sur les diagnostics foliaire et pétiole du cotonnier qui ont fait l'objet de recherches relativement importantes à l'I.R.C.T., débouchant sur des conceptions d'interprétations des analyses foliaires originales, encore susceptibles de larges améliorations.

3^e partie. — Quelques exemples d'application de cette stratégie et de ces outils sont proposés. Il ne s'agit bien que de quelques exemples, présentés sommairement à titre d'illustration de la démarche. On se reportera à la bibliographie pour des examens plus détaillés ou différents.

1^{re} PARTIE

LES BASES DE LA FERTILISATION D'UN SYSTÈME DE CULTURE

Le problème posé est la fertilisation d'un système de culture permanent où le cotonnier entre en rotation avec d'autres cultures annuelles sur différentes parcelles. Il doit être résolu à l'échelle d'une parcelle sur une période de temps qui peut varier d'une situation à l'autre, mais qui est toujours supérieure à celle d'une campagne annuelle.

Les bases nécessaires à la résolution de ce problème reposent sur les principes suivants :

- satisfaire sur une période donnée la relation : demande des plants = offre du milieu + apports extérieurs ;
- assurer le maintien du potentiel de production sur une longue période pour rendre le système de culture réellement permanent ;
- prendre en compte un certain nombre de contraintes de natures diverses qui amènent à raisonner cette fertilisation principalement en termes de risques.

1. DEMANDE = OFFRE

Nous limitons notre exposé au cas particulier du cotonnier et à quelques exemples annexes, mais il peut être étendu à l'ensemble des plantes assolées avec celui-ci.

Evaluation de la demande du cotonnier

L'évaluation des besoins en éléments nutritifs d'une culture de cotonniers s'effectue selon deux aspects :

- estimation des exportations minérales par la culture ;
- mobilisation des éléments minéraux à différentes époques du développement.

Exportations minérales

La majorité des références bibliographiques donnant des estimations d'exportations minérales du cotonnier les rap-

portent à la production de coton-graine. Une extrapolation de ces données à une situation précise ne peut se faire qu'avec une précision faible, comme le montre la série de données figurant au tableau 1.

Le tableau 2 (M. DEAT *et al.*, 1976, II) confirme la très faible relation existant entre les rendements en coton-graines et les exportations d'éléments minéraux par les parties aériennes du cotonnier, dans une situation bien précise (Maroua, Nord-Cameroun, 1975).

La raison principale d'une telle imprécision réside dans une grande variabilité du rapport coton-graines/biomasse sous la dépendance de facteurs propres à toutes les cultures (variabilité, milieu écologique, etc.) et d'un facteur particu-

TABLEAU 1. — *Éléments minéraux exportés par une culture de cotonnier (kg pour 100 kg de coton-graines)*

Pays	Variétés	Rendement en coton-graines kg/ha	N	P	S	K	Ca	Mg
Grèce (Christidis)	?	1 780	2,7	0,3	—	1,5	0,4	1,3
Cameroun	BJA 592	2 148	3,8	0,7	0,6	4,2	1,6	0,6
Cameroun	3 372	2 623	2,5	0,6	0,3	3,4	0,6	0,3
Côte-d'Ivoire	44-2	1 675	3,6	0,5	—	2,9	1,1	0,5
Côte-d'Ivoire	Divers	1 624	2,7	0,4	—	2,3	0,8	0,3
Dahoméy	Divers	1 244	3,0	1,0	0,3	2,5	1,2	0,5

TABLEAU 2. — *Corrélation entre rendement en coton-graines et exportations d'éléments minéraux par les parties aériennes des cotonniers (Maroua, Cameroun, 1975).*

Éléments minéraux	N	S	P	K	Ca	Mg
Coefficients de corrélation	0,301	0,460	0,349	0,129	-0,042	0,052
Seuil de signification à P = 0,05	r = 0,632					

lier à la culture cotonnière, à savoir la plus ou moins bonne protection phytosanitaire.

A titre d'exemple, l'histogramme ci-dessous montre l'importance de cette variation dans une situation donnée : même variété, faible variation du type de sol, climat identique. Les seules sources de variations sont la qualité variable du contrôle phytosanitaire et la variabilité du potentiel de production du fait des techniques culturales (Bebedjia, 1974).

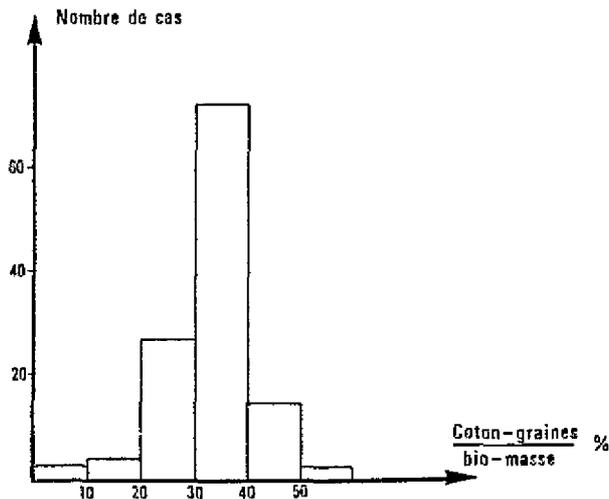


FIGURE 1. — Distribution du rapport $\frac{\text{coton-graines}}{\text{biomasse}}$.

Comme il n'est pas toujours possible de rapporter de telles observations à un cas précis, nous donnons dans le tableau 3, à titre d'exemple seulement, les valeurs moyennes des exportations minérales du cotonnier calculées à partir des données recueillies par l'I.R.C.T., assorties de leur coefficient de variation pour bien en indiquer les limites.

Ajoutons que ces exportations peuvent être largement dépendantes des conditions écologiques particulières d'une campagne agricole, dans un lieu donné, comme le montre la figure 2 comparant l'évolution des exportations minérales de potassium par le cotonnier à Bebedjia (Tchad), pour trois années successives.

Le tableau 4 montre la variabilité enregistrée dans une série de trois résultats pour une même situation, mais correspondant à trois campagnes successives.

TABLEAU 3. — Exportations minérales moyennes du cotonnier en conditions pluviales africaines avec ou sans restitutions des résidus de récolte.

Exportations	Éléments					
	N	S	P	K	Ca	Mg
Exportation par le coton-graines en kg d'éléments pour 100 kg/ha de coton-graines	1,92	0,17	0,38	0,79	0,12	0,21
C.V. %	10,7	81,0	25,9	17,1	37,5	13,2
Exportations totales en kg d'éléments pour 100 kg/ha coton-graines	2,95	0,36	0,53	2,69	0,91	0,43
C.V. %	18,1	74,8	32,1	28,2	38,9	25,6

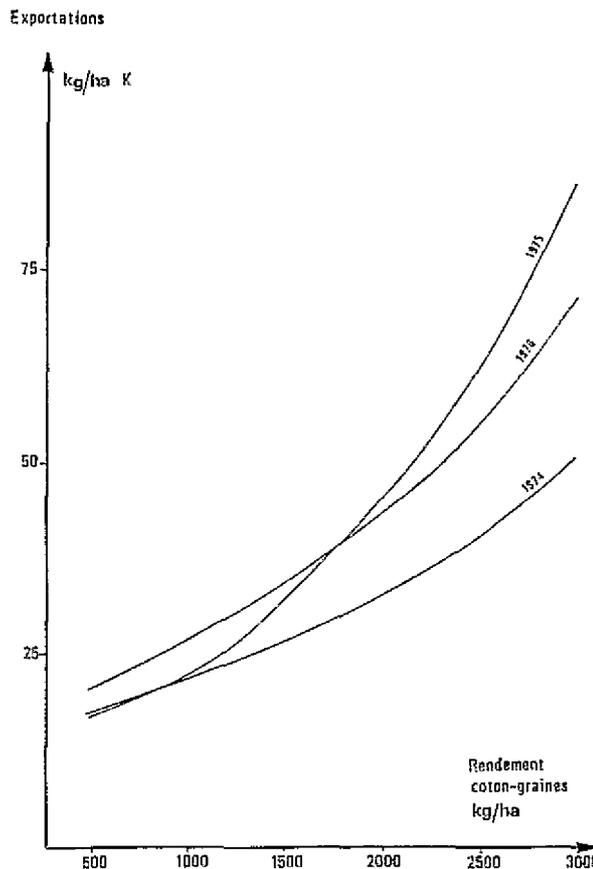


FIGURE 2. — Comparaison des exportations de potassium pour 3 années dans un même lieu. I.R.C.T. Tchad (d'après M. BRAUD, 7).

TABLEAU 4. — Exportations minérales d'une culture de cotonnier rapportées à 100 kg de coton-graines (c.g. = coton-graines ; app. aer. = appareil aérien)

Campagne	Organe	N	S	P	K	Ca	Mg
1975	c.g.	1,92	0,12	0,34	0,82	0,11	0,20
	app. aer.	0,36	0,10	0,14	1,27	0,50	0,10
1976	c.g.	2,12	0,02	0,34	0,78	0,08	0,23
	app. aer.	0,76	0,05	1,15	1,54	0,73	0,19
1977	c.g.	2,06	0,23	0,39	0,80	0,09	0,25
	app. aer.	0,63	0,12	0,08	1,09	0,48	0,18
Moy. 75-77	c.g.	2,03	0,12	0,36	0,80	0,09	0,23
	app. aer.	0,58	0,09	0,12	1,30	0,57	0,16
C.V.	c.g.	5,1	5,2	8,1	2,5	16,4	11,1
	app. aer.	35,0	40,1	30,7	17,4	2,4	35,5

TABLEAU 5. — Comparaison des exportations d'éléments minéraux par les cotonniers, les sorghos et les arachides (en kg d'éléments pour 100 kg de produits récoltés)

Pays	N		P		S		K		Ca		Mg	
	Cotonnier	Sorgho	Cot.	Sor.								
Cameroun	2,12*	0,60	0,39	0,26	0,44	0,24	3,43	3,68	1,47	0,36	0,45	0,32
1972	1,72**	1,31	0,35	0,20	0,43	0,08	0,75	0,44	0,12	0,03	0,19	0,12
	3,84***	1,91	0,74	0,46	0,87	0,32	4,18	4,12	1,55	0,39	0,64	0,44
Cameroun	0,71	0,43	0,20	0,09	0,21	0,09	2,58	1,64	0,50	0,23	0,14	0,18
1974	1,83	1,44	0,37	0,29	0,11	0,11	0,77	0,49	0,19	0,01	0,20	0,14
	2,54	1,87	0,57	0,38	0,32	0,20	3,35	2,13	0,69	0,24	0,34	0,32
Dahomey	1,34	1,43	0,35	0,15	0,20	0,37	2,01	4,54	1,12	1,77	0,33	1,10
1973	1,66	1,86	0,62	0,17	0,14	0,14	0,51	0,47	0,09	0,12	0,18	0,22
	3,00	3,29	0,97	0,32	0,34	0,51	2,52	5,01	1,21	1,89	0,51	1,32
	Arachide		Ar.		Ar.		Ar.		Ar.		Ar.	
Dahomey	1,09		0,08		0,06		0,95		0,63		0,35	
1973	1,73		0,09		0,06		0,35		0,05		0,08	
	2,82		0,17		0,12		1,30		0,68		0,43	

* : Parties aériennes.

** : Récoltes.

*** : Total.

Enfin, le tableau 5 compare les exportations d'éléments minéraux des trois principales cultures assolées dans trois situations particulières, toujours seulement à titre d'exemple.

Traduites en valeurs absolues, les données du tableau 5 sont résumées dans le tableau 6.

Ces données illustrent, sous une autre forme, la très grande variabilité de ce type d'information, au point qu'il est difficile d'affirmer que telle culture est plus épuisante que telle autre !

En résumé, nous avons donc là un type d'information à utiliser avec une très grande prudence.

TABLEAU 6. — Exportations minérales de cotonniers, sorghos et arachides dans trois situations particulières : Cameroun 1972 et 1974, Bénin 1973.

Situations	Cultures	N	S	P	K	Ca	Mg
Cameroun 1972	cotonniers	32,6	12,6	15,9	89,9	34,1	13,6
	sorghos	78,6	13,2	18,9	169,9	18,0	18,1
1974	cotonniers	66,6	8,6	14,8	88,0	16,1	8,8
	sorghos	65,3	7,3	13,1	74,5	8,3	11,1
Bénin 1973	cotonniers	37,3	4,2	12,0	31,4	15,0	6,4
	sorghos	26,5	4,1	2,6	40,4	16,3	10,7
	arachides	77,9	3,3	4,8	36,0	18,7	11,9

Mobilisations minérales

Les exportations minérales donnent une image ponctuelle en fin de végétation, qui peut fournir une indication, sinon une orientation, dans une étude de bilans minéraux. Mais, avons-nous avec cette information une image exacte de ce qui se passe en cours de végétation ? Pour avoir une réponse à cette question, il est nécessaire d'étudier les mobilisations partielles ou globales en éléments minéraux durant le cycle cultural.

A titre d'exemple, nous illustrons deux types de résultats communiqués par E. MALAVOLTA *et al.* (14) par les figures 3 et 4, qui concernent les mobilisations décadaires pour l'azote et le potassium exprimées en % du total. Ces deux courbes sont représentatives d'une part des anions et, d'autre part, des cations. Mais signalons qu'elles ont été

obtenues en conditions de cultures hydroponiques. On y note, dans les deux cas mais avec une nuance, un maximum qui se situe dans le mois précédant la floraison.

Plus récemment, une étude de même nature a été conduite par DOGNIN à Bébédjia au Tchad (1977). Les résultats, non exploités à ce jour, sont résumés dans le tableau 7 et illustrés par les figures 5 et 6.

Ces résultats montrent que :

- les mobilisations minérales sont dépendantes des conditions de milieu. A Bébédjia, en conditions réelles, le maximum de mobilisation se situe beaucoup plus tard dans le cycle, dans la période 100-120 jours pour l'azote, par exemple.
- le volume des mobilisations en cours de végétation peut être très largement supérieur au volume des exportations évaluées en fin de végétation. Cette observation est confirmée par des résultats analogues sur sorgho (ARRIVETS J., 1976, 1) et sur mil (SIBAND P., 1981, 21). Elle conduit à une prudence accrue dans l'exploitation des informations du type « exportations minérales ».

Il est dommage que ce type de recherche ne se soit pas multiplié, car ces informations seraient précieuses pour la conduite d'une fertilisation complémentaire, fractionnée en fonction de la demande de la plante et des contraintes écologiques diverses, pluviosité en particulier.

TABLEAU 7. — Mobilisations minérales d'une culture de cotonniers dans deux situations de milieu : riche et pauvre. Bébédjia, Tchad, 1977.

Dates (jour)	Situations	Mobilisations (kg/ha)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
30	riche	2,2	0,3	2,0	1,8	0,4	0,4
	pauvre	0,8	0,2	0,9	0,6	0,1	0,1
60	riche	19,0	3,9	19,2	20,3	3,5	1,7
	pauvre	12,1	2,7	14,1	12,4	2,2	1,5
80	riche	43,1	9,6	46,8	50,4	9,3	4,1
	pauvre	21,4	4,3	18,0	20,8	3,6	3,3
100	riche	66,7	12,6	57,9	59,5	12,8	5,8
	pauvre	39,7	8,9	41,9	36,8	7,2	6,3
120	riche	115,3	19,7	101,6	75,0	18,7	11,1
	pauvre	65,8	10,1	59,4	54,5	12,2	8,2
Récolte	riche	63,9	9,6	51,7	20,7	9,2	6,1
	pauvre	72,6	12,6	78,7	30,8	10,2	8,1

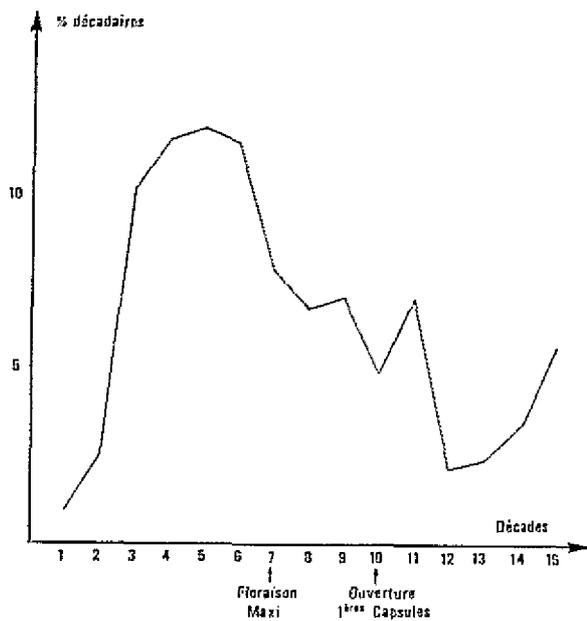


FIGURE 3. — Mobilisation de l'azote par le cotonnier (E. MALAVOLTA et al.).

