

ESSAIS D'ENGRAIS SUR CACAOYERS AU CAMEROUN*

(région de Yaoundé)

R. BÉNAC

Physiologiste

Maître de recherches à l' O. R. S. T. O. M.

J. DEJARDIN

Statisticien

Directeur de recherches à l' O. R. S. T. O. M.

19 FEVR. 1985

23

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 16701

Cote : B

INTRODUCTION

Rapide mise au point bibliographique

Quand, en mai 1958, nous avons commencé un essai de fertilisation sur plantations villageoises, aucune observation de ce genre n'avait été poursuivie de façon continue sur le cacaoyer au Cameroun. Au Brésil, en Amérique centrale, au Ghana, au Nigeria, au Congo, des essais portant surtout sur les fumures NPK, et destinés à étudier l'influence de ces fertilisants sur la croissance du jeune cacaoyer et la production de l'adulte, ont donné jusqu'ici des résultats très disparates.

Des travaux d'ALVIM (3), BARTOLOMÉ (4), EVANS (6), FENNAH (6), HAVORD (9), HOMES (10), JARAMILLO (12), MURRAY (15-16), MAC DONALD (13), RIVERA (17),... on peut tirer les conclusions principales suivantes :

Réponse à l'azote

L'azote, sous forme de sulfate d'ammoniaque ou d'urée, augmente la croissance des jeunes cacaoyers. Le cacaoyer adulte se montre très sensible à l'excès d'azote qui provoque la défoliation et parfois la mort de l'arbre.

La réponse à l'engrais azoté est très influencée par la qualité de l'ombrage. Ainsi l'azote augmente

la production des parcelles peu ombragées où les arbres sont espacés ; il la réduit dans les parcelles très ombragées ou dans les parcelles moyennement ombragées et plantées serré.

L'azote augmente le taux de floraison et réduit le taux du flétrissement des chérelles (« wilt » des auteurs anglo-saxons) dans les parcelles à grand espacement ; il augmente le « wilt » dans les parcelles à faible espacement.

Les plants élevés sous fort ombrage répondent à l'azote quand l'ombrage est supprimé (Trinidad).

Réponse au phosphore

Au Ghana (2), l'application de superphosphate, à raison de 60 g par pied et par an sur jeunes cacaoyers d'un an, de 250 g sur adultes, provoque une forte augmentation de croissance chez les premiers, de production chez les seconds, quelles que soient les conditions d'ombrage. L'augmentation est cependant relativement plus forte sous ombrage léger. Le cacaoyer se montre très tolérant à l'égard des fortes doses de phosphore.

A Trinidad, le phosphore (110 g de phosphate bicalcique par pied et par an pour les jeunes, 700 g pour les adultes) accroît la floraison des parcelles non ombragées à forte densité de plantation, et des parcelles ombragées à faible densité de plantation. Dans les parcelles à large espacement, il réduit le « wilt » ; il accroît le nombre de nouaisons quand il n'y a pas d'ombrage et le réduit dans le cas contraire.

* Communication présentée à la Troisième conférence sur les recherches cacaoyères, Accra, 23-29 novembre 1969.

Réponse à la potasse

Le cacaoyer est très sensible à l'excès de potasse, qui peut provoquer, comme l'excès d'azote, la défoliation et la mort. Dans le cas du chlorure de potasse, s'ajoute l'effet toxique de l'ion-chlore (Ghana).

La potasse augmente les rendements et réduit le « wilt » dans les parcelles ombragées, produit l'effet inverse sur ces parcelles sans ombrage (Trinidad).

Réponse à NPK

La potasse et le phosphore accroissent l'effet bénéfique de l'azote sur la floraison (Trinidad).

Au Brésil, les fumures NPK ont été trouvées efficaces lorsque la dose de potassium est double de celles d'azote et de phosphore (160 g de sulfate de potasse, 50 g de sulfate d'ammoniaque, 100 g de phosphate bicalcique).

La disparité des réponses est due à plusieurs causes. D'abord, comme l'ont montré à Trinidad HUMPHRIES (11), au Ghana GREENWOOD et POSNETTE (8), le déclenchement des poussées végétatives généralisées (« flushing » des auteurs anglo-saxons) est en relation avec la température de l'air et l'humidité du sol et de l'atmosphère. D'où l'importance très grande de l'ombrage.

