

Aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier en Côte-d'Ivoire

M. Crétenet

Chef de la Division d'Agronomie IRCT-CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

RÉSUMÉ

La vulgarisation d'une dose d'engrais standard à la parcelle a connu un vif succès en partie lié à la gratuité des intrants durant les années 1977 à 1983. La suppression de toute subvention aux engrais à partir de 1984 a rendu au producteur l'initiative de la décision de la dose d'engrais à appliquer, et il convient de l'aider dans cette prise de décision.

L'étude de la réponse du cotonnier aux engrais, aussi bien en milieu contrôlé (112 essais) qu'en milieu réel (89 tests) indique une importante variabilité, en partie expliquée par les conditions d'alimentation hydrique de la plante, le type d'entretien de la culture (herbicide ou manuel), le niveau de productivité « naturelle » du sol, le nombre d'années de culture. La prise en compte des deux premiers facteurs mentionnés permet l'élaboration d'une

grille de recommandations de fumure en fonction du lieu, de la date de semis et du type d'entretien envisagé. Ces recommandations sont accompagnées d'une grille multicritère destinée à aider à la décision ou sont précisées les espérances de rendement dans chacun des cas, le bilan minéral correspondant, le coût des intrants et la marge brute attendue.

L'application de cette grille de recommandations aux conditions de la campagne agricole 1984-1985 en Côte-d'Ivoire (212 070 tonnes de coton sur 145 324 ha) conduit à une économie estimée à 5 350 tonnes d'engrais (soit une valeur de 770 millions de francs CFA) à une augmentation de la production nationale estimée à 1 620 tonnes de coton portant l'intérêt de l'opération pour l'ensemble des producteurs à près d'un milliard de francs CFA.

MOTS CLES : Côte-d'Ivoire, cotonnier, fertilisation, interactions, vulgarisation, aide à la décision, coûts, marge.

INTRODUCTION

La gratuité des intrants, engrais et insecticides, en culture cotonnière en Côte-d'Ivoire, au cours des campagnes agricoles 1977-1978 à 1983-1984 est l'un des éléments d'une politique générale visant à réduire les disparités régionales entre les zones forestières où les cultures de café et cacao sont plus rémunératrices et les zones de savanes du centre et du nord où le coton procure un revenu moindre.

Le développement de la culture cotonnière dans les zones de Savanes est sous la responsabilité d'une société d'économie mixte, la Compagnie Ivoirienne de Développement des Textiles (CIDT) qui, par l'intermédiaire de ses agents d'encadrement, assure la vulgarisation auprès des producteurs des résultats de la recherche. Cette vulgarisation, plus particulièrement en période de gratuité des intrants, est dite de « masse », dans la mesure où elle correspond à la fourniture à l'agriculteur d'un « paquet technologique » comprenant : une fiche technique de conduite de la culture, un lot de semences, une dose d'engrais et les produits insecticides nécessaires à la protection phytosanitaire de la culture.

Cette fiche technique subit dans son application à l'échelle de la parcelle certaines modifications liées aux contraintes que connaît le producteur au cours de la campagne : pluviométrie, calendriers culturaux des autres cultures, disponibilités en main-d'œuvre, en trésorerie... Dès lors que l'on assiste à une diversification de la conduite des parcelles, plus particulièrement dans la date de semis et dans les techniques d'entretien de la culture, la répartition optimale à l'échelle régionale d'une quantité donnée d'engrais ne devrait plus se faire sous la forme d'une dose parcellaire standard, en raison d'importantes interactions entre la fumure et les autres facteurs de production.

De plus, l'application du principe de la vérité des prix, à savoir la suppression de toute subvention aux engrais à partir de 1984, conduit le producteur à devenir le principal décideur de la quantité d'engrais à apporter sur sa parcelle et il convient de l'aider dans sa prise de décision. L'élaboration d'une grille multicritère d'aide à la décision correspond au besoin d'optimiser la consommation d'engrais sur cotonnier en tenant compte des interactions entre les facteurs de production à l'échelle de la parcelle.

RÉSULTATS OBTENUS EN MILIEU CONTRÔLÉ

Dispositifs, Méthodes

La réponse du cotonnier aux engrais est étudiée depuis de nombreuses années en Côte-d'Ivoire, mais nous ne faisons référence ici qu'aux résultats obtenus sur le réseau d'expérimentation multilocale, géré par la CIDT, couvrant l'ensemble de la zone cotonnière et constitué actuellement de 18 points d'observations (PO). La répartition de ces PO est indiquée sur la figure 1.

La réponse à la fertilisation a été observée dans 112 situations pédoclimatiques, depuis 1972, sur des essais pérennes en dispositif factoriel, ou split-plot 4×4 , comprenant notamment 4 niveaux de fumure :

- F0 témoin non fertilisé ;
- F1 85 unités fertilisantes/ha (N + P₂O₅ + K₂O) ;
- F2 170 UF/ha (N + P₂O₅ + K₂O) ;
- F3 255 UF/ha (N + P₂O₅ + K₂O).