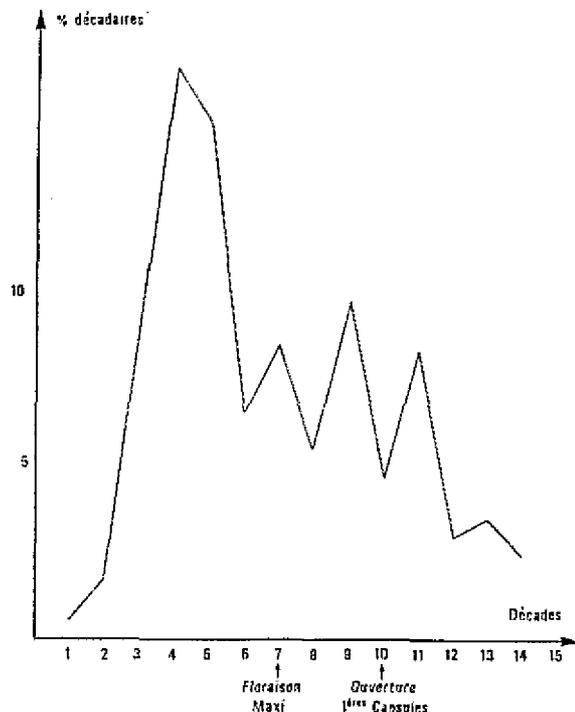


FIGURE 4. — Mobilisations décadaires du potassium par le cotonnier (E. MALAVOLTA, 14).

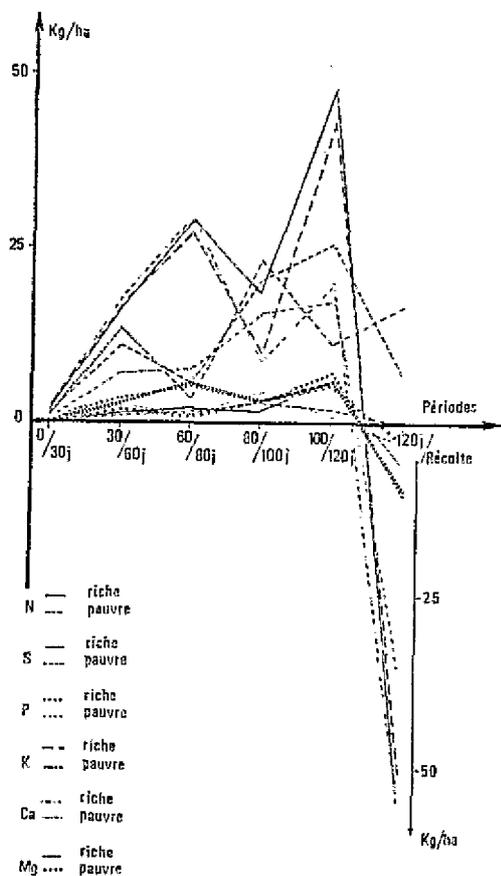


FIGURE 5. — Mobilisation des éléments minéraux par le cotonnier, IRCT, Tchad 1977, en sol riche et en sol pauvre. (M. BRAUD, 7).

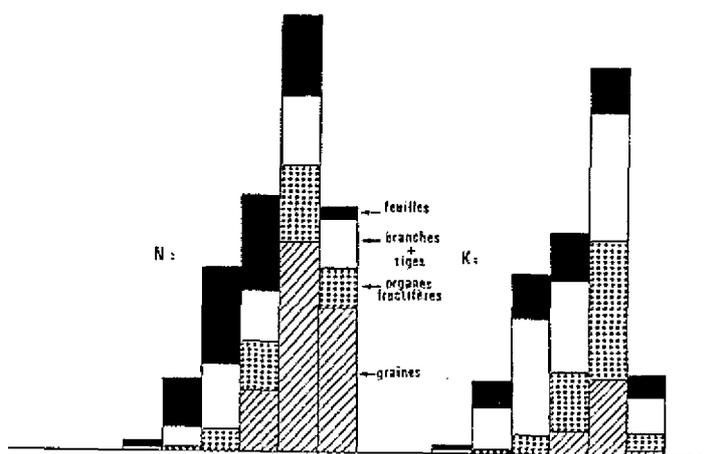


FIGURE 6. — Mobilisation de l'azote et du potassium en kg/ha pour une culture de cotonnier à différentes époques, Bébédjia (Tchad), 1977.

Evaluation de l'offre

Evaluation de l'offre par le sol

Les analyses de sol sont susceptibles de jouer un double rôle dans l'évaluation de l'offre par le sol :

- au moment de l'implantation du système, établir une pratique de départ qui représente le cap à suivre, fixé plus haut ;
- en phase de croisière, donner un certain nombre de repères à utiliser comme critères d'évaluation de l'évolution du potentiel de production.

L'attitude à adopter dans ce domaine consiste à déterminer le minimum d'informations nécessaires pour éviter de commettre, au départ, des erreurs un peu trop grossières, afin d'avoir un rapport coût/intérêt aussi faible que possible, en tous les cas compatible avec les objectifs du développement aux échelles où le conseiller de gestion est amené à intervenir. Des progrès importants sont encore à accomplir pour que l'on soit opérationnel sur ce plan et, en conséquence, nous nous limiterons aux éléments relativement fiables.

1° *pH* : le pH est une mesure de réalisation facile à mettre en œuvre à une grande échelle, mais relativement peu fiable en tant qu'indicateur du potentiel de production. Il est à prendre comme l'équivalent d'un signal de « danger » lorsqu'il atteint des niveaux trop bas, tels que signalés dans le tableau suivant :

pH	Situations	Références
5,4	Plaines côtières (Alabama)	ADAMS, PEARSON, DOSS (1967)
5,0	Rhodic palendult (Alabama)	DOSS et LUND (1975)
5,4	« Bladen clay loam »	FOY <i>et al.</i> (1967)
5,1	Alluvions récentes (Mali)	BABIN, cité par BOYER (1978)
5,0	Latosols (Centre Brésil)	BOYER (1978)
5,1	Alluvions récentes (Madagascar)	KILIAN, cité par BOYER (1978)
5,1	Ouganda	FOSTER, cité par BOYER (1978)
5,5	R.C.A., sols latéritiques Bambari I	BRAUD M. (1960)
5,2	R.C.A., sols latéritiques Bambari II	BRAUD M. (1960)

La cote d'alerte peut donc être fixée au voisinage de 5,0 ; en dessous, on devra faire face aux problèmes inhérents aux sols acides : toxicités aluminique et manganique, par exemple.

Cette détermination peut être envisagée dans deux cas différents :

- lors de l'implantation d'un système de culture, pour évaluer les risques immédiats, certaines déterminations complémentaires sont à envisager et les premières solutions à proposer ;
- en phase de croisière, pour évaluer les conséquences de la pratique de la fertilisation adoptée au départ sur le potentiel de production et, par voie de conséquence, les redressements à envisager dans cette pratique.

2° *Matières organiques*. — Le rôle de la matière organique est capital du triple point de vue :

- physique, en améliorant et stabilisant la structure du sol ;
- chimique, en agissant directement ou indirectement sur les conditions de la nutrition des plantes dans le sol ;
- biologique, en étant la base de la vie microbienne dans le sol, facteur important de la nutrition azotée des plantes.

On manque d'informations concrètes pour déterminer, avec la précision souhaitable, les niveaux critiques pour les principaux types de situations rencontrées. Des déterminations répétées à intervalles réguliers sont intéressantes, dans la mesure où elles permettent de suivre une évolution.

L'I.R.C.T. (RICHARD, L. ; 15) propose une détermination des risques de déficience potassique, en fonction de la teneur en matière organique et en potassium échangeable, donnée par la formule :

déficience K = $77,5 - 7,7 \text{ M.O. } \% (0-40 \text{ cm}) + 112,5 \text{ K éch.}, \text{ meq}/100 \text{ g}$ et illustrée par la figure 7.

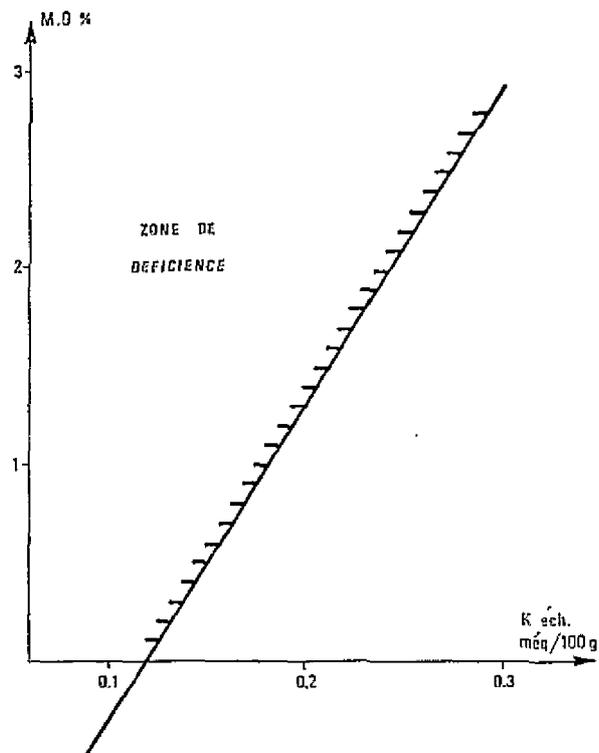


FIGURE 7. — Situation de déficience potassique en relation avec matière organique % et K échangeable meq./100 g. (L. RICHARD).

Une bonne illustration de cette liaison est donnée par une étude réalisée à partir des résultats de 1978 d'un essai pluriannuel de Bébédjia (Tchad) (RICHARD, L. ; 18). Les rendements des parcelles n'ayant jamais reçu d'engrais sont expliqués à 67 % par la relation :

Rendement kg/ha = $- 1 497 + 1 423 \text{ matière organique } \% + 4 920 \text{ K éch. meq}/100 \text{ g}$

illustrée par la figure 8, sur laquelle la limite de la zone de déficience potassique, définie par la formule précédente, a été tracée.

Cette importance relative de la matière organique s'explique, en partie, par son effet sur la capacité d'échange. Dans l'étude déjà citée, on montre que 71 % de la C.E.C. (capacité d'échange des cations) sont expliqués par le taux de matière organique.

En région soudanienne, sous une pluviométrie de l'ordre de 1 100 mm, la matière organique du sol représente le critère le plus sûr de la fertilité et de son évolution.

3° *Phosphore assimilable*. — L'usage répété de la méthode OLSEN, proposée par DABIN, a permis de déterminer, dans un certain nombre de situations, un niveau critique relativement fiable. A titre d'exemple, la figure 9 rapporte les résultats obtenus au Nord-Cameroun (FRITZ A. et VALLERIE, 13).

On peut espérer la multiplication de telles séries de résultats, en application du travail de base effectué dans les laboratoires du CIRAD, en collaboration avec l'Institut Mondial du Phosphate (P. ROCHE, 19).

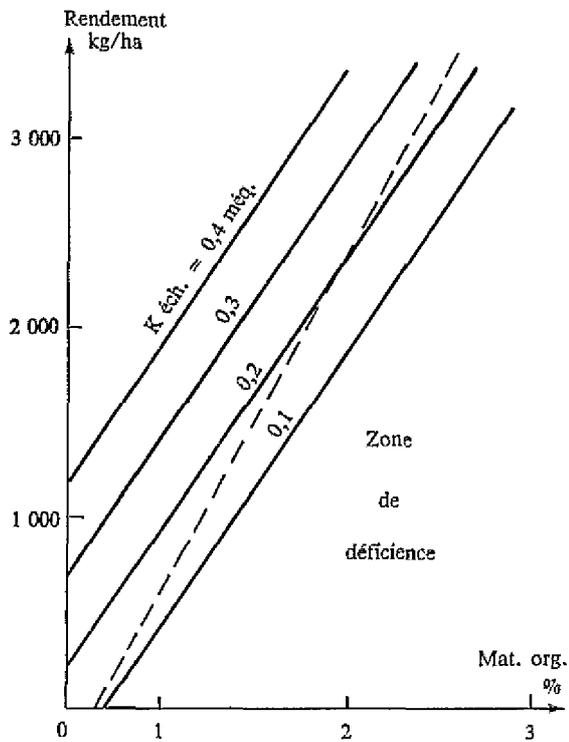


FIGURE 8. — Evolution des rendements en coton-graines en relation avec les taux de matière organique et de potassium échangeable.

Notons que la pratique des vases de végétations (méthode CHAMINADE) peut être mise en œuvre de façon relativement sommaire et servir de premier diagnostic, contribuant ainsi à limiter les déterminations plus précises, mais nécessairement plus coûteuses.

Evaluation de l'offre externe

Cette offre peut être de natures diverses :

- résidus de culture, qui sont restitués ;
- engrais organiques produits sur l'exploitation (fumier, terre de parc, composts, etc) ;
- engrais minéraux.

a) *Restitution des résidus*

Les chiffres donnés page 8 et suivantes montrent que la restitution des résidus représente, dans le cas de certains éléments (les cations, notamment), une source de fertilisation importante.

Mais la pratique de cette restitution n'est pas sans poser des problèmes en conditions paysannes, si l'on tient compte des moyens techniques disponibles et de la quantité de travail nécessaire. On doit également tenir le plus grand compte d'autres utilisations possibles de ces résidus, au sein de l'exploitation :

- nourriture des animaux ;
- matériaux de construction ;
- combustibles, etc.

b) *Fertilisation produite sur l'exploitation*

Dans un certain nombre de situations, il est possible de réduire les contraintes liées à l'enfouissement direct des résidus de récolte, par le passage par une transformation totale ou partielle en fumure organique.

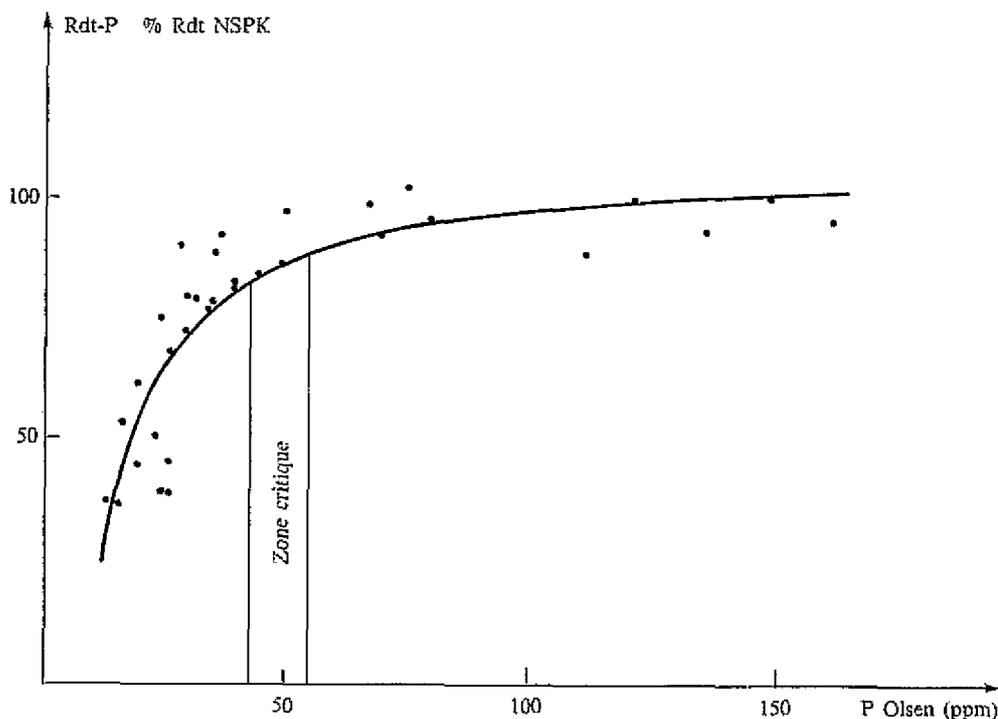


FIGURE 9. — Relation phosphore Olsen - rendement des parcelles — P.

Cette transformation ne va pas non plus sans difficulté :

- coût de réalisation ;
- nécessité de disposer de moyens de transport suffisants ;
- hétérogénéité de la composition de ces produits, rendant difficile une conduite précise de la fertilisation dans des cas individualisés.

Mais, une expérience conduite actuellement au Burkina-Faso (BERGER M., 2) montre que ces difficultés peuvent être surmontées en conditions paysannes. Elle implique, par exemple, de pouvoir disposer d'un troupeau de 14 têtes de bovins pendant 150 jours, pour une exploitation de 8 hectares ayant 1/3 de son assolement en sorgho. Elle consiste à utiliser la technique dite des parcs d'hivernage, construits à proximité des parcelles de culture, pour transformer les résidus de sorgho en fumier, en utilisant les bovins pour les broyer pendant la saison sèche suivante. Le

fumier continue à s'élaborer pendant l'hivernage suivant, pour être utilisable 16 mois après le début de cette opération.

Engrais minéraux

C'est évidemment la solution de facilité pour une conduite précise de la fertilisation. Mais elle n'est pas non plus sans problème. On doit en effet tenir compte :

- des productions nationales ;
- de la qualité des engrais en relation avec la nature des sols ;
- des teneurs en éléments fertilisants lorsque de longs transports sont à envisager ;
- des risques à long terme de l'utilisation prolongée de différents types d'engrais minéraux : baisse de pH, par exemple.

MAINTIEN DU POTENTIEL DE PRODUCTION

Une exploitation agricole, située dans un environnement écologique donné, possède une certaine faculté de produire un ensemble de cultures avec des niveaux de rendement donnés, compte tenu des moyens de production dont elle dispose.

Il s'agit de maintenir cette faculté sur une longue période en assurant la conservation des sols et le maintien de la fertilité, tant physique que chimique.

Cet objectif demande un suivi régulier par différents outils utilisables par l'exploitant ou des groupes d'exploitants. Ces outils sont :

- l'observation des symptômes visuels ;
- l'analyse de la production ;
- les analyses de sols ;
- les analyses foliaires et pétiolaires.

Symptômes foliaires

Les premières descriptions précises des symptômes foliaires ont été faites par H. P. COOPER (1949, 8). Depuis, de nombreuses précisions ont été apportées par divers chercheurs (BRAUD M. *et al.*, 1981, 5), ELLIOT F. C. *et al.*, 12). Les clés de détermination et les risques de confusion sont énumérés ci-après.