D'autre part, le nombre de sujets pris en considération dans les expérimentations décrites, bien qu'il s'agisse d'arbres parents issus de semis ou de boutures d'un petit nombre de clones, semble trop faible : au Brésil, neuf cacaoyers par parcelle ; à Trinidad, les plus grandes parcelles comprennent une vingtaine d'arbres ; bien plus souvent de quatre à huit, ce qui explique que de nombreux essais ne donnent aucun résultat. FENNAH (7), au Brésil, a étudié cette question.

Les chercheurs d'Amérique centrale et du Ghana s'en sont bien rendu compte et proposent des schémas expérimentaux comportant un nombre beaucoup plus grand d'individus par parcelles élémentaires (2).

Caractères du milieu expérimental

Nos essais sont implantés en milieu rural, milieu très hétérogène :

— par l'ombrage dont la densité et la qualité varient largement d'une plantation à l'autre et à l'intérieur d'une même plantation : les cacaoyers ont été plantés sous forêt éclaircie, sans ordre, avec des espacements variables, sur terrain non nivelé ;

— par le matériel végétal lui-même : la population actuelle résulte de croisements de variétés locales et de variétés introduites au début du siècle. Elle se compose de quelques Forastero et d'une majorité de Trinitario. On trouve des arbres à grosses et à petites cabosses, à sillons plus ou moins marqués, de couleur jaune, verte ou rouge à maturité.

Leur production est très variable : des comptages partiels ont montré que la plupart des arbres produisent entre six et dix cabosses par an, certains n'en produisent aucune, d'autres (peu nombreux) jusqu'à deux cents.

Dans ces conditions, il semblait imprudent de retenir comme critère d'efficacité d'un traitement la production globale de cabosses par parcelle.

Méthode expérimentale choisie

Le schéma expérimental proposé par R. A. MULLER, phytopathologue au Centre I. F. C. C. de Nkolbisson-Yaoundé et H. MARTICOU, agronome statisticien chargé auprès de la Direction des Services de l'Agriculture au Cameroun des enquêtes agro-économiques, retient, pour juger l'effet d'un traitement, la différence de production d'un même arbre par rapport à une année témoin (14).

Pour des arbres suffisamment âgés, où l'influence de la croissance sur la production peut être considérée comme négligeable — c'est le cas du matériel choisi — les facteurs constants au cours des années successives sont les suivants :

- caractères héréditaires de l'arbre,
- sol,
- ombrage (en cas de mort ou de détérioration partielle d'un arbre d'ombrage, les cacaoyers dans le rayon intéressé sont éliminés de l'expérience).

Les principaux facteurs variables d'une année à l'autre sont :

- les traitements effectués tous les ans sauf la première année, année témoin,
- le climat particulier à chaque année.

Pour mettre en évidence l'importance relative de ces deux facteurs principaux, aucun traitement n'est appliqué la première année : on connaît ainsi la production « à blanc » de l'ensemble des parcelles. Sur celles qui sont conservées par la suite comme témoins, l'effet du climat peut être estimé.

On admet que cette influence s'exerce de la même façon sur les parcelles traitées et les parcelles témoins. Si les différences par rapport à l'année témoin sont d'un ordre de grandeur différent sur les premières et les secondes, on admet qu'elles sont dues aux traitements.

Soit T_0 et P_0 les productions des témoins et des parcelles A (traitement A non effectué), l'année témoin ; T_i et P_i celles des témoins et des parcelles A (traitement A effectué), l'année i . $P_i c$ résulte de l'influence propre à l'année i et au traitement A. On calcule une production « corrigée » des parcelles A pour l'année i :

$$P_i c = \frac{P_0 T_i}{T_0}$$

Cette production $P_i c$ est celle qu'on observerait s'il n'y avait pas eu de traitement A et si seul le climat de l'année i avait influencé la production.

Si $\frac{P_i}{P_i c}$ (c'est-à-dire $\frac{P_i T_0}{P_0 T_i}$) a une valeur significativement différente de 1, c'est que le traitement A a eu une influence sur la production.

Ignorant la variabilité des différences de production d'un même arbre d'une année à l'autre, on ne pouvait fixer la taille minimum de la parcelle ni le nombre de répétitions.

Schéma expérimental

Pour pouvoir éliminer les arbres morts ou détériorés pendant la longue période prévue pour l'expérience, nous avons pris de grandes parcelles : trois cents arbres portant chacun un numéro, c'est-à-dire deux cents arbres utiles environ.

Nous avons mis en place cinq blocs de cinq parcelles, séparés les uns des autres.