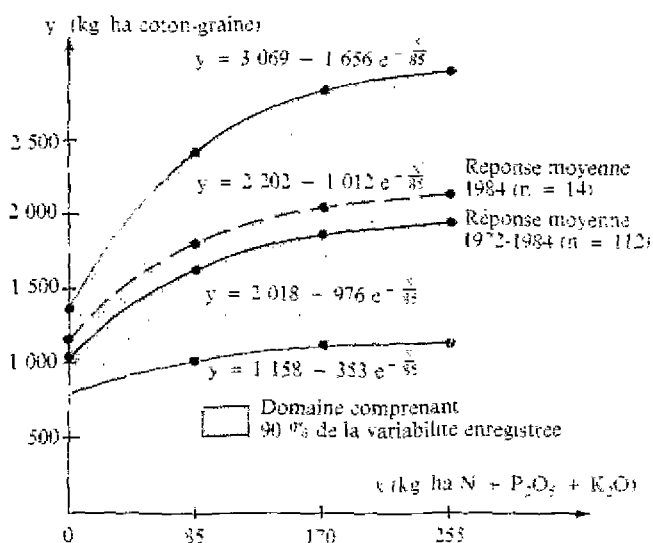
daïres sur l'ensemble du cycle, exprimé en % des besoins en eau) ;

- âge de l'essai (A) ;
- niveau de production du témoin non fertilisé (T) ;
- potentiel de production (a) ;
- efficacité de l'engrais (b).

TABEAU 1 ET FIGURE 2
Variabilité de la réponse aux engrais du cotonnier.
Variability of cotton response to fertilizers.

	a*	b**
Moyenne 1984 (n = 14)	2 202	1 012
Médiane 1984	2 161	1 057
CV %	31,3	39,7
Moyenne interannuelle	2 018	976
CV % (n = 112)	31,8	46,3

a* : potentiel de production.
b** : efficacité de l'engrais.



Les bilans hydriques ont été calculés pour une RFU (réserve facilement utilisable) de 50 mm et une ETP (évapotranspiration potentielle) décadaire de 50 mm, en raison des qualités très moyennes des sols concernés d'une part, et de la précision souhaitée pour ce paramètre, d'autre part.

Les coefficients culturaux retenus sont de :

- 0,4 de 0 à 30 jours après le semis (JAS) (soit 20 mm décade) ;
- 0,6 de 30 à 60 JAS (soit 30 mm décade) ;
- 1,0 de 60 à 90 JAS (soit 50 mm décade) ;
- 0,8 de 90 à 120 JAS (soit 40 mm décade) ;
- 0,6 de 120 à 130 JAS (soit 30 mm décade).

Les coefficients de corrélation entre ces différentes variables figurent dans le tableau 2.

Le niveau de production du témoin est relativement indépendant des conditions d'alimentation hydrique de l'année et il est faiblement corrélé à l'âge de l'essai ($r = -0,25$). Par contre, il est fortement corrélé (analyse des résidus de la régression : $r = 0,71$) au lieu, principalement aux caractéristiques pédologiques, vu la faible variabilité inter-lieu dans les conditions de conduite de la culture.

Cet effet lieu permet de classer les PO en 3 catégories :

- sols de faible niveau de production naturelle
Korhogo = Beheke < Brobo < Dabakala = Ondefiduo
(- 13) (- 12) (- 9) (- 8) (- 8)
- < Boundiali = Niakara
(- 5) (- 4)
- sols de niveau moyen quant à leur productivité naturelle
Ferke = Tienigbe = Gohitafla = Tengrela = Odienne
- sols de fort niveau de production naturelle
Nambingue = Seguela = Daloa < Daoukro < Touba
(+ 4) (+ 4) (+ 4) (+ 6) (+ 12)
- < Dianra
(+ 17)

Les 2 facteurs, lieu et âge, permettent d'expliquer 60 % de la variabilité du témoin (moy. = 1 134 kg/ha ; CV = 42 %). Par année d'ancienneté de l'essai le niveau du témoin baisse de 50 kg/ha.

Le potentiel de production (a) est fortement corrélé ($r = 0,77$), au niveau du témoin, à l'indice d'alimentation hydrique ($r = 0,44$), mais pratiquement pas à l'âge de l'essai (maintien du potentiel de production).

Ces 2 facteurs (T et IAH) permettent d'expliquer près de 75 % de la variabilité enregistrée sur le potentiel de production (moy. = 2 196 kg/ha ; CV = 33 %). Globalement, un déficit hydrique décadaire de 10 mm se traduit par une baisse du potentiel de production de 30 kg/ha de coton.

L'efficacité de l'engrais (b) est peu liée au niveau du témoin, mais elle est en étroite relation avec le potentiel de production ($r = 0,76$), l'indice d'alimentation hydrique ($r = 0,51$), et l'âge de l'essai ($r = 0,28$). Ces 3 variables

TABEAU 2
Coefficients de corrélation entre le potentiel de production, l'efficacité de l'engrais, le niveau de production du témoin, l'âge de l'essai, et l'indice d'alimentation hydrique.