Déficiência azotée

- coloration vert-jaune du feuillage (par réduction du taux de chlorophylle) pouvant virer au rouge, par formation de pigments anthocyaniques, si la déficiencia s'accroît ;
- feuilles de taille réduite, avec des pétioles courts ;
- peu de branches végétatives ;
- symptômes foliaires localisés en premier lieu sur la partie basse du plant ;
- chute partielle des feuilles et des organes fructifères ;
- décoloration complète des nervures, en cas de carences graves.

Confusions possibles

- attaque de verticilliose ;
- effet de basses températures ;
- déficiencia hydrique ;
- déficiencia soufrée.

Déficiência soufrée

- apparition de feuilles jaunes au sommet du plan ;
- limitation du développement des plants, particulièrement du nombre de branches végétatives ;
- les nervures des feuilles restent vertes, même en cas de carence grave (par opposition à la carence azotée) ;
- élévation du taux d'azote soluble dans les feuilles et les pétioles.

Confusion possible

- déficiencia azotée.

Déficiência phosphatée

Probablement la plus difficile à déceler par observation directe, sans repère possible :

- limitation du développement du plant ;
- feuillage d'un vert foncé ;
- déséquilibre dans la fructification, particulièrement en présence de forte fumure azotée, limitant la présence de capsules au premier nœud des branches fructifères ;
- présence de petites nécroses foliaires en cas de carence grave (très rare), pouvant être confondues avec des attaques d'*Alternaria*.

Déficiência potassique

La dynamique de l'apparition des symptômes foliaires est un critère de diagnostic important :

- légère décoloration internervuraire, le vert virant au jaune ;
- la coloration générale de la feuille passe au vert bronze ;
- apparition progressive de nécroses foliaires marginales, parfois internervuraires ;
- généralisation de ces nécroses à l'ensemble de la feuille qui se dessèche totalement et reste alors accrochée par son pétiole (en absence de vent) en une position très caractéristique baptisée « chauve-souris ».

L'apparition de ces symptômes est très progressive. Ils doivent nécessairement pouvoir être observés sur un même champ, avant que ne soit émise l'hypothèse d'une déficiencia potassique :

- réduction de la production de fibre par limitation de la taille des capsules (réduction de la production des carbohydrates) ;
- accroissement artificiel de la précocité par limitation de la période de fructification ;
- présence anormale de capsules momifiées.

Confusions possibles

- déficiencia magnésienne ou soufrée dans les tout premiers stades de la déficiencia ;
- attaque de verticilliose ou de fusariose ;
- déséquilibre dans l'alimentation hydrique.

Déficiência magnésienne

- coloration pourpre des feuilles, avec des nervures restant vertes d'abord à la base du plant ;
- chute progressive de ces feuilles.

Confusions possibles

- vieillissement normal du plan ;
- « maladie rouge » du cotonnier ;
- problème d'alimentation hydrique (souvent par excès) ;
- déficience en potassium (premier stade) et en soufre.

Déficience en bore

- renflements annulaires des pétioles, principalement au sommet de la plante, présentant une coloration plus foncée et une pilosité plus importante. Une section longitudinale de ces pétioles montre des nécroses internes au niveau de ces renflements ;
- nécrose et pourriture interne des jeunes organes fructifères dans les cas de carence accentuée ;
- chute importante des organes fructifères, pouvant être quasi totale dans les cas extrêmes, entraînant un grand développement végétatif des plants ;
- momification des capsules ;
- limbes de la partie supérieure du plan vert foncé, avec décoloration internervuraire jaunâtre et parties marginales rabougries, donnant un aspect très caractéristique du sommet des plants.

Confusion possible

- symptômes de viroses plus ou moins bien déterminées.

D'autres déficiences ont été décrites (ELLIOT *et al.*, 12), mais n'ont jamais été observées à ce jour au champ, dans les zones où l'I.R.C.T. a eu l'occasion d'intervenir.

Analyse de la production

La connaissance des productions parcellaires d'un

système de culture fixé est en soi un guide intéressant pour suivre l'évolution, au moindre coût, du potentiel de production. Pour cela, nous proposons deux critères à utiliser simultanément :

- un critère technique, sous la forme d'un indice qui est le rendement parcellaire exprimé en % du rendement moyen de l'année. Le fait que cet indice soit inférieur à 90 doit attirer l'attention ;
- un critère économique, établi à partir du rendement d'équilibre, défini par l'égalité : coût de production = recettes. Les parcelles dont le rendement de l'année est inférieur à ce seuil contribuent à grever le résultat économique global de l'exploitation.

Il est entendu qu'un résultat annuel doit être interprété en fonction des informations disponibles de natures diverses (accidents techniques, parasites divers, etc.).

Le tableau 8 donne un exemple d'une telle analyse (BRAUD, M., 1983, 7). La parcelle A7 commence à poser un problème qui doit déboucher sur deux actions :

- au niveau de l'exploitation, remise en jachère de façon privilégiée ;
- au niveau du suivi et de la recherche, observations (analyse du sol) pour analyser cette situation particulière.

Analyse du sol

Cet outil a déjà été présenté précédemment.

Analyses foliaires

Cet outil sera traité séparément dans un autre exposé.

TABLEAU 8. — Rendement parcellaire (en kg/ha).
Ferme M. NDPOU. Campagnes agricoles 1979-1980, R.C.A.
C : cotonnier ; M : maïs ; A : arachide ; R : riz pluvial

Parcelles	1979			1980			1981			1982		
	Cult.	Rdt	Ind.									
A 1	C	1 850	117							C	1 448	104
2	C	1 658	105							C	1 796	128
3	C	2 900	184							C	1 654	118
4	C	3 250	208							C	1 270	91
5	C	1 767	112							C	1 439	102
6	C	1 922	122							C	1 262	90
7	C	1 209	77							C	1 073	77
8	C	1 785	113							C	1 384	99
9	C	2 365	150							C	1 357	97
10	C	1 318	84							C	1 439	103
B 1												
2		1 552	99				M	1 898	101	R	2 543	
3		1 398	89				M	1 624	90			
4		964	61				R	1 153	61	M1	2 350	107
							R	785				
5				C	1 563	107	R	3 095	165	M1	2 302	107
6				C	1 406	96	R	2 969	158	M1	2 568	117
7				C	1 292	88	R	2 576	137	M1	1 874	85
8				C	1 208	83	R	2 254	120	M1	2 119	96
C 1				C	1 551	106	A	707	97			
2				C	1 553	106	A	754	103			
3				C	1 234	84	A	2 260	120	M1	2 301	106
4				C	1 468	100	A	647	34	M1	2 522	115
5							A	2 359	125	M1	1 151	54
6							A	1 012	54	M1	2 534	115
D 1							C	1 496	107	A	1 575	178
2							C	1 288	92	A	250	96
3							C	1 401	100	A	921	104
4							C	1 324	94	A	804	100
5							C	1 309	93	M2	3 895	11
6							C	1 440	103	M2	3 578	103
7							C	1 428	102	M2	3 392	97
8							C	1 505	107	M2	3 891	112
9							C	1 482	106	M2	2 683	77
10										C	1 396	100
11										C	1 282	92
12										C	1 260	90
13										C	1 626	116

LES CONTRAINTES

Précisons qu'il s'agit de contraintes d'un système de culture en conditions réelles qui sont de natures diverses.

Contraintes économiques

Les contraintes économiques sont généralement évaluées à partir du rapport $\frac{\text{output}}{\text{input}}$ = supplément de revenu apporté par la fertilisation/coût de cette fertilisation.

Une telle évaluation est trop souvent faite au niveau de la parcelle, voire, au maximum, du système de culture. Elle doit prendre en compte les effets induits positifs à une autre échelle, généralement celle de l'économie nationale, par des actions directes sur les qualités technologiques de la production de fibre ou de graines du cotonnier ou indirectes par réduction d'importation de tel ou tel produit. Une telle pratique doit justifier des subventions sur le prix des engrais rendus à la parcelle. Ces contraintes peuvent conduire à proposer l'utilisation d'engrais nationaux (phosphates naturels), mais cette incitation a sa limite dans la mesure où on se doit d'évaluer le prix rendu à la parcelle (coût des transports).

Contraintes liées à la parcelle et à la technicité du paysan

La majorité des résultats expérimentaux concernant la fertilisation minérale du cotonnier ont été obtenus sur des petites parcelles expérimentales (de l'ordre de 100 à 150 m²) en milieu contrôlé, en respectant le vieux principe de Cl. BERNARD : toutes choses égales par ailleurs.

Le passage en milieu réel introduit un biais qui peut être important en fonction des facteurs suivants :

- disponibilité de la force de travail ;
- hétérogénéité du milieu ;
- topographie de la parcelle ;
- pluviosité de la campagne conditionnant l'alimentation hydrique ;
- ensemble des techniques culturales pratiquées :
 - dates de semis ;
 - dates effectives des apports d'engrais par rapport à cette date de semis ;
 - technique d'apport des engrais (enfouissement ou non, localisation, régularité, etc.) ;
 - qualité de l'entretien de la culture (désherbage, protection phytosanitaire).

Une première détermination du coefficient de correction à appliquer globalement aux résultats expérimentaux a pu être faite en Centrafrique et au N.E. du Bénin (BRAUD M., 3) : 77 et 67 % respectivement pour les deux situations.

Plus récemment, ces interactions ont été reprises d'une façon plus précise (CRETENET M., 9 ; CRETENET M. et VAISSAYRE M., 10) en Côte-d'Ivoire et font l'objet d'un exemple traité dans la 3^e partie de cette étude.

Contraintes liées à l'écologie

Le facteur écologique qui intervient le plus dans la pratique de la fertilisation minérale est, sans conteste, la pluviosité. Elle intervient :

- par la durée utile de la saison des pluies, mesurée à partir de la germination jusqu'à la dernière pluie utile (RICHARD L., 1980, 17). Les conditions de nutrition azotée, évaluée par des teneurs minérales optimales du pétiole de la feuille terminale évoluent selon la relation :

$$N_{(p.p.m.)} = 48\,300 - \frac{1\,710\,600}{D} - 12 A^2 + 0,099 A^3$$

où :

D = durée utile en jours de la saison des pluies.

A = âge du cotonnier, lors du prélèvement.

La figure 10 construite à partir de ce modèle, illustre les conséquences de cette loi. Cette relation a, en outre, pour conséquence de limiter les possibilités d'apport complémentaire de fertilisation azotée lorsque la saison des pluies s'installe tardivement, sous peine d'effet dépressif.

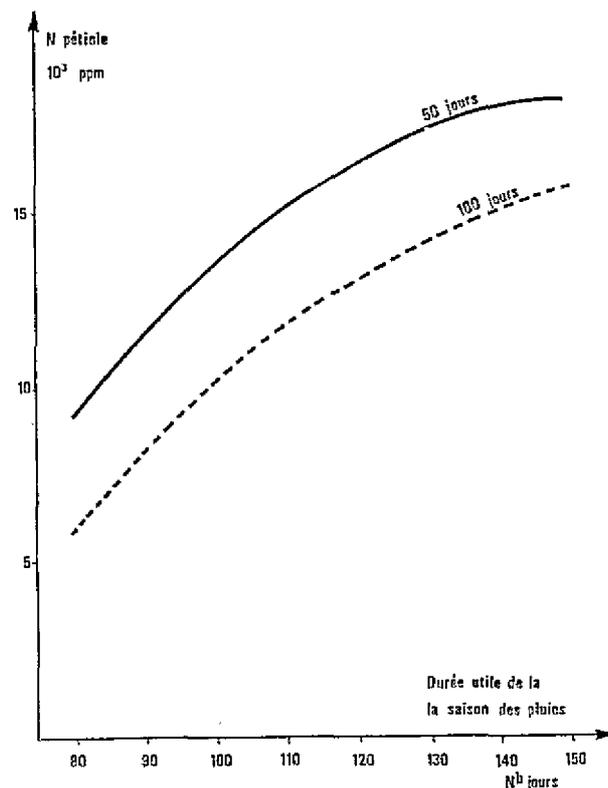


FIGURE 10. — Teneurs optimales en N minéral du cotonnier en fonction de la durée utile de la saison des pluies à deux âges différents. (L. RICHARD).

- par son intensité à certaines périodes de la campagne, en augmentant sensiblement la lixiviation (cas de fortes précipitations). La figure 11 (L. RICHARD, 17), se rapportant à la situation tchadienne en 1980, montre l'effet considérable des fortes pluies (310 m/m du 8 au 16 juillet) en début de végétation. A nouveau, une bonne pratique de la fertilisation doit tenir le plus grand compte de tels effets.

A l'inverse, une bonne pluviosité peut améliorer sensiblement les conditions de nutrition potassique comme le montrent ces résultats obtenus en Côte-d'Ivoire (M. BRAUD, 1973, 4) :

Pluies entre le 11 ^e et le 20 ^e jour avant le prélèvement :	Teneur des pétioles en K, %
0	4,27
100	5,08

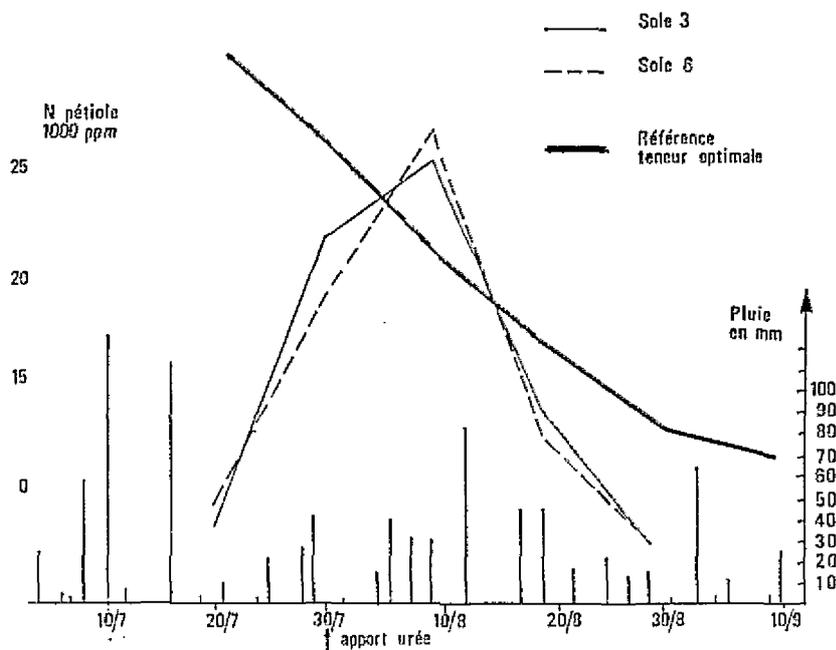


FIGURE 11. — Analyse de l'azote pétiolaire.
Essai S3 et S6, Bédadjia 1980.
(L. RICHARD).

Cela peut se traduire, pour un même lieu, par des exportations minérales sensiblement différentes en fonction du volume de production (BRAUD M., 1978, 7).

La température peut intervenir en bloquant la nutrition azotée, soit par défaut (basses températures : Paraguay, Montpellier), soit par excès (SANOGO, 1981, 20).

MÉTHODOLOGIE DE LA FERTILISATION D'UN SYSTÈME DE CULTURE

La pratique de la fertilisation doit reposer sur une stratégie tenant le plus grand compte d'une part des objectifs et des contraintes tels que nous venons de les présenter, et d'autre part, des outils disponibles de fiabilité variable.

La stratégie que nous proposons comporte deux phases successives :

- la première consiste à fixer une fertilisation au départ, selon un cap approximatif ;
- la seconde demandera l'utilisation des outils disponibles pour pratiquer une optimisation progressive de cette technique, à la manière d'un pilotage à vue au propre comme au figuré.

Fixation d'un plan de fumure initial

La fertilisation de départ doit viser simultanément deux objectifs :

- corriger les déficiences minérales susceptibles d'être présentes ;
- satisfaire les besoins immédiats des différentes spéculations végétales du système de culture.

Dans quelques cas particuliers, où l'on dispose d'un bon service de suivi et d'évaluation, il est possible d'évaluer les exportations avec une certaine précision.

A cet effet, nous pensons utile de décrire en annexe notre méthodologie pour deux cultures, à titre d'exemple.

Le premier objectif sera obtenu en tenant compte de tout ce qu'on peut appréhender sur le système de culture concerné :

- type de rotation probable. Mais pour tenir compte du fait que le chef d'exploitation raisonne beaucoup plus en terme d'assolement imposé par la conjonction de ses objectifs et de ses contraintes, cette approche sera limitée dans beaucoup de cas à la prise en compte du précédent culturel ;
- possibilité ou non de restituer les résidus végétaux. Les informations données plus haut militent fortement pour l'utilisation d'une telle pratique. Cependant, l'expérience montre qu'elle a des limites vite atteintes. Mais la pratique agricole peut apporter des solutions partielles simples. Par exemple (L. RICHARD, 15), le fait de placer la sole sorgho en fin de rotation permet de laisser les cannes de cette culture se décomposer lentement au cours de la jachère améliorée (légumineuses) ou non qui suit. L'organisation des brûlis des tiges de cotonniers à l'échelle de la parcelle peut limiter, grandement au moins, les exportations en P et en cations ;
- possibilité de transformation des résidus végétaux en source de fertilisation organique ou pseudo-organique (fumier, terre de parc, etc.). Mais une telle pratique peut avoir des limites à évaluer cas par cas. Ensuite, si le recours à des intrants peut être limité, l'utilisation accrue de la force de travail est loin d'être négligeable avec une incidence évidente à nouveau sur la valorisation de la journée de travail. Heureusement, des solutions concrètes peuvent être avancées ;
- selon les informations disponibles, on peut prendre une série de risques calculés, compte tenu des différentes contraintes. Coûts de la fertilisation phosphatée, potassique et, plus généralement, cationique associée aux

données d'analyses de sols, peuvent conduire à une fertilisation simplifiée faisant l'impasse sur ces éléments. Une telle décision suppose *a priori* que l'on sera capable d'en suivre les effets pour apporter les corrections jugées nécessaires.