Les traitements, appliqués à partir de mars 1959, sont les suivants :

TABLEAU I

Traitement (engrais en g/arbre/an)

	Témoin	N dominant	P dominant	K dominant	CaMg dominant
Sulfate d'ammoniaque ...	0	250	75	75	75
Phosphate bicalcique	0	75	250	75	75
Sulfate de potasse	0	75	75	250	75
Dolomie	0	100	100	100	300

Le sulfate d'ammoniaque est épandu en deux doses égales, en mars et en septembre, les autres engrais en une seule fois, en mars.

Sur chacun des arbres, du début mai à la fin février, sont comptées en moyenne tous les quinze jours :

- les cabosses pourries (pourriture brune) ;
- les cabosses desséchées (« wilt ») sur tronc et sur branches, ayant de

- 0 à 3 cm de long,
- 3 à 7 cm de long,
- 7 à 12 cm de long ;

- les cabosses mûres.

Pour chaque arbre, à chaque passage, les cabosses mûres sont cassées et le cacao frais est pesé.

Les plantations sont régulièrement débarrassées des mauvaises herbes et traitées contre les capsides et la pourriture brune (1).

ÉTUDE DE LA DISTRIBUTION DE LA PRODUCTION SUR LES PARCELLES TÉMOINS PENDANT SIX ANS

Moyennes générales

Les moyennes générales sont obtenues sur 1.033 arbres témoins observés de 1958 (année témoin) à 1963 (sixième année d'étude).

Production

Un arbre produit en moyenne par an :

- 19,7 cabosses mûres,
- 1,593 kg de cacao frais (637 g de cacao sec).

Une cabosse contient en moyenne 80,9 g de cacao frais.

30,5 % des cabosses produites par un arbre (cabosses mûres + cabosses pourries + cabosses desséchées) arrivent à maturité.

Nous avons signalé que la production était très variable d'un arbre à l'autre ; en effet, si certains ne produisent rien, l'un d'eux a produit, en 1960, 5 kg de cacao sec. Voici sur la population observée les pourcentages d'arbres improductifs, mauvais, moyens, bons et très bons producteurs :

arbres improductifs	7,9%
arbres produisant moins de 400 g de cacao sec..	34,5%
arbres produisant de 400 à 800 g de cacao sec..	27,2%
arbres produisant de 800 à 1.600 g de cacao sec..	21,7%
arbres produisant plus de 1.600 g de cacao sec..	8,7%

Pourriture brune

Malgré les traitements anticryptogamiques régulièrement faits, 3,3 cabosses pourrissent en moyenne par arbre et par an, ce qui représente 16,75 % du nombre de fruits qui arrivent à maturité. La plupart d'entre elles sont atteintes quand elles sont tout près d'être récoltées.

Les cabosses pourries représentent 5,1 % de l'ensemble des cabosses produites (mûres + pourries + desséchées).

« Wilt »

Les floraisons sont très abondantes et il se forme un grand nombre de cabosses. Beaucoup d'entre elles, à un stade plus ou moins jeune, cessent de se développer : c'est le dessèchement des chérelles des auteurs français, le « wilt » des auteurs anglais.

Nous les avons comptées sur chacun des arbres en observation, sur tronc d'une part, sur branches d'autre part, en distinguant suivant la taille trois classes :

- de 0 à 3 cm de long (petites),
- de 3 à 7 cm — (moyennes),
- de 7 à 12 cm — (grosses).

Voici comment se répartit le « wilt » sur 1.033 arbres témoins observés de 1958 à 1963 :

- 40,8 par arbre et par an dont :
- 6,8 sur tronc (16,5 % du total),
- 34,0 sur branches (83,5 % du total),
- 24,0 entre 0 et 3 cm de long (58,9 % du total),
- 14,0 entre 3 et 7 cm de long (34,4 % du total),
- 2,8 entre 7 et 12 cm de long (6,7 % du total).

On en compte :

- 3,1 de 0 à 3 cm sur tronc (7,6 % du total),
- 20,9 de 0 à 3 cm sur branches (51,3 % du total),
- 2,8 de 3 à 7 cm sur tronc (6,9 % du total),
- 11,2 de 3 à 7 cm sur branches (27,5 % du total),
- 0,8 de 7 à 12 cm sur tronc (2,0 % du total),
- 1,9 de 7 à 12 cm sur branches (4,7 % du total).

La proportion de ces cabosses atteint 64,4 % de l'ensemble des fruits formés.

Nous avons essayé de voir si le dessèchement d'un certain nombre au moins de ces fruits n'était pas dû à des agents extérieurs. Du 19 juin au 19 octobre 1961, année où le « wilt » a été particulièrement intense, nous avons tous les dix jours rapporté au laboratoire les cabosses desséchées en une journée dans une parcelle prise au hasard.