Correlation coefficients between potential production, fertilizer efficiency, level of production of the control, age of the test and index of hydric supply.

	a	b	T	A	IAH
a	1,00				
b	0,76	1,00			
T	0,77	0,17	1,00		
A	0,02	0,28	- 0,25	1,00	
IAH	0,44	0,51	0,16	- 1,00	1,00
Moyennes	2 196	1 062	1 133	4,31	73,77
CV %	33	44	42	75	25

Seuil de signification à P : 0,05 $r = 0,27$
P : 0,01 $r = 0,35$

TABLEAU 3

Doses « économiques » selon les conditions pédologiques (rendement témoin) et climatiques (indice d'alimentation hydrique).

Economical doses according to pedological (control yield) and climatic (index of hydric supply) conditions.

Rendement du témoin (kg/ha)		IAH (%)		
		50-60	70-80	90-100
500	Dose éco. (kg/ha engrais)	150	200	250
	Espérance de rendement (kg/ha)	1 000	1 200	1 450
1 000	Dose éco. (kg/ha engrais)	200	250	300
	Espérance de rendement (kg/ha)	1 550	1 800	2 050
1 500	Dose éco. (kg/ha engrais)	250	300	350
	Espérance de rendement (kg/ha)	2 100	2 400	2 650

« expliquent » 70 % de la variabilité observée sur l'efficacité de l'engrais (moy. = 1 063 ; CV = 44 %).

Les relations entre ces facteurs permettent d'établir la grille du tableau 3 où figurent :

— les doses d'engrais « économiques » : d'après la loi des accroissements de rendement moins que proportionnels, il s'agit de la dose pour laquelle le produit marginal est égal au coût marginal ; c'est encore celle qui maximise la marge nette aux coûts de production 1984, soit 142 francs CFA/kg d'engrais, 115 francs CFA/kg de coton. Le calcul est réalisé à partir de l'ajustement $Y = a - be^{-x/35}$.

— L'espérance de rendement correspondant.

Les fréquences observées pour IAH et T sont indiquées dans le tableau 4.

TABLEAU 4

Fréquences observées pour l'indice IAH et le rendement du témoin.

Frequencies observed for the index IAH and yield of the control.

IAH %	Fréquences cumulées	Témoin kg/ha	Fréquences cumulées
< 50 %	13 %	< 750	24 %
< 60 %	20 %	< 1 000	44 %
< 70 %	39 %	< 1 250	57 %
< 80 %	52 %	< 1 500	78 %

RÉSULTATS EN MILIEU PAYSAN

Dispositif

89 tests en milieu paysan ont été mis en place en 1984 :

- 48 en région centrale et ouest (secteurs de Beoumi, Bonafia, Mankono, Séguéla, Touba, Odienné) ;
- 41 en région nord (secteurs de Ferké, Kothogo, Boundiali).

Les objets suivants étaient en comparaison :

- 100 kg/ha de 10.18.18 + 25 kg/ha urée ;
- 200 kg/ha de 10.18.18 + 50 kg/ha urée ;
- 300 kg/ha de 10.18.18 + 75 kg/ha urée.

Sur chaque test étaient relevés : les dates de semis, de levée, d'apport d'engrais, du premier sarclage, du premier

TABLEAU 5

Résultats des tests de fumure en milieu réel (kg/ha coton-graine).

Results of the fertilization tests carried out in farmers fields (kg/ha seed-cotton).

	Secteurs nord			Secteurs centre-ouest			Ensemble secteurs		
	sans herb.	avec herb.	Ens. Nord	sans herb.	avec herb.	Centre Ouest	sans herb.	avec herb.	Ens.
n tests	11	30	41	32	16	48	43	46	89
Rdt obs. 1 (125 kg/ha)	1 617	1 827	1 771	1 596	1 827	1 673	1 601	1 827	1 718
Rdt obs. 2 (250 kg/ha)	1 842	2 049	1 993	1 689	2 028	1 802	1 728	2 042	1 890
Rdt obs. 3 (375 kg/ha)	1 947	2 276	2 188	1 802	2 181	1 929	1 839	2 243	2 048
Ajustements									
$Y = a - be^{-x/35}$	a	2 065	2 395	2 306	1 852	2 288	1 998	1 907	2 358
	b	879	1 149	1 076	522	920	656	614	1 069
1 ^{er} sar.-lev.	18 j	33 j	29 j	25 j	38 j	29 j			
n sarclages	2.3	1.2	1.5	2.3	1.2	2.0			

traitement insecticide, les informations concernant l'utilisation d'herbicide, le nombre des sarclages, des traitements, ainsi que les pesées des différentes récoltes.

Résultats

Les rendements observés figurent dans le tableau 5 ainsi que les valeurs des paramètres a et b de la régression :

$$Y = a - be^{-x^2}$$

On note une utilisation plus fréquente des herbicides dans les secteurs du Nord (73 %) que dans les secteurs du Centre-Ouest (33 %).

Les réponses observées sur parcelles ayant reçu de l'herbicide sont comparables à celles obtenues en milieu contrôlé (PO) (valeurs a et b ensemble secteurs avec herbicide).