Tout ceci concerne la pratique de ce que nous pouvons appeler la fertilisation de base, principalement relative aux éléments S, P, K (Ca et Mg et quelques oligo-éléments dont le bore pour le cotonnier) et une partie de la fumure azotée. Ceci posé, la fertilisation azotée devient pour bien des cultures le moteur de la production, et doit être raisonnée pour chaque spéculation végétale en fonction de tout ce qui précède, avec les corrections adaptées aux besoins spécifiques et en tenant le plus grand compte des risques climatiques, comme montré plus haut.

Evaluation des effets du plan de fumure initial sur le potentiel de production du système de culture. Corrections

Le cap de cette fertilisation étant ainsi fixé, il convient d'en suivre les effets en utilisant tous les outils qui sont à notre disposition, heureusement de plus en plus nombreux.

Les observations visuelles sont probablement les plus

simples à mettre en œuvre, mais délicates à utiliser et demandent généralement confirmation par d'autres méthodes. Néanmoins, en ce qui concerne le cotonnier (M. BRAUD, 1981, 5), elles peuvent être utilisées avec quelques certitudes en ce qui concerne le potassium, le bore et, dans une moindre mesure, l'azote et le soufre.

Un suivi régulier de la production, au niveau de la parcelle, ne demandant qu'un simple archivage, peut se révéler comme étant une bonne indication pour évaluer un potentiel de production et tirer éventuellement la sonnette d'alarme.

Des tests d'analyses de sol, relativement sommaires, utilisés à intervalles plus ou moins réguliers, peuvent constituer de bons indicateurs. Citons le pH et la matière organique, à titre d'exemple. Ce type d'observation peut inciter à procéder à des déterminations plus précises sur les cas représentatifs.

Enfin, pour certaines spéculations végétales, et le cotonnier en est un bon exemple (M. BRAUD, 1981, 5 ; L. RICHARD, 1980, 17), l'interprétation des analyses foliaires et pétiolaires peut se révéler un outil précieux pour le pilotage à vue de la fertilisation.

ANNEXE

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉCHANTILLONNAGE POUR UNE ÉTUDE DES EXPORTATIONS MINÉRALES PAR UNE CULTURE DE COTONNIER ET DE SORGHO (M. BRAUD et M. BOURCY, 1973)

L'échantillonnage doit être fait à deux degrés :

- premier échantillonnage pour la détermination du volume des exportations ;
- deuxième échantillonnage pour la détermination de la composition élémentaire des plantes..

Une précision de 10 % paraît largement suffisante pour une telle détermination.

La variabilité du nombre de plants à prélever pour atteindre un tel résultat est très grande pour le premier échantillonnage. Il est conseillé de faire une étude d'échantillonnage, cas par cas, en partant de la mesure des hauteurs d'une centaine de plants au moment de la récolte.

Le deuxième échantillonnage présente moins de difficultés. Un échantillon moyen peut être obtenu à partir de 25 plants par parcelle, selon la technique suivante :

Cotonniers

- choisir au hasard 25 plants ;
- récolter le coton-graines de ces plants ;
- peser ce coton-graines, égrener, conserver et peser les graines (P1). (P2) est le poids de graines récoltées sur le reste de la surface utile ;
- couper la totalité des plants présents sur la surface utile de la parcelle après récolte, en isolant les 25 plants repérés ;
- peser simultanément les 25 plants (P3) et le reste de la parcelle (P4) ;
- faire sécher les 25 plants à l'air ;
- repeser (P5) au moment du broyage tiges + branches + carpelles + graines et les graines (P6) ;
- broyer ce matériel végétal pour la constitution d'un échantillon moyen parcellaire ;

- regrouper ces broyats par objet et constituer un échantillon moyen par objet pour analyse.

Sorghos

- choisir au hasard 25 plants ;
- couper ces plants, peser (P1), récolter et peser les déchets (P2) et les grains (P3) que l'on conserve ;
- récolter la surface utile et peser les déchets et les grains (P4) ;
- couper la totalité des plants présents sur la surface utile de la parcelle et peser (P5) ;
- faire sécher les 25 plants à l'air, avec leurs grains et déchets ;
- repeser l'ensemble au moment du broyage (P6).
- broyer ce matériel végétal (tiges + déchets + grains) et constituer un échantillon moyen comme dans le cas du cotonnier.

Calcul des exportations

Soit :

- t la teneur en % d'un élément minéral ;
- c le coefficient parcellaire ;
- E l'exportation de cet élément en kg/ha.

Cas du cotonnier :

$$E = t \times \frac{P5 + P6}{P1 + P3} \times (P1 + P2 + P3 + P4) \times c$$

Cas du sorgho :

$$E = t \times \frac{P6}{P1 + P2 + P3} \times (P1 + P2 + P3 + P4 + P5) \times c$$

BIBLIOGRAPHIE

1. ARRIVETS, O., 1976. — Exigences minérales du sorgho. Etude d'une variété voltaïque à grandes tiges. *Agron. trop.*, 31, 1, 29-46.
2. BERGER, M., 1987. — Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina-Faso et la nécessité de l'association agriculture élevage. *Cot. Fib. trop.*, (sous presse).
3. BRAUD, M., 1967. — L'aspect économique de la fertilisation minérale du cotonnier. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*, Tananarive, 19-25 nov. 1967. Communication N° 63, 12 p.
4. BRAUD, M., 1973. — Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier. *10^e Coll. Inst. Int. Potasse*, 265-277.
5. BRAUD, M., 1981. — Intérêt du cotonnier, support de tests biologiques pour contrôler l'évolution de la fertilité d'un sol. *Cot. Fib. trop.*, 36, 305-312.
6. BRAUD, M. *et al.*, 1984. — L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. III. Cultures diverses. Chapitre 2 : Le cotonnier, 559, 576. *Techn. et Doc., Lavoisier*, Paris.
7. BRAUD, M. — Rapports de mission en Centrafrique, à Madagascar, au Cameroun et au Tchad. *Documents I.R.C.T. non publiés*.
8. COOPER, H.P. *et al.*, 1949. — Hunger signs in crops. *Amer. Soc. Agron. and nat. Fertil. Assoc.*, Washington, D.C., 390 p.
9. CRETENET, M., 1987. — Aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Cot. Fib. trop.* (sous presse).
10. CRETENET, M. ; VAISSAYRE, M., 1986. — Modèle de décision appliquée à l'interaction entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire en culture cotonnière. *Cot. Fib. trop.*, 41, 2, 89-96.
11. DEAT, M., *et al.*, 1976. — Exportations minérales du cotonnier et de quelques cultures tropicales en zone de savane africaine. *Cot. Fib. trop.*, 31, 409-418.
12. ELLIOT, F.C., 1968. — Advances in production and utilization of quality cotton : principles and practices. *Iowa State Univ. Press*, Ames, Iowa, U.S.A., 5328.
13. FRITZ, A. ; VALLERIE, M., 1971. — Contribution à l'étude des déficiences minérales des sols sous culture cotonnière au Nord-Cameroun. *Cot. Fib. trop.*, 26, 3, 273-301.
14. MALAVOLTA, E., *et al.*, 1962. — On the mineral nutrition of some tropical crops. Cotton. *Intern. Potash Inst.*, Berne, 155 p.
15. RICHARD, L., 1981. — Rôle de la matière organique et du potassium échangeable dans la réponse des cultures à la fertilisation potassique. *Cot. Fib. trop.*, 36, 2, 197-198.
16. RICHARD, L., 1976. — Diagnostic pétiolaire de la nutrition azotée du cotonnier. *4^e Coll. intern. Contrôle Alimentation Plantes cultivées*. Gent, 605-617.
17. RICHARD, L., 1980. — Précision sur le diagnostic pétiolaire de la nutrition azotée du cotonnier. *5^e Coll. intern. Contrôle Alimentation Plantes cultivées*. Castel-Franco, 983-988.
18. RICHARD, L. ; DJOULET, D., 1985. — La fertilité des sols et son évolution zone cotonnière du Tchad. *Cot. Fib. trop., Série Documents, Etudes et Synthèses*, n° 6, 21 p.
19. ROCHE, P., *et al.*, 1980. — Le phosphore dans les sols intertropicaux : appréciation des niveaux de carences et des besoins en phosphore. *Imp. GERDAT*, 48 p.
20. SANOGO, Z., 1980. — Contribution à l'étude des facteurs pédoclimatiques contrôlant la nutrition azotée du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Mali. *Thèse docteur-Ing. ENSAM*, 1980.
21. SIBAND, P. — Croissance, nutrition et production du mil. *Thèse Doc. d'Etat U.S.T.L.* 21981 (302 p.).

2^e PARTIE

LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DU COTONNIER

HISTORIQUE DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE DU COTONNIER

La première tentative de diagnostic foliaire du cotonnier ne date que de 1951 et doit être probablement attribuée à JOHAM (1). Il propose une méthode d'échantillonnage des pétioles des 3^e et 4^e feuilles du sommet du plant, et constate que leurs teneurs en NO_3 , N, P, K, Ca et Mg sont un bon reflet des conditions de nutrition offertes par le milieu.

Peu après, des résultats analogues sont publiés par BELOUSOV et SDIVIZHENSKAJA (2). Puis les travaux se multiplient rapidement. BONNET *et al.* (3), DASTUR (4) et STROMBERG (5) utilisent les limbes pour évaluer l'état de la nutrition des cotonniers en N, P et K. Des résultats d'études similaires sont publiés en Amérique du Sud, en Afrique et aux U.S.A. et concernent des situations très variées du fait des conditions écologiques, culturales (pluviales ou irriguées), spécifiques (*G. hirsutum* ou *barbadense*) et variétales.

Les travaux conduits en Afrique francophone sont pratiquement contemporains de cet effort international. Les premières analyses de feuilles de cotonnier ont été faites à l'I.R.C.T. en 1953 sous l'impulsion de CORCELLE (6), qui propose une technique de prélèvement qui sera conservée dans son principe, sous le vocable « méthode I.R.C.T. » : choix d'une feuille située à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement.

NEIRINCKX (7) montre une application possible du diagnostic chimique au cotonnier en condition africaine, ce que confirment BRAUD *et al.* (8) dans des conditions culturales très voisines.

A la faveur de la multiplication de ces travaux, la complexité du problème s'accroît par la mise en évidence d'interactions entre de nombreux facteurs : époque d'échantillonnage en liaison avec les conditions écologiques et l'âge de la plante, interactions possibles entre éléments nutritifs, intérêt comparé des différentes parties de la feuille (limbes, pétioles, feuilles entières).

BRAUD (9) montre la nécessité de prendre en compte l'interaction entre éléments pour une interprétation correcte des conditions de nutrition azotée, phosphorée et soufrée. Ces travaux, qui se poursuivent (10) et (11), feront l'objet d'améliorations par la même équipe.

Le problème de l'intérêt respectif des limbes et des pétioles a été réabordé, selon la méthode d'échantillonnage I.R.C.T., par BRAUD (12) qui propose de subdiviser l'échantillonnage foliaire en deux sous-échantillons, les limbes utilisés pour le dosage des anions et les pétioles qui servent au dosage des cations.

Parallèlement, il apparaît nécessaire de tenir compte de l'âge du cotonnier pour interpréter correctement certains résultats. MACKENZIE *et al.* (13) le montrent les premiers en 1963. Des applications de cette méthode sont proposées en Afrique tropicale par BRAUD (14). Ces travaux sont

repris et développés par RICHARD (15 et 16) qui les complète par la prise en compte d'une information écologique : la durée de la période comprise entre la germination et la dernière pluie utile au cotonnier. De la même façon, BRAUD (10) montre l'intérêt de prendre en compte la notion d'« âge physiologique » de la plante en relation directe avec l'état de la floraison pour évaluer convenablement l'état de la nutrition soufrée et potassique. Le même auteur (10) confirme l'importance du facteur de dilution, sans doute sous la dépendance de facteurs du milieu tels que l'alimentation hydrique, matérialisé par le poids sec de l'échantillon foliaire standard (30 feuilles) pour l'interprétation des résultats concernant les nutrition azotée et phosphorée.

Une des conséquences de la complexité croissante de l'interprétation des résultats foliaires est l'abandon de la notion de niveau critique unique pour un élément, souligné par BRAUD (10) qui reprend les idées développées par BEAUFILS, d'abord sur l'hévéa (17), puis sur d'autres plantes (18). A titre d'exemple, BRAUD (19) la développe plus précisément pour la nutrition potassique (fig. 1).

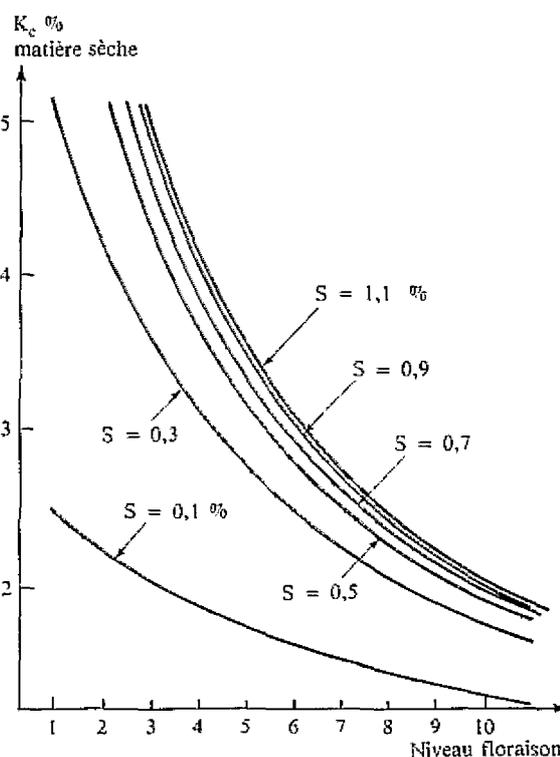


FIGURE 1. — Diagnostic foliaire du cotonnier. Niveaux critiques du potassium (I.R.C.T.).

Ce graphique est construit en partant de la fonction de production définie pour le contrôle de la nutrition potassique et en appliquant la définition la plus généralement admise pour le niveau critique : teneur au-dessous de laquelle on observe une réponse positive à un apport de cet élément dans une fumure minérale. On définit ainsi pratiquement une infinité de niveaux critiques du potassium en fonction de la teneur en soufre et de l'âge physiologique du cotonnier.

MACKENZIE (13) et TUCKER (21) montrent l'effet variétal pour le diagnostic de la nutrition azotée. BRAUD (19) le confirme pour la nutrition potassique.

Enfin, le développement de l'informatique voit son application dans le domaine du diagnostic foliaire du cotonnier, au moins sous deux aspects :

— L'I.R.C.T., en collaboration avec le CIRAD et le

Centre de Montpellier, met au point actuellement une filière analyses foliaires du cotonnier permettant de suivre l'échantillon depuis son prélèvement jusqu'à l'interprétation des résultats selon la méthode développée plus loin, en assurant l'automatisation de la plupart des contrôles nécessaires.

— L'Université d'Arkansas (22) propose aux producteurs de coton de l'Etat un système de contrôle de la nutrition azotée informatisé, assorti de recommandations particulières pour la nutrition boratée et phosphatée.

Cet aperçu historique montre que, après un départ relativement tardif, le diagnostic foliaire du cotonnier se développe dans le monde entier pour devenir un outil très opérationnel au niveau des producteurs dans un certain nombre de cas particuliers, sans liaison évidente avec le niveau technologique du pays.

CHOIX DE L'ORGANE À PRÉLEVER

Le choix de l'organe à prélever pose un ensemble de problèmes d'échantillonnage qui sont les suivants :

- âge de la feuille ;
- âge du plant ;
- position sur le plant ;
- type d'organe : feuille, limbe ou pétiole ;
- effet de dilution.

Age de la feuille

Afin de rester fidèle à l'un des premiers principes du diagnostic foliaire (choix d'un organe représentatif à un moment physiologique bien déterminé), la feuille à prélever est celle située à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement, toujours sur le premier nœud d'une branche fructifère (CORCELLE, 1950, 27).

Le principe du moment physiologique bien déterminé est considéré comme respecté : le développement morphologique de la feuille se termine (M. BRAUD, 1968, 14) et son métabolisme va subir des transformations importantes (RABIOU SEITI, 1979, 62).

Age du plant et position sur le plant

L'effet âge du plant est considérable pour certains éléments (fig. 2 pour le potassium).

La méthode la plus simple pour déterminer l'âge du plant consisterait à noter le nombre de jours entre le semis (ou la levée) et le jour du prélèvement. Elle ne nous paraît pas à retenir, car elle ne tient pas compte de tous les aléas climatiques et culturaux qui peuvent faire varier cette durée.

En outre, le choix d'une feuille ainsi repérée ne peut se faire que sur un laps de temps d'une journée. Il est donc très précis.