Nous les avons classées, à l'intérieur de chaque groupe précédemment défini (petites, moyennes et grandes), distinguant celles des troncs de celles des branches, en quatre catégories :

- 1° cabosses creusées par des « vers de cabosses »,
- 2° — à pédoncule abîmé,
- 3° — à surface abondamment piquée,
- 4° — d'apparence saine.

Sur 32.467 cabosses examinées :

- 4,9 % sont creusées par des vers,
- 4,9 % ont le pédoncule piqué ou en partie rongé,
- 48,1 % portent la trace de nombreuses piqûres,
- 42,1 % ont une apparence saine.

On peut considérer par conséquent que, cette année-là (1961), 58 % du « wilt » était dû à des attaques d'insectes (le « ver de cabosse » est une chenille) et 42 % à des causes internes : « wilt physiologique ».

Les cabosses atteintes de « wilt physiologique » peuvent ensuite être attaquées par des insectes et il est possible que certains fruits classés principalement dans les première et troisième catégories appartiennent en réalité à la quatrième et qu'il y ait méprise sur la cause du dessèchement. Mais à cette période chaque arbre a été examiné tous les huit jours et par conséquent les erreurs de ce genre n'ont pu être très nombreuses. De toute façon, ces simples comptages n'avaient pour but que de donner quelques indications.

Comportement des différents blocs

Production

La production moyenne des arbres témoins est sensiblement la même au cours de la période étudiée pour les blocs II, III et V ; celle des blocs I et IV est plus faible (voir tableau II).

Le bloc I, qui a la plus faible production, donne 88,1 g de cacao frais par cabosse, tandis que le bloc II, le meilleur producteur, n'en fournit que 75,3.

Il a été souvent observé que le poids de cacao frais par cabosse diminuait quand le nombre de cabosses augmentait. Nous avons calculé à partir de nos résultats le coefficient de corrélation entre ces deux mesures : $r = -0,67$ (hautement significatif). Si on considère le nombre total de cabosses produites (desséchées + mûres + pourries), 34,2 % d'entre elles arrivent à maturité dans le bloc V, 23,8 % dans le bloc I.

Comment se distingue la production dans les divers blocs ? Le tableau II montre que I et IV, les plus faibles producteurs, comprennent 9,4 et 9,5 % d'arbres improductifs, 49,4 et 39,5 % de mauvais producteurs. Par contre II, III et V ont un pourcentage assez élevé d'arbres à bonne et très bonne production.

TABLEAU II
Production moyenne des différents blocs

Bloc	Arbres sans production (%)	Moins de 400 g de cacao sec (%)	Entre 400 et 800 g de cacao sec (%)	Entre 800 et 1.600 g de cacao sec (%)	Plus de 1.600 g de cacao sec (%)
I	9,4	49,4	29,4	11,4	0,4
II	5,1	29,2	25,8	25,9	14,0
III	4,2	27,2	30,6	26,8	11,1
IV	9,5	39,5	28,8	19,1	3,1
V	11,5	26,7	21,3	25,3	15,2

TABLEAU III
Production moyenne annuelle

Années	Arbres sans production (%)	Moins de 400 g de cacao sec (%)	De 400 à 800 g de cacao sec (%)	De 800 à 1.600 g de cacao sec (%)	Plus de 1.600 g de cacao sec (%)
1959 ..	7,2	40,6	28,3	18,9	5,0
1960 ..	5,8	39,7	27,4	20,4	7,0
1961 ..	4,9	25,8	30,0	28,2	11,1
1962 ..	17,9	39,1	19,3	16,4	7,3
1963 ..	3,8	27,3	31,2	24,9	12,8

Pourriture brune

Le plus grand nombre de cabosses pourries se trouve dans le bloc II : 6,9 en moyenne par arbre et par an ; 1,2 dans le bloc V.

Le pourcentage de cabosses pourries par rapport aux cabosses mûres reste le plus faible pour le bloc V : 5,2 % ; élevé pour le bloc II : 26,4 % ; il atteint 33,3 % pour le bloc I qui est le moins productif. Cela représente pour ce dernier 7,9 % de l'ensemble des cabosses produites, 1,7 % seulement pour le bloc V.

« Wilt »

Le pourcentage de cabosses desséchées par rapport à la totalité des fruits formés reste assez constant pour les cinq blocs puisqu'il varie de 61,7 % (bloc IV) à 68,3 % (bloc I).