Les interactions entre le type de désherbage (manuel ou chimique) et le niveau de fumure sont importantes puisque en l'absence de fumure ($\bar{Y} = a - b$), l'effet herbicide est nul, mais pour une fumure de 250 kg/ha d'engrais, l'effet herbicide est de plus de 300 kg/ha de coton-graine.

De ce point de vue, l'herbicide est remboursé (au prix de 1984) dès que l'on apporte 65 kg/ha d'engrais !

On peut attribuer la moins bonne réponse aux engrais des parcelles entretenues manuellement à un premier sarclage trop tardif : 18 à 25 jours après la levée, alors que l'on considère que cette première intervention devrait s'effectuer entre le 12^e et le 15^e jour après le semis. Paradoxalement, c'est dans le Centre où le problème de l'enherbement est le plus crucial que le premier sarclage est réalisé le plus tardivement. Dans le cas de l'utilisation d'herbicide, l'intervalle levée - 1^{re} intervention est augmenté de 15 jours et le nombre d'interventions est diminué d'une unité.

Les doses « économiques » d'engrais selon les cas sont indiquées dans le tableau 6.

Il est inquiétant de constater que le rapport des prix actuels (kg engrais/kg coton = 1,24) ne permet pas de justifier économiquement l'utilisation de doses d'engrais assurant un bilan minéral équilibré ; sachant, par ailleurs, qu'il s'agit là d'un bon indice de l'évolution à moyen terme des potentialités du sol (2), il est indispensable de rendre compatible l'objectif de rentabilité à court terme et celui de préservation du capital sol par un meilleur ajustement des prix (tabl. 7).

TABLEAU 6
Dose d'engrais « économique » selon la région et le type d'entretien.
Economic doses of fertilizers according to regions and types of maintenance.

	Nord Herbicide		Centre-Ouest Herbicide		Ensemble secteurs Herbicide		Ens.
	sans	avec	sans	avec	sans	avec	
Dose économique engrais, kg/ha	250	300	150	250	180	285	240
Espérance RDT kg/ha coton	1 850	2 150	1 600	2 050	1 650	2 100	1 900
Bilan minéral P ₂ O ₅ -K ₂ O	- 30	- 32	- 53	- 46	- 43	- 29	- 35

TABLEAU 7
Evolution des doses « économiques »
et du bilan minéral
selon le rapport coût engrais (kg) : prix coton (kg) (1-2).
Variations in economical doses and mineral balance
according to the ratio fertilizer cost (kg) : cotton price (kg).

Rapport prix $\frac{\text{kg engrais}}{\text{kg coton}}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Dose économique kg/ha engrais	325	300	280	265	250
Espérance rdt kg/ha coton	2 000	1 950	1 950	1 925	1 900
Bilan minéral (1) N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	- 8	- 15	- 25	- 30	- 35

SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

La durée du cycle des pluies utiles est un facteur déterminant, à travers l'alimentation hydrique de la plante, sur la réponse du cotonnier à la fumure (cf. p. 246). On propose donc de raisonner les doses d'engrais à appliquer en fonction de la date de mise en place de la culture et de la date d'arrêt probable des pluies. Les données fournies par le BDPA (1) sur les dates auxquelles la pluviométrie plus les réserves en eau du sol deviennent inférieures à ETP/2 permettent de regrouper les zones d'intervention CIDD en 5 groupes (tabl. 8).

(1) BDPA : Bureau pour le Développement de la Production Agricole.

Les tests de fumure en milieu réel indiquent par ailleurs un effet très important de l'herbicide sur la réponse à la fumure du cotonnier. C'est pourquoi dans le tableau 9, on a jugé bon de tenir compte de ce facteur.

Les paramètres a et b du tableau 9 ont été estimés d'une part à partir d'un effet moyen de la date de semis observé à maintes reprises dans différentes situations (milieu contrôlé et milieu réel), à savoir 200 à 300 kg/ha de baisse de rendement par décade de « retard » pour une fumure de 250 kg/ha d'engrais (3 et 4), et d'autre part, à partir des potentiels de production atteints en l'absence de facteur limitant (4).

TABLEAU 8
Répartition des zones CIRD selon la date d'arrêt probable des pluies.
Distribution of CIRD areas according to the date on which rains are likely to stop.

Arrêt des pluies (p = 50 %)	5-10	10-10	15-10	20-10	25-10
Date de semis (D)	25.5-5.6	1.5-10.6	5.6-15.6	10.6-20.6	15.6-25.6
SECTEUR					
Odienné		Tienko Goulia	Madinani	Odienné	
Boundiali	Tingréla Bolona Zanguinasso Saniata	Kasséré Gbon Boundiali			
Korhogo	Korhogo Niofouin M'Bingoué	Dikodougou Sirasso Napié Sinématiali			
Ferké	Niellé Diawaia Ouangolo	Ferké			
Bondoukou Touba		Bouna	Bondoukou Borotou Ouainou Touba		
Séguéla			Morondo Kani	Séguéla	
Mankono			Dianra Saniata Marandala Tienigbe Mankono Kourahiri Béoumi		
Béoumi Bouaké		Niakhara Katiola	Daçakala	Bouaké M'Bahiakro Yamkro Gohitafla	Bongouatou Daïca Zanoula Bouafé

TABLEAU 9
Estimation des paramètres de la réponse selon la date de semis et le type de désherbage.
Estimation of the parameters of response according to date of sowing and type of weed control.