Il est préférable de s'appuyer sur le cycle de floraison très précis du cotonnier. Rappelons-en le principe brièvement. La première fleur à s'ouvrir est située sur le premier nœud de la première branche fructifère et amorce une première spirale de floraison qui va concerner successivement tous les premiers nœuds des branches fructifères. Lorsque cette spirale repasse à la verticale de la première branche, une deuxième spirale va se déclencher et concerner successivement tous les deuxièmes nœuds des branches fructifères, et ainsi de suite (fig. 3).

Si le premier critère est respecté, feuille à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement, l'âge du plant et la position sur le plant sont deux variables liées : faire un prélèvement à un âge donné du cotonnier implique nécessairement le choix d'une position donnée. La réciproque est vraie.

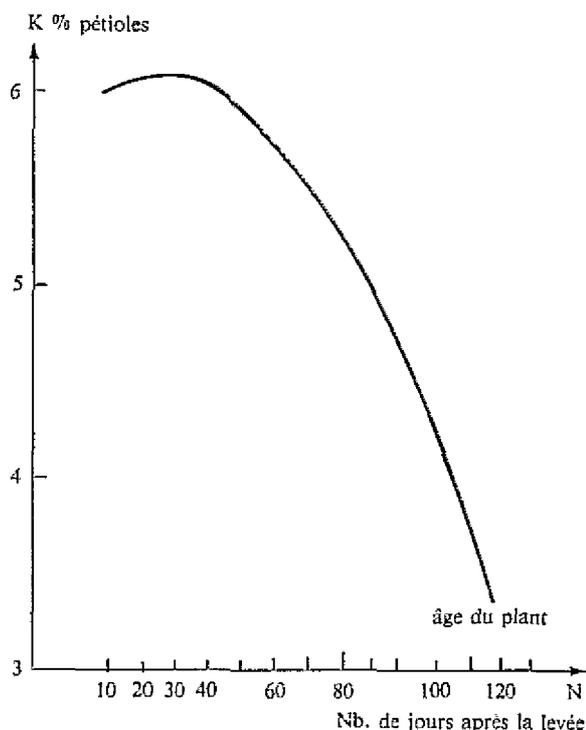


FIGURE 2. — Effet âge du plant. Relation entre teneur en potassium des pétioles et âge du plant (M. BRAUD).

Par opposition à un âge du plant exprimé en nombre de jours, l'âge du plant déterminé par son niveau de floraison est appelé « âge physiologique », d'où la méthode de prélèvement suivante.

On prélève les feuilles situées à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement des premiers nœuds des branches fructifères quelconques. On note chaque fois le niveau de floraison des branches où une feuille est prélevée. Le niveau de floraison est la moyenne pondérée de ces observations. Il est très pratique de faire ce travail à deux personnes : l'une prélève et l'autre note les observations. Généralement, trente feuilles sont prélevées par parcelles élémentaires d'un essai.

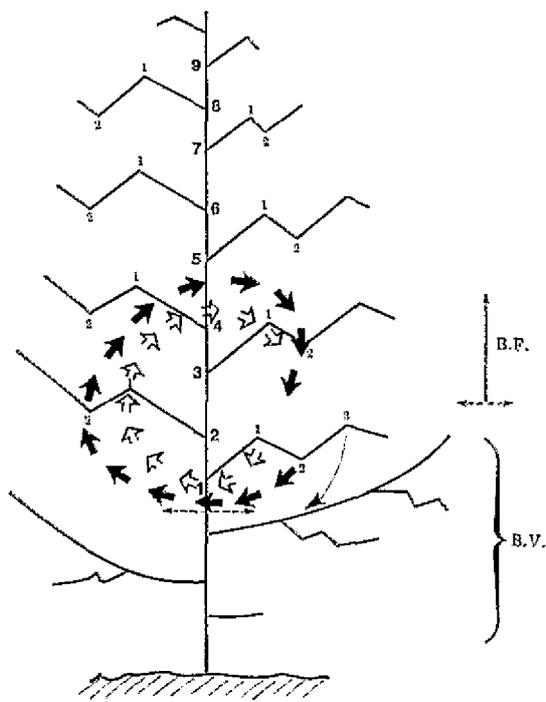


FIGURE 3. — Cycle de floraison du cotonnier.

Exemple :	N° des branches	Nombre de feuilles prélevées
	1 111	$3 \times 1 = 3$
	2 11111 11	$7 \times 2 = 14$
	3 11111 11111 1	$11 \times 3 = 33$
	4 11111 1	$6 \times 4 = 24$
	5 111	$3 \times 5 = 15$
		<hr/>
		30
		89

89/30 3,0 : niveau de floraison moyen = F.

Il est conseillé d'effectuer ces prélèvements au début de la floraison, soit avec un niveau de floraison inférieur à 7 ou 8.

Cas particuliers du diagnostic pétiole pour le contrôle de la nutrition azotée

On prélève la quatrième feuille à partir du sommet du plant, considérée comme étant la première feuille mature (JOHAM, 1).

Un repère simple pour la détermination sans ambiguïté de cette feuille consiste à choisir la première feuille ayant une coloration plus terne que celle du sommet. Le changement de brillance est très caractéristique.

Type d'organe

A l'occasion de l'étude d'une série de courbes de réponses à des doses croissantes d'éléments fertilisants (BRAUD, 12), on a étudié les relations existant entre les teneurs entre ces doses d'engrais et les teneurs correspondantes dans les différentes parties de la feuille : feuille entière, limbe ou pétiole.

L'évaluation de la précision de cette relation a été donnée par le coefficient de corrélation et celle de la sensibilité par le coefficient angulaire de la droite de régression.

De cette étude, il résulte la règle simple suivante :

- les anions (N, P, S, Cl) et quelques micro-éléments tels que le bore sont déterminés sur les limbes ;
- les cations (K, Ca, Mg et Na) sont déterminés sur les pétioles, plus sensibles.

Effet de dilution

L'effet de dilution est un obstacle majeur que doivent surmonter tous les spécialistes du diagnostic foliaire.

L'illustration de cet effet est donnée par la figure 5.

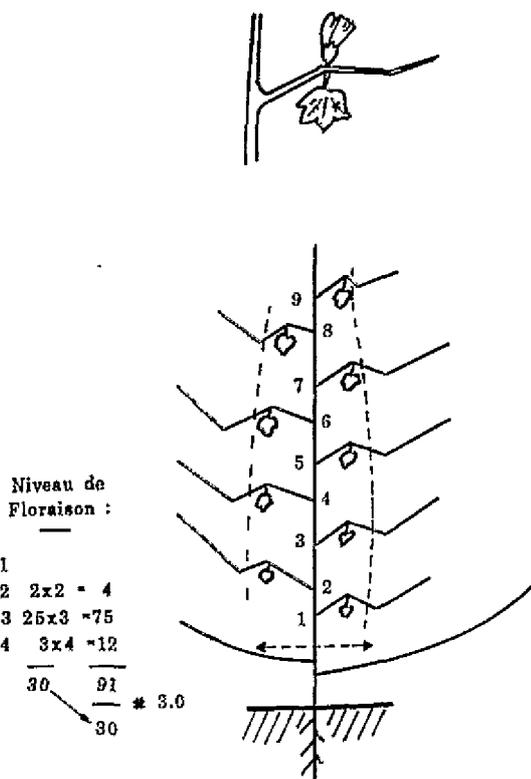


FIGURE 4. — Situation des feuilles à prélever : 1^{re} feuille à l'aisselle d'une fleur sur un premier nœud de l'une des neuf premières branches fructifères.

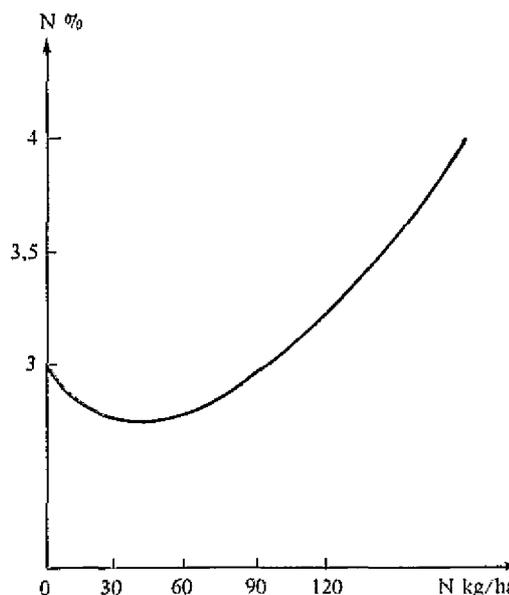


FIGURE 5. — Effet dilution des doses d'engrais azotés sur les teneurs en azote de la feuille.

Dans une situation de déficience, azotée par exemple, le premier effet de doses croissantes d'engrais est de réduire la teneur en l'élément considéré. Ceci tient au fait que les teneurs sont exprimées en % du poids sec. La première correction de cette déficience a pour effet d'accroître plus

rapidement le volume et le poids de la feuille que cette teneur. Le produit des deux donne une image plus exacte du phénomène physiologique.

D'où l'idée de prendre en considération le poids sec (à 70 °C), d'un échantillon standard de 30 feuilles.

MODALITÉS DU PRÉLÈVEMENT

Conditions de prélèvement

Chaque prélèvement doit être représentatif d'une zone homogène. Les feuilles doivent être saines, exemptes d'attaques parasitaires. Les facteurs perturbants, liés à l'alimentation hydrique par exemple (pluies ou irrigations), doivent être évités.

Le prélèvement doit être effectué de préférence le matin de bonne heure avant 9 h 00.

Dates, nombre de feuilles et de prélèvements

Diagnostic foliaire standard I.R.C.T.

Un seul prélèvement est nécessaire. Il doit être effectué de préférence en début de floraison, de telle sorte que le niveau de floraison soit égale ou inférieur à 5.

Dans un dispositif expérimental classique, on prélève 30 feuilles par parcelle élémentaire qui peuvent être regroupées ou non par objet, selon l'hétérogénéité du milieu.

Dans le cas de parcelle de grande culture, on prélève 100 feuilles par zone homogène.

Diagnostic pétiolaire

Le premier prélèvement est effectué dès que possible entre le 20^e et le 45^e jour après la levée, selon la vitesse du développement des cotonniers. Puis, des prélèvements successifs sont réalisés à des intervalles de 10 à 15 jours, selon les moyens disponibles jusqu'au maximum de la floraison.

Le nombre de feuilles et les conditions à respecter sont identiques au cas précédent.

TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons doivent être préséchés à l'air dans tous les cas. Un procédé simple consiste à enfiler les limbes sur un fil qui sera tendu dans un endroit abrité. Cette opération peut être réalisée en utilisant éventuellement des dispositifs de séchage avec des lampes à infra-rouges.

Dans tous les cas, le séchage doit être terminé à l'étuve, en condition standard à 70 °C pendant 24 heures. On déterminera le poids sec, après cette opération, pour le diagnostic foliaire I.R.C.T., et cette information est rapportée à 30 feuilles.

Limbes et pétioles sont alors séparés et les échantillons sont envoyés au laboratoire pour analyse avec une fiche d'identification selon le modèle joint en annexe, sur laquelle figurent :

- l'identification de l'échantillon ;
- le niveau de floraison ;
- le poids sec de 30 feuilles ;
- le jour du prélèvement, exprimé en jour calendaire.

ÉLÉMENTS À DÉTERMINER À L'ANALYSE

Diagnostic foliaire standard I.R.C.T.

Limbes et pétioles constituent deux sous-échantillons :

- les teneurs en anions, N, P, S, Cl et l'oligo-élément B sont déterminés sur les limbes ;
- les teneurs en cations K, Ca, Mg et éventuellement Na

(sur demande spéciale) sont déterminées sur les pétioles. Cette technique résulte des études présentées par M. BRAUD (12).

Les déterminations d'autres oligo-éléments ne sont faites que sur demande.

Dans quelques cas particuliers, des simplifications peuvent être demandées lorsqu'il s'agit de suivre un aspect particulier de la nutrition minérale du cotonnier. Dans tous les cas, les analyses à effectuer sont à mentionner sur la fiche jointe à l'échantillon.

Diagnostic pétiolaire

Les pétioles sont conservés seuls et utilisés pour la détermination de l'azote minéral.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les principales interprétations proposées sur le plan international sont comparées à celles proposées par l'I.R.C.T., élément par élément.

Pour les quatre éléments principaux, N, P, S et K, BRAUD (10) propose des fonctions de production du type :

$$\text{Rdt} (- X) = f(\text{N, P, S, K, p.s. et F})$$

dans laquelle Rdt (- X) est le rendement que donne une fumure minérale complète dont a retiré l'élément X, exprimé en p. 100 de celui obtenu avec une formule complète. Ce résultat est qualitativement identique à celui fourni par un essai soustractif au champ.

N, P, S, = teneurs en N, P et S en p. 100 de matière sèche des limbes prélevés.

p.s. = poids sec (70 °C) de l'échantillon prélevé, ramené à 30 feuilles.

F = niveau de floraison tel que défini plus haut.

Une amélioration plus complète de ces fonctions, grâce à des méthodes biométriques plus performantes, et la prise en compte de tous les éléments majeurs et du bore, a été proposée en 1980 (11).

Les deux méthodes seront présentées simultanément pour permettre une interprétation selon les informations disponibles.

Un Rdt (- X) inférieur ou égal à 90 présuppose une déficience.

A titre d'exemple, le problème phosphore a été étudié (BRAUD, 41) en Haute-Volta par cette méthode, en comparaison avec des résultats agronomiques issus d'un essai aux champs, objet d'abord d'une phase soustractive (fumure complète NPSKB et fumure NSKB (- P)) et d'une phase de régénération, avec addition de P. Les résultats comparés, agronomiques et fonction P, sont illustrés par la figure 6 et le tableau 1 qui montrent un bon parallélisme entre les deux séries de résultats et, en conséquence, la validité de la méthode proposée.

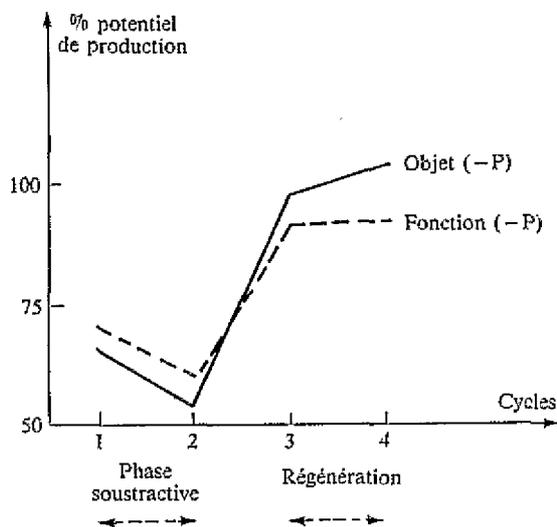


FIGURE 6. — Le problème phosphore en Haute-Volta (Karl-Dédougou).

TABEAU 1. — Evolution de l'importance relative de la déficience en phosphore calculée (fonction P) ou observée (objet - P) selon le cycle.

	Fonction P		Objet - P	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
1 ^{er} cycle	70,7	2,6	65,0	1,0
2 ^e cycle	60,3	18,8	53,3	8,0
3 ^e cycle	91,3	2,9	98,3	4,5
4 ^e cycle	92,3	14,4	104,5	9,2

Dans le cas particulier de l'azote, RICHARD (16) propose une méthode dérivée de celle vulgarisée aux U.S.A. à partir des travaux de MACKENZIE (13) et TUCKER (21).

Cas de l'azote

Deux types de méthodes peuvent être utilisés selon qu'elles emploient comme support le limbe ou le pétiole sans avoir tout à fait la même fonction.

Le diagnostic foliaire I.R.C.T.

Il résulte de l'application de la méthode proposée par BRAUD *et al.* (10, 11), à partir des fonctions de production suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Rdt}(-N)_{1972} &= 1,645 \\ &+ 14,55 \times N \\ &+ \frac{3,84}{P} \\ &+ 1,32 \text{ p. s.} \end{aligned}$$

N = teneur en % de N du limbe
P = teneur en % de P du limbe
p.s. = poids sec en g de 30 feuilles

et :

$$\begin{aligned} \text{Rdt}(-N)_{1980} &= -5,81 \\ &+ 13,72 \text{ Cl} \\ &+ 20,61 \log_{10} \text{ p.s.} \\ &+ 6,12 \text{ N} \\ &+ \frac{53,88}{\sqrt{\text{Ca}}} \\ &- \frac{4,07}{\text{Mg}} \\ &+ \frac{0,65}{\text{Cl}} \end{aligned}$$

Cl = teneur en % de Cl des limbes
Ca = teneur en % de Ca des pétioles
Mg = teneur en % de Mg des pétioles

Cette nouvelle fonction fait intervenir trois nouveaux éléments : Cl, Ca et Mg.

Dans un cas comme dans l'autre, ces fonctions donnent, à notre avis, compte tenu de l'organe utilisé, une image de ce qu'ont été les conditions de nutrition azotée jusqu'au moment du prélèvement.

Le diagnostic pétioleaire

La station expérimentale agricole de l'Université d'Arkansas (22) propose un système de contrôle et de suivi de la nutrition azotée, assorti de correctifs concernant la nutrition boratée et phosphatée, qui est illustré par la figure 7 empruntée à son manuel d'utilisation.