Le plus grand nombre est donné par le bloc II :

59,3 en moyenne par arbre et par an, dont :
— 52,1 sur branches,
— 7,2 sur tronc,

avec

— 33,8 de 0 à 3 cm (3,5 sur tronc — 30,3 sur branches),
— 21,5 de 3 à 7 cm (2,9 sur tronc — 18,6 sur branches),
— 4,0 de 7 à 12 cm (1,8 sur tronc — 3,2 sur branches).

Le bloc IV en a le moins avec :

28,2 cabosses desséchées en moyenne par arbre et par an, dont :
— 5,9 sur tronc,
— 22,3 sur branches,

avec

— 16,8 de 0 à 3 cm (2,6 sur tronc — 14,1 sur branches),
— 9,7 de 3 à 7 cm (2,5 sur tronc — 7,2 sur branches),
— 1,7 de 7 à 12 cm (0,7 sur tronc — 1,0 sur branches).

Variations annuelles

Production

L'année la moins productive est 1959 (deuxième année d'observation) avec 1,283 kg de cacao frais et 15,1 cabosses mûres par arbre. 1961 et 1963 ont donné 1,962 et 1,995 kg de cacao frais et 25,8 et 23,4 cabosses mûres.

Le poids de cacao frais par cabosse est élevé en 1959 (mauvaise production) : 85,0 g, mais il l'est aussi en 1963 (bonne production) : 85,2 g ; par contre, en 1961 (également bonne production), il est plus faible : 76,0 g.

Il paraît difficile avec les renseignements dont nous disposons de relier la production à la pluviosité, ou à la température, ou à l'humidité relative. 1961 et 1963 sont de bonnes années, 1959 est la plus mauvaise. Or, si juillet et août ont été secs en 1959, 49,4 et 39,8 mm de pluie, nettement plus pluvieux en 1963, 79,6 et 93,0 mm, ils ont été encore plus secs en 1961, 47,7 et 13,6 mm.

La proportion de cabosses mûres par rapport au nombre total de fruits formés varie de 22,5 % en 1961 à 42,1 % en 1958.

Comme le montre le tableau III, en 1961 et 1963 les pourcentages d'arbres improductifs sont les plus bas (4,9 et 3,8 %), ceux des moyens, bons et très bons producteurs, les plus élevés.

Pourriture brune

C'est en 1958 qu'il y a eu le moins de cabosses pourries : 0,7 en moyenne par arbre et par an ; en 1961, on atteint le chiffre le plus élevé : 7,2. La grande saison des pluies a été très arrosée cette année-là : 809,5 mm contre 603,0 en moyenne pour septembre-octobre-novembre des années 1958, 1959, 1960, 1962 et 1963.

En 1958, au contraire, la petite saison sèche (juin-juillet-août) a été très marquée : 55,2 mm contre 281,3 en moyenne pour les cinq années suivantes. Aussi le pourcentage de cabosses pourries atteint-il 1,6 % de l'ensemble des fruits formés et 3,8 % des seules cabosses mûres.

En 1960, les cabosses pourries représentent 8,2 % du total, et 30,3 % des cabosses mûres ; la petite saison des pluies (mars-avril-mai) a été très arrosée : 692,8 mm contre 546,6 pour la moyenne de 1958, 59, 61, 62, 63 ; la petite saison sèche (juin-juillet-août) a été très peu marquée, puisqu'il est tombé 401,2 mm de pluie contre 212,4 en moyenne pour les années considérées.

« Wilt »

C'est en 1961 qu'on a le plus grand nombre de cabosses desséchées :

- 79,1 par arbre et par an, dont :
- 14,4 sur tronc,
 - 64,7 sur branches,

avec

- 51,6 de 0 à 3 cm (7,4 sur tronc, 44,2 sur branches),
- 21,2 de 3 à 7 cm (5,0 sur tronc, 16,2 sur branches),
- 6,3 de 7 à 12 cm (2,0 sur tronc, 4,3 sur branches).

En 1958, les chiffres sont les plus faibles :

- 24,3 cabosses par arbre et par an, dont :
- 3,9 sur tronc,
 - 20,4 sur branches,

avec

- 14,7 de 0 à 3 cm (1,6 sur tronc, 13,1 sur branches),
- 7,7 de 3 à 7 cm (1,7 sur tronc, 6,0 sur branches),
- 1,9 de 7 à 12 cm (0,6 sur tronc, 1,3 sur branches).

Par rapport à la somme de cabosses produites le pourcentage varie de 71,2 % en 1961 à 56,3 % en 1958. Il est de 63,9 % en 1959 (mauvaise année) et de 57,8 % en 1963 qui est une bonne année de production, comme 1961. Donc le pourcentage de cabosses desséchées ne varie pas avec l'intensité de la production.