Désherbage	D	D + 10	D + 20	D + 30	D + 40
Chimique + manuel a	2 600	2 285	1 975	1 660	1 350
b	1 900	1 425	1 050	675	300
Manuel seul a	2 100	1 825	1 550	1 275	1 000
b	1 200	900	600	300	0

Recommandations

Le tableau 10 indique les doses d'engrais complexe 10.18.18 et d'urée suivant la date effective du semis et le type de désherbage chimique ou manuel, pour les différentes zones mentionnées dans le tableau 8.

On notera (tabl. 11) que seuls les itinéraires les plus inten-

sifs sont en mesure de répondre simultanément à des objectifs à court terme (maximisation de la marge) et à moyen terme (équilibre du bilan minéral). Le principal facteur limitant est dans ces conditions (intensification) la disponibilité en trésorerie à la mise en place : ce sont en effet les itinéraires qui nécessitent le plus d'intrants.

TABLEAU 10
Doses d'engrais « économiques » recommandées selon la date de semis et le type de désherbage
(kg/ha du complexe 10.18.18 + urée).
Economical doses of fertilizers recommended according to sowing date and weed control type
(kg/ha 10.18.18 complex + urea).

Désherbage	D	D + 10	D + 20	D + 30	D + 40
Chimique + manuel	300 + 75	350 + 50	200 + 50	200	50
Manuel seul	250 + 50	200 + 50	150	50	0
Date complément N (1)	45-50 j	35-40 j	—	—	—

D = date de référence (méthode de semis optimale) selon la zone (tabl. 8).

TABLEAU 11

Grille d'aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier.
Scale intended to help decision-making in cotton fertilization.

Date de semis	Type de desherbage	Esperance de rendement (kg de coton-graine)	Bilan minéral N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	Coût des intrants (1)	Marge brute CFA
D	chimique + manuel	2 350	0	68 300	201 950
	manuel seul	1 850	0	42 640	170 110
D + 10	chimique + manuel	2 000	- 20	57 640	172 360
	manuel seul	1 600	- 10	35 535	148 465
D + 20	chimique + manuel	1 700	- 20	50 535	144 965
	manuel seul	1 300	- 35	21 325	127 975
D + 30	chimique + manuel	1 450	- 20	43 700	123 050
	manuel seul	1 050	- 60	7 175	113 575
D + 40	chimique + manuel	1 100	- 65	22 175	104 325
	manuel seul	1 000	- 80	0	115 000

D : date de semis permettant d'assurer un cycle de pluies utiles de 130 jours.

(1) Engrais + herbicide, coûts 84, y compris 13 % BNDA (insecticides gratuits).

CONCLUSION

La production nationale ivoirienne a atteint en 1984/1985, 212 070 tonnes de coton-graine sur une superficie de 145 824 ha dont 94 % avaient reçu 200 kg/ha de complexe 10.18.18, et 70 % un complément d'urée de 50 kg/ha ; la quantité d'engrais épandu a été de 32 399 tonnes représentant une valeur de 4 665 200 milliers de francs CFA. Moyennant certaines hypothèses simplificatrices (répartition homogène des surfaces fertilisées et des surfaces ayant reçu une application d'herbicide, entre les différentes zones d'un même secteur), la répartition des surfaces cotonnières selon le mode d'entretien et la date de mise en place (relativement aux dates de référence du tableau 8), est présentée au tableau 12.

L'estimation, à partir des courbes de réponse du tableau 9, de la production nationale de coton-graine donne une valeur de 213 503 tonnes (101 % de la production réelle). L'application des recommandations du tableau 10 conduit à une consommation nationale de 27 050 tonnes d'engrais, et l'estimation de la production nationale selon le même modèle que précédemment, mais en appliquant les recommandations, est de 215 122 tonnes ; ainsi la plus-value à attendre, pour l'ensemble des producteurs ivoiriens, par l'application de la grille de recommandations, avoisine 1 milliard de francs CFA : 770 millions d'économie sur la consommation d'engrais et 186 millions pour la vente de 1 620 tonnes de coton supplémentaires.

TABLEAU 12

Surfaces (ha) emblavées selon la date de semis et le type d'entretien pour la campagne agricole 1984-85
Area (ha) planted according to the sowing date and the type of maintenance for the 1984-85 season.