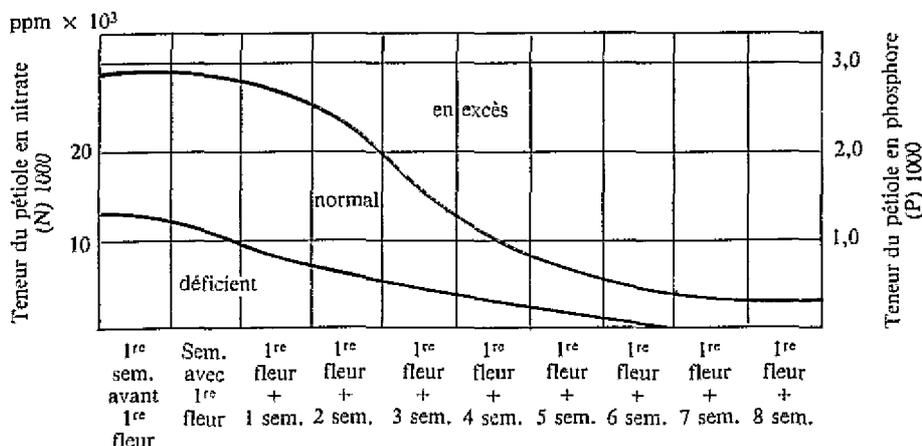


FIGURE 7. — Contrôle et suivi des teneurs en N et P du pétiole.

TABLEAU 2. — Niveaux optimaux de nitrate dans le pétiole du cotonnier (p.p.m.).

Stade	California	Texas	Arizona		Sudan	Mali African Upland	Oklahoma
	Acala		Acala	DPI 16	Bar XII		
1 ^{er} bouton			15 000	18 000	14 000	25 000	15-17 000
1 ^{re} fleur	16 000	16 000	12 000	14 000	11 000	18 000	11-14 000
floraison maximum	8 000	8 000	6- 8 000	8-10 000	5 000	2 400	5 000
ouverture 1 ^{re} capsule	2 000	2 000	4 000	4 000	2 000	2- 3 000	1- 2 000

HEARN (23) rapporte, à titre d'exemple, la variabilité des niveaux critiques proposés dans diverses situations, reproduites dans le tableau 2.

RICHARD (16) a établi une équation de régression entre les teneurs optimales de N-NO₃ et deux variables explicatives qui sont l'âge du cotonnier (A jour) et la durée de la période comprise entre la germination et la dernière pluie utile de la saison (D jour) :

$$N - NO_3 \text{ p.p.m.} = 48\,300 - \frac{1\,710\,600}{D} - 12 A^2 + 0,099 A^3$$

illustrée par la figure 8 (RICHARD, Castel Franco, 16). Cette relation contribue à expliquer la variabilité rapportée par HEARN.

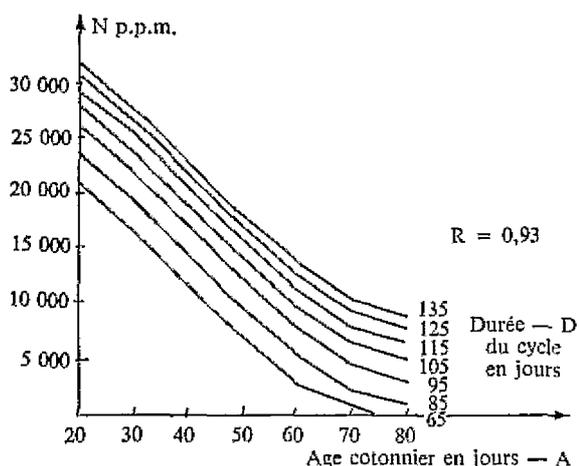


FIGURE 8. — Diagnostic pétiole de la nutrition du cotonnier. Courbes de référence des teneurs optimales en N soluble à l'eau.

CRETENET M. (24), dans une situation écologique particulière au Mali, en utilisant une variable explicative « nutrition azotée », précise ce type de relation qui permet d'expliquer 86 % de la variance observée sur les rendements.

La très grande sensibilité des teneurs en N-NO₃ aux variations des conditions du milieu, associée au fait que le pétiole soit l'organe support, font que cette technique donne une image plus instantanée des conditions de la nutrition azotée que dans le cas précédent, donc plus ou moins complémentaire.

Cas du phosphore

Peu d'informations sont disponibles dans la bibliographie nord-américaine sur les niveaux critiques en phosphore, sans doute parce que les situations de déficience

sont peu nombreuses. BASSET *et al.* (25) proposent le seuil de 1 000 p.p.m. de P pour le pétiole.

BRAUD *et al.* (10, 11) proposent l'utilisation des fonctions de production suivantes :

$$Rdt(-P)_{1972} = 82,89 - \frac{5,87}{P} + 1,45 \times p.s. + 12,45 \times S$$

S = teneur en % de S des limbes

et :

$$Rdt(-P)_{1980} = 102,53 - \frac{26,89}{P} - \frac{82,28}{\sqrt{p.s.}} + 24,03 \log_{10}(CI + 1) + \frac{65,90}{\sqrt{P}} - \frac{4,57}{S} - 22,69 S$$

Cette dernière fonction, établie à partir des résultats de 179 essais réalisés principalement en Afrique tropicale, explique 66 % de la variance des rendements observés, ce qui peut être considéré comme très satisfaisant.

Cas du soufre

Des informations précises sur le diagnostic de la nutrition soufrée ne sont guère disponibles que pour les conditions africaines. JORDAN (26) propose la teneur de 0,2 % pour les limbes ou les pétioles à la mi-floraison. MAPLES suggère la teneur de 0,4 % pour le limbe, en Arkansas (travaux non publiés). BRAUD *et al.* (10, 11) proposent l'utilisation des fonctions de production suivantes :

$$Rdt(-S)_{1972} = 99,6 - \frac{6,58}{S} + 1,27 \times P + 1,24 \times F$$

et :

$$Rdt(-S)_{1980} = 91,47 - \frac{2,93}{P} - \frac{2,68}{S} + \frac{165,65}{B} + 6,15 \sqrt{CI} + \frac{11,87}{K} + 2,02 \sqrt{p.s.}$$

B = teneur en p.p.m. de B des limbes

K = teneur en % de K des pétioles

Cas du potassium

Les études concernant la détermination des niveaux de nutrition potassique optimale, estimés par les teneurs des pétioles, sont relativement nombreuses. Elles sont résumées dans le tableau suivant présenté par SABBE (27).

TABLEAU 3. — Niveaux critiques de K dans le pétiole.

Age (jours)	% K	Commentaires
60	6,0	High fertility - JOHAM, 1951
75	4,5	STROMBERG, 1960
90	4,1	High fertility - JOHAM, 1951
90	1,85	de MELLO, 1960a, 1960b
90	0,7	Fresh weight - JOHAM, 1951
120	1,0+	STROMBERG, 1960
145	3,0	High fertility - JOHAM, 1951

BRAUD *et al.* (10, 11) proposent l'utilisation des fonctions de production suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Rdt}(-K)_{1972} &= 93,1 \\ &- \frac{71,08}{K} \\ &+ 2,98 \times F \\ &+ \frac{2,25}{S} \end{aligned}$$

et :

$$\begin{aligned} \text{Rdt}(-K)_{1980} &= 83,18 \\ &- \frac{161,78}{K} \\ &- 18,79 \text{ Mg} \\ &+ \frac{132,26}{\sqrt{K}} \\ &- \frac{1,24}{\sqrt{\text{Cl}}} \\ &- \frac{44,42}{\text{p.s.}} \end{aligned}$$

Autres éléments

Calcium et magnésium

Aucune information sur les niveaux critiques ne semble disponible en ce qui concerne le calcium, d'après BASSET *et al.* (28).

JOHAM (1) considère qu'aucun niveau critique ne peut être établi pour le magnésium. GHEESLING *et al.* (29) constatent que les symptômes de déficience apparaissent lorsque la teneur des limbes devient inférieure à 0,20 %. JOLY (30), à partir d'une expérience réalisée en culture hydroponique, définit un niveau critique de 0,25 à 0,30 % pour le pétiole. En milieu réel, il met en évidence un antagonisme avec la fertilisation potassique et l'intérêt de prendre en compte l'âge physiologique du plan, et il propose la relation suivante pour définir le niveau critique du magnésium dans le pétiole :

$$\text{Mg}_c = 0,10 + 0,01 F + \frac{1}{0,576 + 0,43 K}$$

F = niveau de floraison

K = teneur en % de K du pétiole

Bore

Le bore mérite une attention particulière, compte tenu de son importance possible en tant que facteur limitant pouvant entraîner jusqu'à une récolte nulle.

MURPHY *et al.* (31) proposent 10 à 15 p.p.m. comme niveau critique dans le limbe et ROTHWELL (32) 18,2 p.p.m. pour le pétiole (teneur confirmée par MILEY *et al.*, 33). BRAUD *et al.* (34) confirment également ces niveaux : 15 p.p.m. pour le limbe, ramené à 23 p.p.m. pour tenir compte d'une modification de la technique d'analyse des laboratoires GERDAT. Enfin, OHKI *et al.* (35) proposent 20 p.p.m. comme niveau critique pour le limbe.

Autres oligo-éléments

Les informations concernant les autres oligo-éléments proviennent principalement d'expériences conduites en culture hydroponique, probablement par suite d'interactions nombreuses avec les facteurs du milieu en conditions naturelles. Elles sont résumées dans le tableau suivant :

TABLEAU 4. — Quelques niveaux critiques ou toxiques signalés pour les oligo-éléments autres que le bore.

Elément	Organe	Niveau critique	Niveau toxique	Auteurs
Zinc	Limbe	11 p.p.m.	200 p.p.m.	OHKI (36)
Manganèse	Limbe	14 p.p.m.	200 p.p.m.	JOHAM <i>et al.</i> (37)
		60 p.p.m.	200 p.p.m.	OHKI (35)
Fer	Feuille	15 p.p.m.	200 p.p.m.	MACKENZIE <i>et al.</i> (13)
			2 000 p.p.m.	HINKLE <i>et al.</i> (38)
	Limbe	57-88 p.p.m.	2 000 p.p.m.	KOUSKOLEKA <i>et al.</i> (40)
		30 p.p.m.	2 000 p.p.m.	SABBE <i>et al.</i> (27)
Cuivre	Limbe	50 p.p.m.	2 000 p.p.m.	BROWN <i>et al.</i> (31)
	Feuille	6 p.p.m.	2 000 p.p.m.	OHKI <i>et al.</i> (35)
Molybdène	Feuille	8 p.p.m.	2 000 p.p.m.	BROWN <i>et al.</i> (39)
		1,9 p.p.m.	2 000 p.p.m.	OHKI <i>et al.</i> (35)
				KALLINIS <i>et al.</i> (40)

CONCLUSION

En trente ans, le diagnostic foliaire du cotonnier a pris un développement important qui va jusqu'à des applications pratiques très efficaces dans certaines situations.

Ces situations peuvent se répartir en deux catégories :

- la première concerne les zones où l'écologie du milieu est telle que la longueur du cycle du cotonnier autorise l'application effective de conseils de fertilisation basée sur un diagnostic foliaire relativement précoce. La culture irriguée se rattache à cette situation. Une fertilisa-

tion azotée complémentaire peut être envisagée sur ces bases ;

- la deuxième concerne la culture pluviale, caractérisée par un cycle beaucoup plus court, qui rend difficile, sinon impossible, l'utilisation des données du diagnostic foliaire sur la culture qui lui a servi de support.

Mais, comme le fait remarquer BRAUD (41), l'information ainsi recueillie peut être très utile pour évaluer l'évolution de la fertilité d'un système de culture, dans lequel le cotonnier entre en rotation plus ou moins régulière avec d'autres cultures annuelles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. JOHAM, H.E., 1951. — The nutritional status of the cotton plant as indicated by tissue tests. *Plant Physiol.*, 26, 76-89.
2. BELOUSOV, M. ; SDIZHENSKAJA, Z., 1954. — Methods of diagnosing the conditions of cotton nutrition. *Klop.*, 4, 30-35.
3. BONNET, J.A. ; RIERA, A.R. ; ROLDAN, J., 1958. — Yields responses to different NPK levels, and correlation with foliar analysis, in sand culture, studies with corn, sugarcane and cotton. *J. Agr. Univ. Puerto Rico*, 42, 168-184.
4. DASTUR, R.H., 1959. — The need for study of potash and phosphate requirements of the cotton plant. *Indian Cott. Grow. Rev.*, 13, 1-10.
5. STROMBERG, L.K. — Need for potassium fertilizer on cotton determined by leaf and soil analysis. *Calif. Agr.*, 14, 4, 4-5.
6. CORCELLE, P., 1956. — Communication personnelle, non publiée, I.R.C.T.
7. NEIRINCKS, L., 1958. — Le diagnostic chimique et son application possible au cotonnier dans son aire congolaise septentrionale. *B. Agr. du Congo Belge*, 49, 51.
8. BRAUD, M. ; DAESCHNER, M. ; MEGIE, C. ; RICHARD, L., 1960. — Possibilités d'un diagnostic foliaire du cotonnier. *Fertilité*, 9, 15-32.
9. BRAUD, M., 1964. — Le diagnostic foliaire, guide de la fertilisation minérale du cotonnier. *1^{er} Colloque Européen sur le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation*, Montpellier, 299-308.
10. BRAUD, M., 1972. — Le contrôle de la nutrition du cotonnier par analyses foliaires. *3^e Colloque Européen et Méditerranéen sur le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation*, Budapest, 469-487.
11. BRAUD, M. ; JOLY, A., 1980. — Contribution à l'étude de la détermination des déficiences minérales du cotonnier par analyses foliaires. *5^e Colloque International sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées*, Castel-Franco.
12. BRAUD, M., 1968. — Etude de l'échantillonnage des prélèvements foliaires pour le contrôle des nutriments azotés et potassiques du cotonnier. Sur la possibilité de détermination des déficiences soufrée, phosphatée et potassique du cotonnier. *2^e Colloque Européen et Méditerranéen sur le contrôle de la fertilisation des plantes cultivées*, Séville, 787-811, 1968.
13. MACKENZIE, A.J. ; SPENCER, W.F. ; STOCKINGER, K.R. ; KRANTZ, B.A., 1963. — Seasonal nitrate-nitrogen content of cotton petioles as affected by nitrogen application and its relationship to yield. *Agron. J.*, 55, 55-59.
14. BRAUD, M. — Rapports de mission à Madagascar et au Cameroun. *Doc. I.R.C.T. non publiés*.
15. RICHARD, L., 1976. — Diagnostic pétiole de la nutrition azotée du cotonnier. *4^e Colloque International sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées*, Gent, 605-617.
16. RICHARD, L., 1980. — Précisions sur le diagnostic pétiole de la nutrition azotée du cotonnier. *5^e Colloque International sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées*, Castel-Franco, 9 p.
17. BEAUFILS, E.R., 1958. — Le diagnostic physiologique. Conception des recherches et méthodologie. Etablissement de la méthode dans les plantations. *Rev. Gén. du Caoutchouc*, 35, 922-928.
18. BEAUFILS, E.R. ; SUMME, E. — Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and plant quality factors of sugar cane, *South African Sugar Technol. Assoc. Proc.*, 50.
19. BRAUD, M., 1973. — Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier. *10^e Colloque Inst. Int. de la Potasse*, 265-277.
20. RABIOU SEITI, M., 1979. — Evolution de la composition minérale des feuilles du cotonnier cultivé au Togo. *Mémoire D.E.A. ENSAT Toulouse*.
21. TUCKER, T.C., 1963. — Soil and petiole analysis can pinpoint cotton's nitrogen need. *Cott. Gin Oil Press*, 64, 2, 36-37.
22. BANTON, M.E. ; MAPLES, R. ; MAY, R.D. ; MILEY, N.N. ; SABBE, W.E., 1979. — A computerized system for cotton nitrate monitoring with program listings and descriptions. *Agric. Exp. Stat.*, Div. Agric. Univ. Arkansas, Fayetteville, Report Series 244, 1-46.
23. HEARN, A.B., 1981. — Cotton Nutrition. *Field Crop. Abstr.*, 34, 1, 11-34.
24. CRETENET, M., 1980. — Relations observées au Mali entre le rendement en coton-graines, la nutrition azotée du cotonnier (mesurée par le diagnostic pétiole) et certains facteurs climatiques. *Cot. Fib. trop.*, 25, 3, 347-52.
25. BASSET, O.M. ; NIKKELSEN, D.S., 1962. — Use of phosphorus on cotton, in Summaries of

- papers, *Statewide conference on role of phosphorus in crop production*, Div. of Agric. Sci., Univ. of California, Davis, 31.
26. JORDAM, H.V., 1964. — Sulfur as a plant nutrient in the southern United States. *U.S.D.A. Tech. Bull.*, 1297.
 27. SABBE, W.E. ; MACKENZIE, A.J., 1973. — Plant analysis as an aid to cotton fertilization, in « Soil Testing and Plant Analysis. *Ed. Soil Sc. Soc. of America, Madison.*
 28. BASSETT, D. ; ANDERSON, W.B. ; WERKHOVER, C.H.E., 1970. — Dry matter production and nutrient uptake in irrigated cotton. *Agron. J.*, 62, 299.
 29. GHEESLING, R.H. ; PERKINS, H.F., 1970. — Critical levels of manganese and magnesium in cotton at different stages of growth. *Agron. J.*, 62, 29-32.
 30. JOLY, A., 1978. — Apparition d'une déficience en magnésium sur cotonnier au Nord Bénin. *Cot. Fib. trop.*, 33, 2, 211-227.
 31. MURPHY, B.G. ; LANCASTER, J.C., 1971. — Response of cotton to boron. *Agron. J.*, 63, 539.
 32. ROTHWELL, A. ; BRYDEN, J.W. ; KNIGHT, H. ; COXE, B.J., 1967. — Boron deficiency of cotton in Zambia. *Cott. Grow. Rev.*, 44, 23.
 33. MILEY, W.W. ; HARDY, G.W. ; STURGIS, M.B. ; SEDBERRY, J.E., 1969. — Influence of boron, nitrogen, and potassium on yield, nutrient uptake and abnormalities of cotton. *Agron. J.*, 61, 9-13.
 34. BRAUD, M. ; MEGIE, C. ; FRITZ, A. ; QUILLON, P.J., 1969. — Sur la déficience en bore du cotonnier. Observations préliminaires. *Cot. Fib. trop.*, 24, 4, 465-67.
 35. OHKI, K.E. ; ANDERSON, O.E. ; CARTER, R.L. ; JONES, J.B. ; PERKINS, H.F., 1975. — Micro-nutrient survey for Georgia : evaluation of cotton leaf tissues and associated soil analysis in 1970. *Dept. of Agron., Georgia Station Res.*, 204, 1-11.
 36. OHKI, K., 1976. — Lower and upper critical zinc levels in relation to cotton growth and development. *Physiologia Plantarum*, 35, 300.
 37. JOHAM, H.E. ; AMIN, J.V. ; TAYLOR, D.M., 1968. — Nutrition limitations and measurements of manganese and molybdenum availability to cotton. *Agricultural Chemicals*, 18.
 38. HINKLE, D.A. ; BROWN, A.L. — Secondary nutrients and micronutrients. Ind. Adv. in Production and Utilization of Quality Cotton. Principles and Practices. *Eds. Elliot F.C., Hoover M., PORTER W.K. AMES, Iowa St. Univ. Press.*
 39. BROWN, J.C. ; JONES, W.E., 1977. — Fitting plants nutritionally to soils cotton. *Agron. J.*, 69, 405.
 40. KALLINIS, T.L. ; KOUKOLEKA, H.V., 1967. — Molybdenum deficiency symptoms in cotton. *Proc. of the Soil Sc. Soc. of Am.*, 31, 507.
 41. BRAUD, M., 1981. — Intérêt du cotonnier, support de tests biologiques pour contrôler l'évolution de la fertilité d'un sol. *Cot. Fib. trop.*, 36, 305-312.