En 1958 (année de faible « wilt »), la petite saison sèche a été marquée, mais elle fut précédée d'une petite saison des pluies assez arrosée : 603,7 mm contre 564,4 en moyenne les cinq autres années. En 1961, où le « wilt » a été très important, la petite saison sèche a été moins marquée : 153,4 mm, mais précédée d'une petite saison des pluies peu arrosée : 389,9 mm contre 607,2 mm en moyenne les autres années considérées.

Les tableaux IV et V groupent et résument les principales données.

TABLEAU IV

Production moyenne par arbre et par bloc des témoins de 1958 à 1963

Blocs	Cacao frais (kg)	Cabosses mûres	Cacao frais par cabosse mûre (g)	Cabosses pourries	Cabosses desséchées
I	0,925	10,5	88,1	3,5	30,1
II	1,966	26,1	75,3	6,9	61,3
III	1,903	23,4	81,3	2,9	44,6
IV	1,263	15,2	83,1	2,5	28,5
V	1,905	23,2	82,1	1,2	43,5

TABLEAU V

Production moyenne par arbre et par année des témoins

Années	Cacao frais (kg)	Cabosses mûres	Cacao frais par cabosse mûre (g)	Cabosses pourries	Cabosses desséchées
1958	1,436	18,3	78,5	0,7	24,5
1959	1,283	15,1	85,0	1,2	28,8
1960	1,499	17,8	84,0	5,4	42,7
1961	1,962	25,8	76,0	7,2	81,5
1962	1,381	17,7	78,0	1,6	35,0
1963	1,995	23,4	85,2	3,8	37,2

EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA PRODUCTION

Analyse de la production globale des parcelles

Les six premières années

Jusqu'en 1961 — quatrième année d'observation, troisième année d'épandage d'engrais — les par-

celles fumées ne produisent pas plus que les témoins.

A partir de 1962, l'apport d'engrais augmente significativement la production : de 47 % en 1962, de 26 % par rapport aux témoins en 1963, ce qui représente respectivement un accroissement de récolte de 334 et 184 g de cacao sec par arbre.

Le principal obstacle à l'augmentation de la production par les engrais est la pourriture brune.

Le taux d'attaque est très élevé dans le bloc II en particulier et nous ne pouvons en pleine récolte, faute de personnel, maîtriser suffisamment la propagation de la maladie, en enlevant toutes les cabosses atteintes avant qu'elles n'aient contaminé leurs voisines.

Nous avons calculé sur l'ensemble de nos parcelles que l'accroissement en poids de cacao frais est fortement relié au pourcentage de cabosses pourries par rapport au nombre total (pourries + mûres) : $r = -0,67$ (significatif à $P = 0,05$). Le calcul de la droite de régression indique qu'en l'absence de pourriture, l'accroissement de la production des parcelles traitées par rapport à celle des témoins serait de 60 %.

Nous n'avons mis en évidence aucune différence significative de rendement entre les divers traitements, ni l'année V, ni l'année VI ; quelle que soit la formule d'engrais appliquée, la production est augmentée dans les mêmes proportions par rapport aux témoins.

Au bout de huit ans

Après sept années de fertilisation, on peut tirer de l'étude des productions globales des vingt-cinq parcelles d'essai les conclusions suivantes :

1° La production des témoins a significativement augmenté d'environ 30 % de l'année I à l'année VIII : cet effet est dû à l'amélioration des façons culturales et à la régularité des traitements phytosanitaires effectués.

2° La production des parcelles N - P - K - CaMg a été au cours des deux dernières années (VII et VIII) significativement augmentée d'environ 50 % par rapport au témoin.

3° Aucune différence de production n'est décelable entre les traitements N - P - K - CaMg.

Analyse de la production par classe à l'intérieur des parcelles

Notre but est justement l'étude détaillée des différences entre ces traitements. Nous allons donc disséquer les différences globales et travailler non plus sur la production totale des diverses parcelles, mais à l'intérieur de chacune d'elles sur des groupes d'arbres classés d'après leur production, d'une part l'année I (année d'observation faite en l'absence de tout épandage d'engrais), d'autre part l'année VIII (après sept ans de fertilisation).

A partir du fichier IBM établi au laboratoire de physiologie végétale de l'I. F. C. C. à Nkolbisson (Cameroun), nous avons classé les arbres de chacune des vingt-cinq parcelles en neuf classes :

1. — 0 : aucune production,
2. — 1 : 0 à 0,99 kg de cacao frais,
3. — 2 : 1 à 1,999 —
-
9. — 8 : 7 kg et plus.