Type de desherbage	Dates de mise en place					Total
	D	D + 10	D + 20	D + 30	D + 40	
Chimique puis manuel	4 967	7 385	7 177	3 319	1 287	24 135 (17 %)
Manuel seul	21 410	32 695	32 621	19 185	15 778	121 689 (83 %)
Total	26 377 (18 %)	40 080 (27 %)	39 798 (27 %)	22 504 (15 %)	17 065 (12 %)	145 824

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agroclimatologie de la Côte-d'Ivoire. Bureau pour le Développement de la Production Agricole (1979).
2. SÉMENT G., 1983. — La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte-d'Ivoire. Supplément à *Cot. Fib. Trop. Sér. documents, études et synthèses* n° 4.
3. Rapport annuel d'activité Campagne 84-85. *CIDT* (BP 622, Bouaké).
4. Rapport annuel 83-84 IDESSA, Filière Textile, Section Recherche d'Accompagnement (note technique 5-84, IDESSA Textile, Mai 84). BP 604, Bouaké, Côte-d'Ivoire.
5. Rapport annuel 84-85 IDESSA, Filière Textile, Section Recherche d'Accompagnement (note technique 9-85, IDESSA Textile, Juin 85).

Aids for decision making on cotton fertilization in Côte-d'Ivoire

M. Crétenet

SUMMARY

The recommendation of a standard fertilizer dose per plot was greatly successful partly because inputs were free from 1977 to 1983. The removal of subsidies to fertilizers as from 1984 gave back to producers the initiative of deciding on the dose of fertilizer to apply and they should be helped in this decision making.

The study on cotton response to fertilizers, in both controlled environments (112 tests) and farmer's fields (39 tests) shows wide variability, partly explained by the conditions of plant hydric supply, the type of crop maintenance (chemical or manual), the level of « natural » soil productivity and the number of farming years. Taking into account the two first factors makes it possible

to develop a scale of recommendations on fertilization according to places, sowing dates and types of maintenance considered: these recommendations go with a multicriterion scale intended to help decision making where the yield expected in each case, the corresponding mineral balance, cost of inputs and gross margin anticipated are pinpointed.

The application of this scale of recommendations to the conditions of the 1984-1985 season (212 070 tons of cotton on 145 324 ha) made it possible to save 6 350 tons of fertilizer (i.e. a value of CFA F 770 millions) with an increase in national cotton production of 1 620 tons, bringing the advantage of the operation for all the producers to around CFA F one billion.

KEY WORDS : Ivory Coast, cotton, fertilization, interactions, extension, costs, margin, aids for decision.

INTRODUCTION

Free inputs, fertilizers and insecticides, in cotton growing in Côte-d'Ivoire during 1977/1978 to 1983/1984 seasons is one of the elements of a general policy aiming at reducing the regional disparities between forest areas where coffee and cacao are lucrative and savannah areas in the Centre and North where cotton gives less income.

The development of cotton growing in savannah areas is carried out under the responsibility of a company with a mixed economy, the CIDI (Compagnie Ivoirienne de Développement des Textiles) which, through its supervision agents, extends to producers the results of the research. This is called mass extension, especially in periods when inputs are free, since it corresponds to the supply of farmers with a technological package including one cultivation technical sheet, one seed batch, one fertilizer dose and the insecticide products required by crop protection.

When applied at the level of the plot, this technical sheet is subject to some modifications connected with the

constraints experimented by producers during the season: rainfall, dates of cultivation, availability of labour, of funds... As plot cultivation is being diversified especially as far as sowing dates and maintenance techniques are concerned, the optimal distribution on a regional scale of a given amount of fertilizer should not take the form of a standard plot dose any more because of considerable interactions between fertilization and other inputs.

Besides, the application of the principle of real prices, that is to say the removal of subsidies to fertilizers as from 1984, makes producers the main decision makers about the amount of fertilizer to apply to their plot and they should be helped in this decision making. The development of a multicriterion scale to help decision making corresponds to the need to optimize the consumption of fertilizer on cotton taking into account the interactions between inputs at the level of the plot.

RESULTS OBTAINED IN CONTROLLED ENVIRONMENTS

Design. Methods

Cotton response to fertilizers has been studied for many years in Côte-d'Ivoire but we only refer below to the results obtained on the multilocal experimentation network managed by CIDI covering the whole of the cotton area and consisting today of 18 observation sites (P.O.). The distribution of these P.O. appears in Figure 1.

Response to fertilization has been observed in 112 pedoclimatic situations since 1972, on perennial tests in a factorial or 4×4 split-plot design including notably 4 levels of fertilization:

- F0 non-fertilized control;
- F1 85 fertilizing units/ha ($N + P_2O_5 + K_2O$);
- F2 170 FU/ha ($N + P_2O_5 + K_2O$);
- F3 255 FU/ha ($N + P_2O_5 + K_2O$).

The second factor studied in this type of test was first of a varietal nature, since it concerned sowing density and then fertilizer formulas. These factors did not show any significant interaction with fertilization and were therefore not selected as criteria in the development of the decision scale.

Results

For each of the 112 pedoclimatic situations, response to fertilizers can be illustrated by an adjustment of yields to the model:

$$Y = a - be^{-x/35}$$

($Y =$ kg/ha seed cotton; $x =$ kg/ha $N + P_2O_5 + K_2O$).

The parameters a and b represent potential production and fertilizer efficiency respectively.

The process consists in identifying, quantifying and selecting the action of the main factors responsible for the variability observed on response to fertilizers (Table 1, Figure 2).