3^e PARTIEEXEMPLES D'APPLICATION DE LA MÉTHODE DE FERTILISATION
D'UN SYSTÈME DE CULTURE

Selon les situations caractérisées par les moyens dont disposent les producteurs directement ou indirectement par le biais des Sociétés de Développement, la méthodologie proposée pour suivre la fertilisation d'un système de culture pourra être plus ou moins appliquée en utilisant tout ou

partie des outils passés en revue dans la première partie de notre étude.

Nous présentons quelques exemples d'applications, extraits de notre expérience de cette dernière décennie.

ÉLABORATION D'UN PLAN DE FERTILISATION D'UN SYSTÈME DE CULTURE INTENSIF =
RECHERCHE DU CAP DE DÉPART

Le cas présenté concerne la région centrale togolaise : Tchamba (M. BERGER, 1 ; L. RICHARD, 9).

Au moment de l'implantation du système, les données de départ de l'analyse du sol étaient les suivantes :

Matière organique	0,86 ‰, faible
K total	6,54 ‰/100, réserves correctes
P total	149 p.p.m., réserves faibles
P Olsen	11,8 p.p.m., niveau très bas
Ca	1,53 meq ‰, faible
Mg	0,58 meq ‰, faible
K	0,17 meq ‰, faible
Somme des bases échangeables	2,31 meq ‰, faible
Capacité d'échanges	0,58 meq ‰ faible
pH eau	6,28

On est donc, au départ, en présence d'un sol de fertilité

très moyenne avec très certainement une déficience en phosphore à redresser.

La rotation proposée est la suivante : maïs-légumineuse-coton-sorgho, puis deux années de jachère pâturée (*Stylosanthes*).

Ce système a été mis en place en 1977. A l'issue de la campagne 1979, les niveaux de production réels et la composition de la terre de parc ont été connus.

N	= 0,80 ‰ de matière sèche
S	= 0,30 ‰ de matière sèche
P ₂ O ₅	= 0,80 ‰ de matière sèche
K ₂ O	= 1,25 ‰ de matière sèche
CaO	= 1,45 ‰ de matière sèche
MgO	= 0,60 ‰ de matière sèche
C	= 9,5 ‰ de matière sèche

Une estimation des exportations est rapportée dans le tableau 1.

TABLEAU 1. — Plan de fertilisation d'un système de culture. Tchamba, Togo.

Place dans la rotation	Culture	Rendement kg/ha	Fertilisation kg/ha (F)	Nature des exportations (E)	N		P ₂ O ₅		S		K ₂ O	
					(F)	(E)	(F)	(E)	(F)	(E)	(F)	(E)
1	Maïs	2 000	400 tricalcique 100 urée	Tout	37		140	11				6
2	Arachide	1 500	100 sulf. de K	Gousses	28			6	16		48	7
3	Cotonnier	1 200	8 000 terre de parc 100 sulf. de K 100 urée 5 boracine	Coton-graine 50 % tiges	21 10		52 52	9 6	20 16		80 48	9 20
4	Sorgho	1 000		Grains	19			4				6
5	Stylosanthes							70				75
6	Stylosanthes							70				75
	Totaux				142	115	192	175	52		176	198
	Bilan				27	-	-	17	-		-	22

On notera :

- l'utilisation des phosphates naturels locaux en tête de rotation, pour corriger la déficience phosphatée ;
- la restitution maximale sur le plan pratique des résidus de récolte, pour limiter les exportations ;

- la place du sorgho en fin de rotation, avant la jachère, pour faciliter cette opération de restitution ;
- la place de la légumineuse avant le cotonnier, pour limiter la fertilisation azotée de cette culture.

ÉVALUATION DE L'ÉVOLUTION DU POTENTIEL DE PRODUCTION D'UN SYSTÈME DE CULTURE Pilotage à vue

L'observation visuelle présente un intérêt relativement immédiat dans la pratique de la fertilisation, au moins dans deux cas de figure applicables à la culture cotonnière :

- détermination des besoins en azote en début de végétation autorisant une correction immédiate ;
- détermination d'une déficience en potassium dans la mesure où l'apparition des symptômes sont un signe qui précède (un à deux ans) un effet significatif sur la production, ce qui autorise une intervention à temps.

Acidification des sols par une fumure minérale

Des analyses de sol simples (pH par exemple) se sont révélées fort utiles pour mettre l'accent sur une évolution négative, sous l'influence d'une fumure au départ déséquilibrée. Une telle application a pu être réalisée en Côte d'Ivoire (G. SEMENT, 1980, 10 et est illustrée par la figure 1).

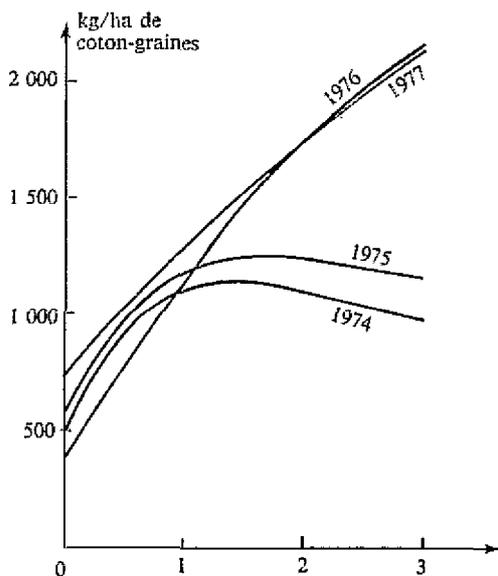


FIGURE 1. — Rendements en coton obtenus suivant le niveau de fumure sur l'essai de Korhogo (en 1974 et 1975, avant amendement ; en 1976 et 1977, après amendement).

Dans cette application, les observations sur l'évolution du pH sous l'effet de la fumure nous ont conduit à faire un amendement de redressement, puis d'entretien par de la dolomie.

Le cotonnier, entrant en rotation plus ou moins régulièrement avec d'autres spéculations végétales dans un système de culture, peut être un bon support de tests biologiques pour évaluer non seulement les conditions de sa propre nutrition minérale, mais pour suivre l'évolution du potentiel de production du système de culture et concrétiser le pilotage à vue présenté plus haut. Une telle application peut être envisagée au niveau d'un système de culture intensif. Nous en donnons deux exemples (M. BRAUD, 1981, 3).

Le problème du potassium sur terre de Barre au sud du Bénin (Bozinkpé, Aplahoué)

Le système de culture concerné a évolué de la façon suivante (Cl. THEVIN, 11) avec la succession culturale annuelle : 1^{er} cycle, maïs ; 2^e cycle, cotonnier.

De 1968 à 1972, un essai soustractif a été réalisé avec la fumure complète suivante (par ha) :

- sur maïs, aucune fumure ;
- sur cotonnier, 33 kg de N ; 19 kg de P₂O₅ ; 60 kg de K ; 12 kg de S ; 1,0 kg de B₂O₃, de 1968 à 1970. En 1971 et 1972, 33 kg de N ; 38 kg de P₂O₅ ; 60 kg de K ; 12 kg de S ; 1,0 kg de B₂O₃.

A partir de 1973, la même fumure a été appliquée uniformément sur tout l'essai aux deux doses suivantes (toujours sur coton uniquement et par hectare) :

- dose 1 : 33 kg de N ; 38 kg de P₂O₅ ; 60 kg de K₂O ; 12 kg de S ; 1 kg de B₂O₃.
- dose 2 : 75 kg de N ; 67 kg de P₂O₅ ; 135 kg de K₂O ; 35 kg de S ; 1 kg de B₂O₃.

L'utilisation de la fonction de production (K) adaptée aux conditions du Bénin (M. DAESCHNER, 8) :

$$\text{Rendement } (-K) = 52,61 - \frac{49,09}{K} + \frac{12,34}{S} + 4,34 \times F$$

donne les résultats suivants (tableau 2), illustrés par la figure 2.

TABLEAU 2. — Fonction de production (K).
Essai de Bozinkpé-Aplahoué (Bénin) 1968-1976.

Année	Rendement (-K)	
1968	69,6	
1969	58,4	
1970	66,1	
1971	45,2	
1972	32,5	
	Avec dose 1	Avec dose 2
1973	52,8	60,0
1974	67,3	69,9
1975	72,4	79,3
1976	77,1	83,0

Pendant la phase soustractive, la baisse de production est rapide et proportionnelle au temps de culture :

$$\text{Rendement } (-K) = 80,7 - 8,78 A$$

(A = années en culture)
avec r² = 0,81.

La régénération, sous l'influence de la fertilisation potassique, n'est pas aussi rapide que dans d'autres situations analogues, mais est néanmoins nette et progressive. Les valeurs de la production effective (coton-graines) des anciens objets (-K) confirment parfaitement cette analyse :

Avec la dose 1
Année 1973 349 kg/ha pour 42 % de NSPK.
Année 1976 949 kg/ha pour 74 % de NSPK.

Avec la dose 2

Année 1973 698 kg/ha pour 87 % de NSPK.
Année 1976 1 103 kg/ha pour 86 % de NSPK.

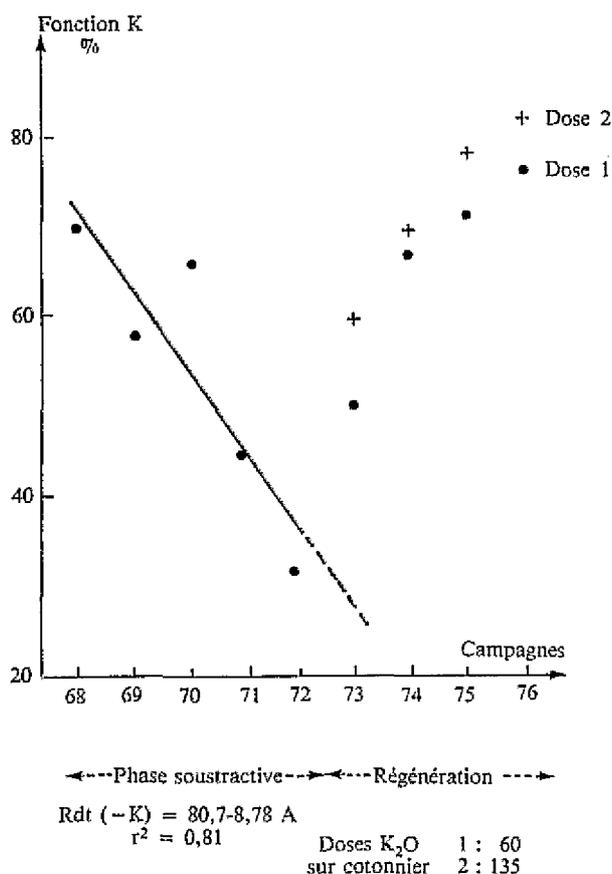


FIGURE 2. — Evolution, et correction progressive de la déficience potassique du cotonnier, au Bénin, sous différentes formules de fertilisation (Bozinkpé-Aplahoué, 1968/76).

Le problème du phosphore au Burkina-Faso (cas de Kari-Dedougou)

Le système de culture a évolué de la façon suivante (H. CORRE, 5) avec la succession culturale : cotonnier - sorgho - arachide.

Pendant les deux premiers cycles, un essai soustractif a été conduit avec la fumure de base suivante, par hectare : 20 kg de N, 31 kg de P₂O₅, 30 kg de K₂O et 7 kg de S, épandue uniquement sur la sole en cotonnier.

Le troisième cycle, dit de régénération, a reçu la fertilisation uniforme suivante, par hectare :

- sur cotonnier, 41 kg de N ; 34 kg de P₂O₅ ; 30 kg de K₂O ; 6 kg de S ; 1,1 kg de B₂O₃.
- sur sorgho et arachides, 14 kg de N ; 24 kg de P₂O₅ ; 18 kg de K₂O ; 5 kg de S ; 1,1 kg de B₂O₃.

Cette fertilisation a été augmentée au cours du quatrième cycle :

- sur cotonnier, 71 kg de N ; 48 kg de P₂O₅ ; 6 kg de K₂O ; 6 kg de S, 1,1 kg de B₂O₃.
- sur sorgho et arachides, 18 kg de N ; 34 kg de P₂O₅ ; 18 kg de K₂O ; 5 kg de S ; 1,1 kg de B₂O₃.

Un dispositif en série a permis d'avoir trois répétitions dans le temps pour les trois premiers cycles et deux pour le quatrième cycle.

L'utilisation de la fonction de production (P) (M. BRAUD, 1972, 2) donne les résultats résumés dans le tableau 3, en comparaison avec les résultats agronomiques, illustrés par la figure 3.

TABLEAU 3. — Fonction de production (P). Essai de Kari-Dedougou (Burkina-Faso) 1967-1978.

Cycles	Fonction P		Objet - P	
	Moy.	Ecart-type	Moy.	Ecart-type
1 ^{er}	70,7	2,6	65,0	1,0
2 ^e	60,3	18,8	53,3	8,0
3 ^e	91,3	2,9	98,3	4,5
4 ^e	92,3	14,4	104,5	9,2

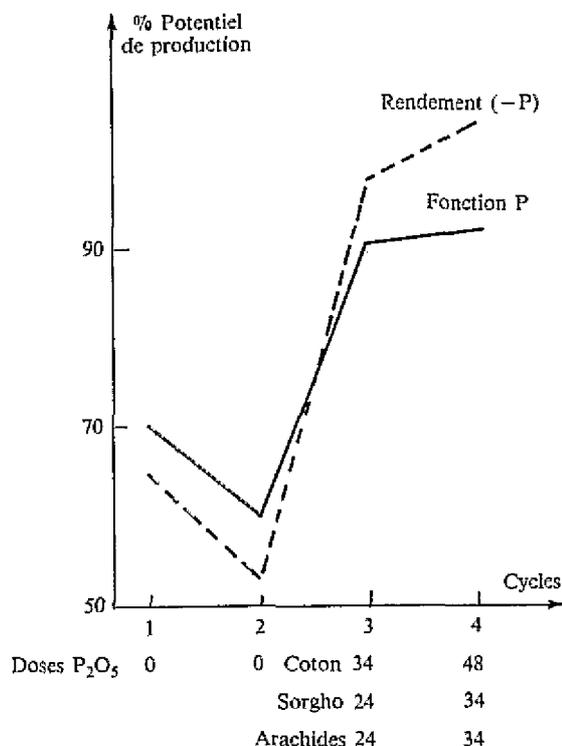


FIGURE 3. — Evolution et correction progressive de la déficience en phosphore du cotonnier au Burkina-Faso sous différentes formules de fertilisation (Kari-Dedougou, 1967-81).

La correction de la déficience en phosphore est immédiate dès le premier cycle de régénération. Le parallélisme entre les deux types de résultats est très bon.

Suivi analytique de la fertilité des parcelles d'un système de culture : Kolombada au Mali.

Cet essai est conduit depuis 1971 selon une rotation triennale coton-maïs-arachide avec un dispositif expérimental qui a évolué de la façon suivante :

1. Témoin non fertilisé.
2. Apport de fumier de ferme 15 t/ha sur coton, avec un complément minéral
N : 39 et P₂O₅ : 48 kg/ha pour le cotonnier,
N : 28 et P₂O₅ : 12 kg/ha pour le maïs et l'arachide.
3. Fertilisation minérale
N : 72 ; P₂O₅ : 48 ; K₂O : 60 et S : 21 kg/ha pour le cotonnier,
N : 38 ; P₂O₅ : 12 ; K₂O : 15 et S : 11 kg/ha pour le maïs et l'arachide.
4. Apport de 15 t/ha de fumier de ferme sur cotonnier sans complément minéral.
5. Restitution des résidus de récolte : ces résidus sont tronçonnés manuellement, avant d'être enfouis par labour.