Sur ces données, nous voulons rechercher :

1° Si un traitement a provoqué un accroissement de production plus important que les autres sur chacune des neuf classes ainsi définies.

2° Si un même traitement a eu un effet plus marqué sur l'une de ces classes.

Emploi des tests de symétrie

Nous avons étudié la répartition des arbres dans les diverses classes de production l'année VIII, en fonction de leur rendement l'année I et nous avons dans ce but établi pour chaque traitement un tableau d'effectifs à double entrée du type suivant :

		Classe finale (année VIII)					
		0	1	2	3	4	5
Classes Classe initiale (année I)	0						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

(sous le chiffre 5 sont représentées les classes 5 à 8)

puis testé par un χ^2 l'hypothèse statistique de la symétrie de chacun des tableaux par rapport à la diagonale principale ; si le tableau est symétrique, c'est que les passages des classes initiales faibles aux classes finales fortes étant égaux aux passages des classes initiales fortes vers les classes finales faibles, ceux-ci sont purement aléatoires. (Nous avons réuni les classes 5, 6, 7, 8 et 9 en une seule pour des raisons de calcul).

Les valeurs trouvées, très supérieures à celle du χ^2 au seuil de 1 %, indiquent que tous les tableaux sont asymétriques y compris celui du témoin.

Nous avons aussi comparé les tableaux deux à deux et trouvé que N était différent de K, N et K différents de T, P, CaMg, tandis que ces trois derniers étaient homogènes, c'est-à-dire que le déplacement des arbres à partir des classes initiales vers les classes finales diverses est semblable dans les traitements T, P, CaMg, différent avec N et K.

Comparaison des effectifs observés aux effectifs théoriques

Nous avons aussi comparé les effectifs observés aux effectifs théoriques calculés en prenant les traitements deux à deux, c'est-à-dire qu'au lieu de vérifier des différences de symétrie, nous avons vérifié l'homogénéité du contenu des cases dans les tableaux correspondants. Les conclusions auxquelles nous conduisent les calculs des χ^2 sont différentes : tous les traitements sont significativement différents les uns des autres, à l'exception de T et K.

Cette divergence de conclusions n'est pas très surprenante, tout d'abord parce qu'on ne teste pas exactement les mêmes hypothèses dans les deux cas, ensuite parce que la méthodologie dans ce domaine n'est pas encore très sûre. Il faut par conséquent chercher à expliquer pourquoi les deux exploitations ne conduisent pas aux mêmes conclusions.

Nous avons dans ce but refait les tableaux à double entrée classes initiales-classes finales, non plus en portant le nombre d'arbres, mais en portant le pourcentage calculé sur le nombre total d'arbres dans chaque classe initiale. Les cases sur la diagonale sont les cases « stationnaires », les arbres sont restés l'année VIII dans la même classe que l'année I. A droite de la diagonale, les arbres sont passés dans une classe supérieure, à gauche dans une classe inférieure.

Nous avons résumé dans le tableau VII les pourcentages trouvés dans ces trois catégories.

TABLEAU VII
% d'arbres par rapport au total
dans les classes initiales

	T	N	P	K	CaMg
Régression	36,6	24,3	23,2	33,6	28,8
Stationnaires	24,7	24,4	24,4	24,0	22,3
Augmentation	38,7	51,3	52,4	42,4	48,9

On constate :

1° qu'il existe dans tous les traitements un pourcentage élevé d'arbres en régression, 36 % pour le témoin, 24 et 23 % pour N et P ; on peut en conclure qu'aucun des traitements appliqués n'est bien adapté au matériel étudié,

2° que le pourcentage d'arbres « stationnaires » est à peu près le même pour tous les traitements, voisin de 24 %,

3° que le pourcentage d'arbres ayant augmenté de production est d'environ 39 % pour le témoin, 52 % pour N et P. Ces pourcentages sont trop faibles.

On peut considérer N et P comme les meilleurs traitements, puisqu'ils provoquent à la fois le minimum de régression et le maximum de progression. CaMg vient ensuite, puis K et T qui sont les plus mauvais. Ceci rejoint et complète les conclusions tirées de la comparaison des χ^2 d'homogénéité calculée sur les effectifs théoriques et observés des dix couples de traitements.

Etude des régressions partielles

Exposé de la méthode

Nous n'avons considéré jusqu'ici que le nombre d'arbres ayant changé de classe de production après sept ans de fertilisation et non l'augmentation de production elle-même.