Although higher in 1984, the values of parameters a and b do not differ significantly ($P = 0.05$) from interannual means.

A multiple regression analysis was carried out on the results of 54 tests for which we had the following pieces of information:

— hydric balances per decade, expressed in index of hydric supply (IAH = 100 — accumulation of deficits per decade over the whole cycle expressed in % of water requirements ;

- age of the test (A) ;
- level of production of the non-fertilized control (T) ;
- potential production (a) ;
- fertilizer efficiency (b).

Hydric balances were calculated for an Eur (easily usable reserve) of 50 mm and a PET (potential evapotranspiration) per decade of 50 mm, because of the mediocre qualities of the soils involved on the one hand and of the accuracy desired for this parameter on the other hand. The cultivation coefficients selected are :

- 0.4 from 0 to 30 days after sowing (DAS) (*i.e.* 20 mm/decade) ;
- 0.6 from 30 to 60 DAS (*i.e.* 30 mm/decade) ;
- 1.0 from 60 to 90 DAS (*i.e.* 50 mm/decade) ;
- 0.8 from 90 to 120 DAS (*i.e.* 40 mm/decade) ;
- 0.6 from 120 to 130 DAS (*i.e.* 30 mm/decade).

The correlation coefficients between these variables appear in Table 2.

The level of production of the control is relatively independent of the conditions of hydric supply of the year and slightly correlated with the age of the test ($r = -0.25$). On the other hand, it is highly correlated (analysis of regression remainders : $r = 0.71$) with the place (chiefly pedological characteristics, considering the low inter-place variability under the conditions of cultivation).

The place effect allows the P.O. to be classified into 3 categories :

- Soils with a low level of « natural » production
Korhogo = Beheké < Brobo < Dabakala = Ondefiduo
(-13) (-12) (-9) (-8) (-8)
< Boundiali = Niakara
(-5) (-4)

- Soils with an average level of « natural » production
Ferké = Tienigbé = Gohitafla = Tengréla = Odienné

- Soils with a high level of « natural » production
Nambigué = Séguéla = Daloa < Daoukro < Touba
(+4) (+4) (+4) (+6) (+12)
< Dianra
(+17)

These two factors (age and place) make it possible to « explain » 60 % of the variability of the control (average = 1 134 kg/ha ; CV = 42 %). Over time, the level of the control decreases by 50 kg/ha each year.

Potential production (a) is highly correlated ($r = 0.77$) to the control, to the index of hydric supply ($r = 0.44$) but practically not to the age of the test.

These two factors (T and IAH) make it possible to « explain » nearly 75 % of the variability observed in potential production (average = 2 196 kg/ha ; CV = 33 %). On the whole, a hydric deficit per decade of 10 mm is translated by a decrease in potential production of 30 kg/ha cotton.

Fertilizer efficiency (b) is slightly correlated to the control but highly correlated to potential production ($r = 0.76$), the index of hydric supply ($r = 0.51$) and the age of the test ($r = 0.28$). These variables « explain » 70 % of the variability observed in fertilizer efficiency (average = 1 053 ; CV = 44 %).

The relations between these factors allow the scale of Table 3 to be established, which shows :

- the « economical » fertilizer doses : according to the law of less than proportional yields, it is the dose for which marginal product is equal to marginal cost ; also it is the dose that maximizes the net margin at 1984 production costs, *i.e.* CFA F 142 kg fertilizer, CFA F 115 kg cotton. The calculation is made on the basis of the adjustment

$$Y = a - be^{-x/35}$$

- the corresponding yield expected.

The frequencies observed for IAH and T are shown in Table 4.

RESULTS OBTAINED IN FARMERS' FIELDS

Design

89 tests were established in 1984 in farmers' fields :

- 48 in the Centre and the West (areas of Béoumi, Bouaflé, Mankono, Séguéla, Touba, Odienné) ;
- 41 in the North (areas of Ferké, Korhogo, Boundiali).

The three following treatments were compared :

- 100 kg/ha of 10.18.18 + 25 kg/ha/urea ;
- 200 kg/ha of 10.18.18 + 50 kg/ha/urea ;
- 300 kg/ha of 10.18.18 + 75 kg/ha urea.

For each test, we noted the dates of sowing, emergence, fertilizer application, first weeding and first insecticide application as well as information on the use of herbicide, the number of weedings and applications and the weight of each picking.

Results

The yields observed are shown in Table 5 as well as the values of a and b of the equation :

$$Y = a - be^{-x/35}$$

It can be observed that herbicides are more frequently used in the northern area (73 %) than in the centre-western area (33 %).

The responses observed on herbicide treated plots are comparable to those obtained in controlled environments (PO) (a and b values together, sectors with herbicide).

The interactions between the type of weeding (manual or chemical) and the level of fertilization are significant since in the absence of fertilization ($\hat{Y} = a - b$), the herbicide effect is nil ; it is over 300 kg/ha seed cotton when 250 kg/ha fertilizer are applied. From this point of view, the herbicide is repaid (at 1984 price) as soon as 65 kg/ha fertilizer are applied !