Ces 5 traitements ont été associés de la manière suivante, depuis 1971 dans les 3 objets A, B, C (fig. 4) :

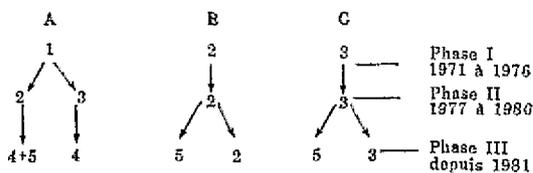


FIGURE 4.

Nous disposons de deux séries de résultats homogènes quant à leur situation dans la rotation, chaque série se déroulant sur trois campagnes (M. BRAUD, 4).

Les deux séries de résultats sont regroupées dans le tableau 4.

Rappelons pour mémoire qu'il y a *présomption de déficience* en un élément si la fonction de production correspondante est comprise entre 85 et 90, et *quasi certitude* si elle est inférieure à 85. Les situations correspondantes sont soulignées dans ce tableau. Le problème dominant est un problème de phosphore et accessoirement de soufre, pour les trois premiers objets.

La comparaison entre les deux séries de résultats peut être représentée par la figure 5, dans laquelle chaque flèche indique le sens de l'évolution, la pente étant proportionnelle à l'importance de cette évolution, les résultats de la deuxième série étant exprimés en pour cent de la première.

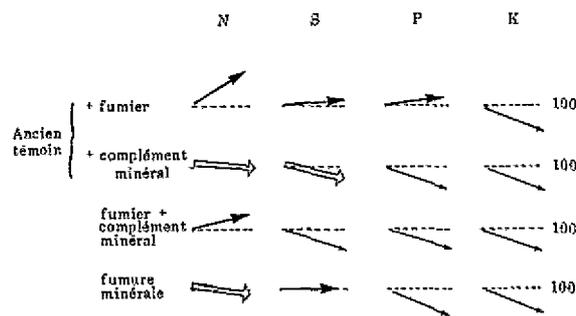


FIGURE 5. — Essai de Kolombada. — Evolution des composantes de la fertilité chimique.

TABLEAU 4. — Fonction de production (N, S, P, K). Kolombada (Mali) 1977-1982.

Objets	1977-78-79				1980-81-82			
	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction
	N	S	P	K	N	S	P	K
Ancien témoin + fumier 1 + complément minéral	89,1	88,4	86,6	109,2	100,5	89,9	89,5	101,9
Ancien témoin + fumure 2 minérale	99,0	93,3	88,4	105,2	97,4	89,7	83,1	98,4
Fumier + compl. minéral 3	92,9	93,4	93,3	110,9	96,3	87,5	89,1	104,2
Fumure minérale 4	98,6	94,4	88,3	104,8	96,5	95,2	82,0	96,0

ÉLABORATION DE GRILLES DE DÉCISIONS PROPOSANT DES SOLUTIONS ALTERNATIVES

La mise en œuvre progressive des outils de diagnostic ou de suivi, proposés dans le cadre de véritables services de suivi et d'évaluation, voire de conseils pour une aide à la décision, nous demande de préparer l'élaboration de grilles de décisions proposant des solutions alternatives adaptées à la variabilité des solutions rencontrées, tant sur le plan écologique que sur le plan socio-économique.

Quelques résultats sont d'ores et déjà disponibles, sans pour autant qu'ils puissent être considérés comme définitifs. Mais ils sont intéressants dans la mesure où ils permettent de concrétiser la faisabilité de cette démarche. Deux de ces cas, issus de l'expérience du Département Textile de l'I.DES.SA, sont présentés.

1) La fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire, selon la pluviosité, la date du semis effective et le type de désherbage (CRETENET M., 1987, 6)

Une étude de la pluviosité permet :

- de classer les zones de la production cotonnière selon l'arrêt des pluies à la probabilité P = 50 % ;
- de proposer une plage de dates de semis optimales avec la correspondance suivante.

Arrêt des pluies	5/10	10/10	15/10	20/10	25/10
Plage de dates de semis optimales	25-5/6	1-10/6	5-15/6	10-20/6	15-25/6

La figure 6 situe ces différentes zones.

Selon la date du semis et le type de désherbage, l'auteur propose les recommandations suivantes (tabl. 5) :

TABLEAU 5. — Doses d'engrais « économiques » recommandées selon la date de semis et le type d'entretien.

Type de désherbage	Dates de semis effectives (D = date optimale)					
	D	D + 10	D + 20	D + 30	D + 40	D > 40
Herbicide	300 + 75	250 + 50	200 + 50	150	100	0
Manuel	250 + 50	200 + 50	150	100	0	0
Date d'appl. complément azote	45-50 j	35-40 j	-	-	-	-

Les doses proposées correspondent à l'engrais complexe 10-18-18 et à l'urée exprimés en kg/ha.

A partir des données économiques de l'année 1984, il est possible de proposer la grille de décision suivante (tabl. 6).

Les itinéraires les plus intensifs sont les seuls capables de répondre simultanément à des objectifs à court (maximisation de la marge) et moyen (équilibre du bilan minéral) termes. Le principal facteur limitant est alors la disponibilité en trésorerie.

Une simulation faite à partir de ces recommandations et de la situation de la campagne cotonnière 1985/86 montre, par l'expérience de cette grille de décision, qu'il aurait été possible d'obtenir les résultats suivants :

- une économie de 770 millions de francs CFA sur la consommation d'engrais.
- une plus-value de 190 millions par la vente de coton-graines supplémentaires, soit un total voisin du milliard de francs CFA.

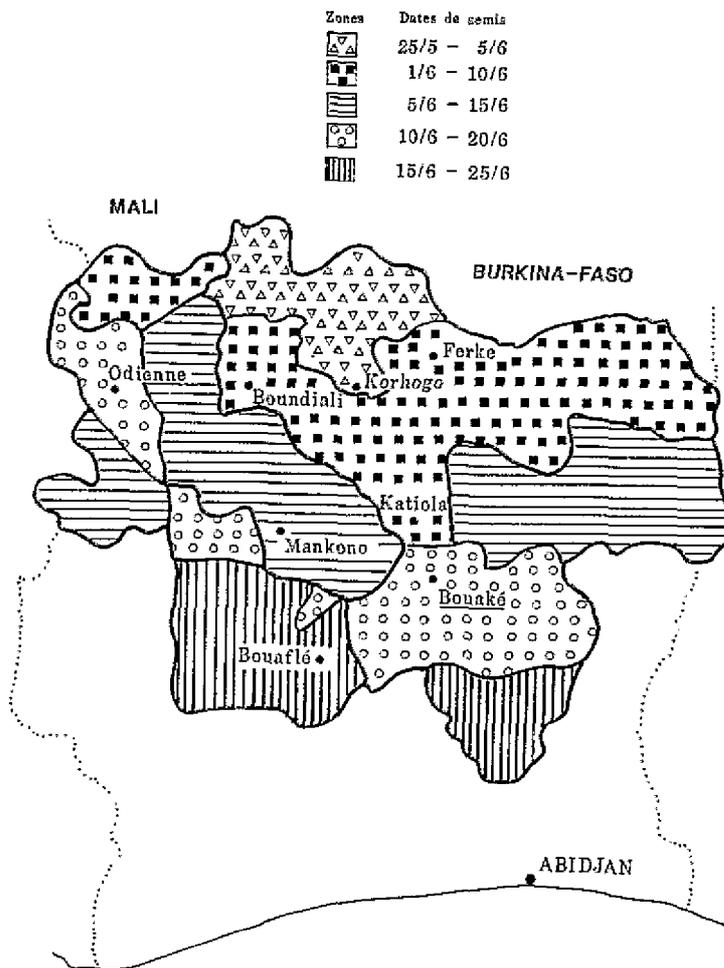


FIGURE 6. — Zone CIDT : Répartitions des dates de semis optimales.

TABLEAU 6. — Grille d'aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier.

Date semis	Type entretien	Espérance rendement kg/ha	Bilan minéral kg N + P + K	Dose utilisée dose éco. (1)	Coûts intrants (2)	Marge nette
D	Herbicide	2 350	0	1	68 300	201 950
	Manuel	1 850	0	1	42 640	170 110
D + 10	Herbicide	2 000	- 20	1	57 640	172 360
	Manuel	1 650	- 15	0,9	35 535	134 215
D + 20	Herbicide	1 750	- 25	0,9	50 535	130 715
	Manuel	1 350	- 35	0,6	21 525	133 725
D + 30	Herbicide	1 400	- 40	0,7	36 525	124 475
	Manuel	1 200	- 50	0,5	14 350	123 650
D + 40	Herbicide	1 150	- 45	0,7	29 350	102 900
	Manuel	950	- 75	0,0	0	109 250

(1) Indicateur du risque économique encouru ; à la valeur 1 correspond la probabilité de dépasser 1 fois sur 2 la dose dite économique avec la dose recommandée.

(2) Engrais + herbicide, coûts 1984 (13 % BNDA compris). Insecticides gratuits.

2) La fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire selon la protection phytosanitaire (CRETENET M. et VAYSIAIRE M., 1986).

L'interaction positive entre la fertilisation et la protection insecticide est bien connue (BRAUD M., 1981, 3).

Plus récemment, une étude analogue a été entreprise par le Département Textile de l'I.D.E.S.S.A avec une exploitation biométrique beaucoup plus performante.

A partir d'une expérimentation comportant 4 modes de protection phytosanitaire et 4 doses d'engrais (dont une nulle), il est possible de proposer les courbes de réponses suivantes :

$$Y = 2213 - 817 e^{-n/4} \quad (\text{protection phytosanitaire})$$

$$Y = 2157 - 68e^{-x/185} \quad (\text{fertilisation})$$

illustrées par les figures 7 et 8.

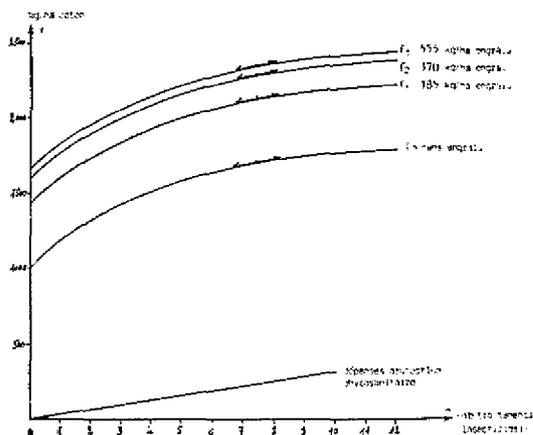


FIGURE 7. — Réponse à la fumure, zone nord.

A partir de ces deux équations, il est possible de calculer celle de la surface de réponse à 3 dimensions :

$$Y = 2503 - 683e^{-x/185} - 817e^{-n/4}$$

où x = doses d'engrais
 n = nombre des traitements insecticides

illustrés par la figure 9.

L'optimum économique, isocline, est la droite d'équation

$$n = 0,0216 x + 3,07$$

La marge brute est maximisée par 7 à 8 traitements insecticides, associés à 200 kg/ha d'engrais conduisant à une espérance de rendement de 2 150 kg/ha.

Les conditions optimales et les résultats économiques pour cette zone sont regroupés dans le tableau 7.

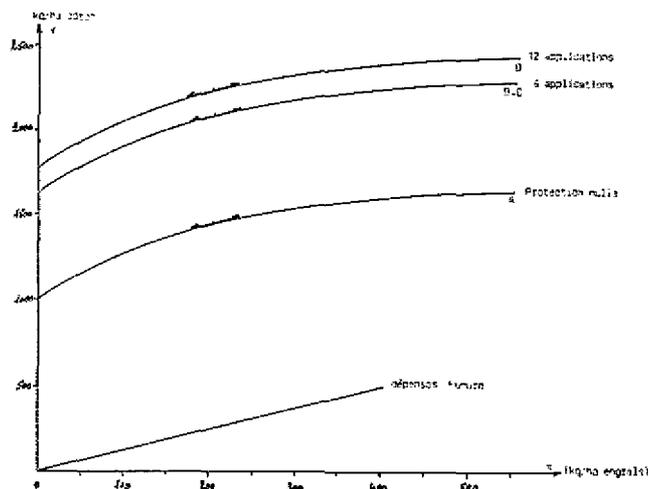


FIGURE 9. — Courbes d'iso-rendement, zone nord.

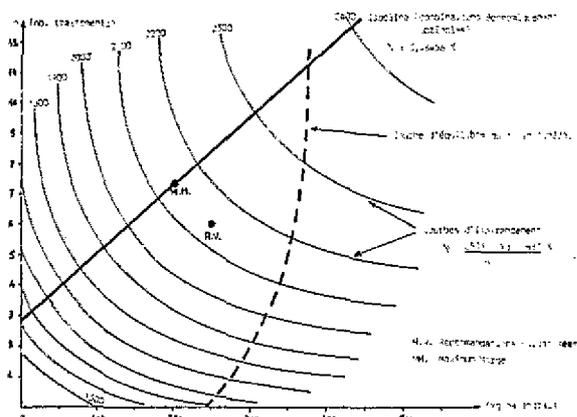


FIGURE 8. — Réponses à la protection phytosanitaire, zone nord.

TABLEAU 7. — Combinaisons optimales et résultats économiques (zone Nord).

Combinaisons optimales		Espérance de rendement kg/ha	Coût intrants CFA Prix 1995	Marge brute CFA
Nombre de traitements	Quantité d'engrais kg/ha			
0	0	1 003	0	115 345
1	0	1 184	3 665	132 495
2	0	1 324	7 330	144 930
3	0	1 434	10 995	153 915
4	43	1 661	20 791	170 224
5	89	1 847	31 016	181 389
6	136	1 993	41 384	187 811
7	182	2 106	51 608	190 582
8	228	2 193	61 833	190 362
9	275	2 262	72 200	187 930
10	321	2 315	82 425	183 800
11	367	2 357	92 649	178 406
12	413	2 389	102 874	171 861

CONCLUSION

La démarche que nous venons de présenter repose sur deux idées principales :

- Elle se veut aussi pragmatique que possible en essayant au maximum de se rapprocher des situations réelles, avec, pour premier effet, à la fois de limiter les gaspilla-

ges et d'accroître l'efficacité de la fertilisation. Par là même, elle est anti-normative et va à l'encontre d'une fertilisation « standard » basée sur une « moyenne » de résultats. La technicité croissante des paysans concernés par les systèmes de culture intensifs, notre connaissance

améliorée des problèmes, la possibilité d'utiliser des outils de plus en plus performants d'une part, l'environnement socio-écologique de plus en plus contraignant d'autre part, nous obligent à adopter une telle attitude.

- Elle est une application d'une démarche système très concrète dans la mesure où il s'agit de raisonner un plan de fertilisation à l'échelle non plus d'une culture isolée, le cotonnier en l'occurrence, mais d'un système de culture plus ou moins complexe, dont les composantes risquent d'être variables dans le temps, sous la pression de cet environnement socio-économique, compte

tenu des moyens disponibles, eux-mêmes susceptibles d'évolution.

Il ne s'agit donc plus de proposer telle ou telle solution qui, isolée, peut présenter un certain intérêt, mais qui, replacée dans un ensemble, va entraîner l'apparition de blocages techniques ou économiques pouvant la condamner. La conséquence nous conduit à une évaluation aussi vaste que possible.

En définitive, cette démarche peut être taxée d'un certain empirisme. Mais, cet empirisme peut être largement tempéré par l'utilisation judicieuse d'outils scientifiques de plus en plus performants avec, comme catalyseur, une bonne dose de bon sens.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BERGER, M. — Rapports I.R.C.T. *Documentation non publiée*.
2. BRAUD M., 1973. — Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier. *10^e Colloque Inst. Int. de la Potasse*, 265-277.
3. BRAUD, M., 1981. — Intérêt du cotonnier, support de tests biologiques pour contrôler l'évolution de la fertilité d'un sol. *Cot. Fib. trop.*, 36, 305-312.
4. BRAUD, M. — Rapports de mission en Centrafrique, à Madagascar, au Cameroun, au Tchad et au Mali. — *Documents I.R.C.T. non publiés*.
5. CORRE, H. ; BELEM. — Rapports I.R.C.T. Haute-Volta. *Doc. I.R.C.T. non publiés*.
6. CRETENET, M., 1987. — Aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Publication à paraître dans Cot. Fib. trop.*
7. CRETENET, M. ; VAISSAYRE, M., 1986. — Modèle de décision appliqué à l'interaction entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire en culture cotonnière. — *Cot. Fib. trop.*, 41, 2, 89-96.
8. DAESCHNER, M. *et al.* 1974. — Le contrôle de la nutrition minérale du cotonnier par analyses foliaires au Dahomey et au Togo. *Doc. I.R.C.T. non publié*, 9 p.
9. RICHARD, L., 1981. — Rôle de la matière organique et du potassium échangeable dans la réponse des cultures à la fertilisation potassique. — *Cot. Fib. trop.* 36, 2, 197-198.
10. SEMENT, G., 1980. — Etude des effets secondaires de la fertilisation minérale sur le sol dans des systèmes culturaux à base de coton, en Côte d'Ivoire. Premiers résultats en matière de correction. *Cot. Fib. trop.*, 35, 229-248.
11. THEVIN, Cl. ; FAGLA, P. — Rapports I.R.C.T. Bénin. *Doc. I.R.C.T. non publiés*.