The poorer response to fertilizers in manually maintained plots can be ascribed to a too late first weeding : 18 to 25 days after emergence when it is considered that it should be carried out between the 12th and 15th day after sowing. Paradoxically, it is in the Centre where the problem of weed cover is the most crucial that the first weeding is carried out the latest. In the case where herbicides are used, the interval between emergence and first intervention is increased by 15 days and the number of interventions is decreased by one unit.

The « economical » doses of fertilizers according to cases are shown in Table 6.

It is worrying to observe that the ratio of present prices (kg fertilizer/kg cotton : 1.24) does not allow the economic justification of the use of fertilizer doses providing an equilibrated mineral balance : knowing besides that this is

a good index of middle-term evolution of soil potentialities (2), it is indispensable to make the objective of short-term profitability compatible with that of soil conservation by a better adjustment of prices (Table 7).

SYNTHESIS AND RECOMMENDATIONS

The duration of the cycle of useful rains is a deciding factor, through plant hydric supply, on cotton response to fertilization (cf. p. 246). It is therefore proposed to reason on the doses of fertilizers to apply according to the date on which the crop was established and to the date on which the rains are likely to stop. The data provided by BDPA (1) about the dates on which rainfall and soil water reserves are under PET/2 allow CIDT areas to be distributed into 5 groups (Table 8).

As the fertilization tests in farmers' fields indicate a highly significant effect of herbicides on cotton response to fertilization, it has been thought useful to take this factor into account in Table 9.

The parameters a and b of Table 9 were estimated on the basis of a mean effect of the sowing date observed on many occasions in different situations (controlled environments and farmers' fields), i.e. 200 to 300 kg/ha of reduc-

tion in yield per decade of « delay » for a fertilization of 250 kg/ha fertilizer on the one hand, and (3, 4) on the other hand on the basis of the potential productions reached in the absence of limiting factor (4).

Recommendations

Table 10 indicates the doses of complex fertilizer 10.18.10 and of urea according to the effective sowing date and type of manual or chemical weed control for the different zones mentioned in table 8.

It should be noted (Table 11) that only the most intensive formulas can meet short-term (maximized margin) and middle-term (equilibrated mineral balance) objectives simultaneously. Under these conditions, the major limiting factor is the availability of funds at the beginning of the season : they are the formulas which require the most inputs.

CONCLUSION

In 1984/85, national production in Côte-d'Ivoire reached 212 070 tons of seed-cotton on an area of 145 824 ha, 94 % of which had received 200 kg/ha of 10.18.18 complex and 70 % a complement of urea of 50 kg/ha ; the amount of fertilizers applied was 32 399 tons amounting to a value of CFA 4 665 200 thousands. With some simplifying hypotheses (homogeneous distribution of fertilized and herbicide treated lands among the zones of a same area), the distribution of the area under cotton according to the maintenance method and sowing date (in relation to the reference dates given in Table 8) is shown in Table 12.

On the basis of the response curves of Table 9, the estimate of seed-cotton national production gives a value of 213 503 tons (101 % of the real production). The application of the recommendations of Table 10 leads to a national consumption of 27 050 tons of fertilizers and the estimate of national production according to the same model as previously but applying the recommendations, is 215 122 tons ; so the surplus to expect for all the Ivorian producers, through the application of the scale of recommendations, is close to CFA F one billion : 770 millions saved on fertilizer consumption and 186 millions for the selling of 1 620 additional tons of cotton.

RESUMEN

La vulgarización de una dosis de abono estándar en la parcela ha experimentado un gran éxito en parte ligado a la gratuidad de los « inputs » durante los años 1977-1983. La supresión de cualquier subvención para los abonos a partir de 1984 ha devuelto al productor la iniciativa de la decisión de la dosis de abono a aplicar, y conviene ayudarlo en esta toma de decisión.

El estudio de la respuesta del algodón a los abonos, tanto en medio controlado (112 pruebas) como en medio real (89 test) indica una variabilidad importante, explicada en parte por las condiciones de alimentación hídrica de la planta, el tipo de mantenimiento del cultivo (herbida o manual), el nivel de productividad « natural » del suelo, el número de años de cultivo. El tomar en cuenta los dos primeros factores mentados permite elaborar una red de recomendaciones de abono en función del lugar, de la

fecha de la siembra y del tipo de mantenimiento contemplado ; van acompañadas estas recomendaciones por una red multicriterio, destinada a ayudar en la decisión, donde están especificados las esperanzas de rendimiento en cada uno de los casos, el balance mineral correspondiente, el costo de los « inputs » y el margen bruto esperado.

La aplicación de esta red de recomendaciones a las condiciones de la campaña agrícola de 1984-1985 (212 070 toneladas de algodón en 145 824 ha) origina un ahorro estimado en 5 350 toneladas de abono (o sea un valor de 770 millones de francos CFA) con un aumento de la producción nacional estimado en 1 620 toneladas de algodón, lo cual lleva el interés de la operación para el conjunto de los productores a cerca de mil millones de francos CFA.

(1) BDPA : Bureau pour le Développement de la Production Agricole.