C'est l'étude de cette dernière qui nous permettra finalement de juger de l'efficacité des traitements mis en comparaison.

Elle n'a pu être faite par analyse de covariance classique, car les classes d'arbres sur lesquelles nous nous proposons de travailler (l'analyse de variance classique des productions globales des parcelles ne permettant pas d'établir de distinction entre les traitements) ont été faites a posteriori. Aussi la méthode d'exploitation adoptée a-t-elle été celle de la régression multiple. Le contenu de quelque quarante mille cartes récapitulatives conservées au Cameroun a été chargé sur bande magnétique ; son exploitation a été confiée à la S. I. A. (Société d'Informatique Appliquée).

Le programme utilisé pour l'exploitation est le BMD 02R « Stepwise regression » sur le CDC 6 600 de la S. I. A.

Indiquons que cette méthode ne met pas, comme les méthodes classiques, des moyennes en comparaison ; la variabilité du rendement final des cacaoyers ayant été constatée, elle cherche à déterminer quelle proportion de la variabilité totale peut expliquer chaque facteur contrôlé pris sous la forme de variable indépendante.

En fait, les calculs de régression ont été faits par étapes : méthode qui consiste en l'adjonction et la suppression de variables indépendantes jusqu'à ce que le plus petit carré moyen résiduel possible soit obtenu. Elle est décrite en détail ailleurs (5).

La variable expliquée (ou dépendante) est le logarithme du cumul des rendements des années VI,

VII et VIII — en fait le log de Pi/PoKi (Ki = Ti/To, voir p. 15) — et les variables explicatives (ou indépendantes) sont :

- le bloc,
- l'état initial (logarithme du cumul des rendements des années I et II),
- la quantité de fertilisants effectivement apportée : N, P, K, Ca (en fait Ca + Mg).

A ces variables ont été ajoutées :

- pour prendre en compte la courbure possible de la réponse : N², P², K², Ca²,
- pour prendre en compte les interactions possibles entre fertilisants : NP, NK, NCa, PK, PCa et KCa, soit au total seize variables indépendantes.

Chaque arbre a été utilisé individuellement. Six exploitations ont été faites :

- 1 : toutes classes de production, tous traitements et témoins (4.283 arbres),
- 2 : toutes classes de production (3.494 arbres), témoins exclus,
- 3 : faibles producteurs initiaux (classes initiales 1 et 2), tous traitements et témoins (2.766 arbres),
- 4 : faibles producteurs initiaux, témoins exclus (2.210 arbres),
- 5 : hauts producteurs initiaux (classes de production 5, 6, 7 et 8), tous traitements et témoins (155 arbres),
- 6 : hauts producteurs initiaux, témoins exclus (131 arbres).

De façon à travailler à « blocs constants » (éliminer l'effet éventuel des blocs), la variable « bloc » a été forcée dans toutes les analyses, autrement dit elle

a toujours été introduite dès le début dans la régression et elle y est restée quelle que soit son importance vis-à-vis des autres variables. Dans les deux premières exploitations, seul le numéro du bloc avait été pris en compte ; dans les quatre dernières une amélioration a été apportée sous forme de quatre pseudo-variables, correspondant aux quatre degrés de liberté entre les cinq blocs.

Dans les résultats qui vont être fournis ci-après, un jugement sur l'importance relative de chaque variable peut être porté à partir du coefficient de détermination multiple, R², ou du carré moyen résiduel, CMR : les deux sont fournis dans les tableaux qui suivent. De plus la réduction relative de CMR (en %) est donnée afin de faciliter les comparaisons.

Ne sont citées dans l'exposé des résultats que les variables dont l'introduction diminue significativement le CMR (en plus de la variable « bloc » évidemment).

Résultats obtenus

1) Influence des blocs.

Il est intéressant de voir a posteriori l'importance de la variable « blocs » et de la séparer des autres, puisqu'elle n'a pas été mise sur le même plan. Le tableau VIII résume les principales caractéristiques de jugement et de comparaison.

Comparés aux caractéristiques qui vont être données plus loin, les résultats ci-dessus montrent que les blocs sont en définitive d'une **importance relative assez faible, à peine du même ordre de grandeur que celle des traitements.**

Une autre remarque s'impose : la prise en compte des blocs est relativement d'autant plus efficace

TABLEAU VIII.
Principales caractéristiques de jugement et de comparaison

N° d'exploitation		R ²	Augmentation de R ²	CMR	Réduction de CMR	Réduction relative de CMR (%)
1	(a) donnée brute	0		0,579		
	(b) après prise en compte des blocs	0,004	0,004	0,577	0,002	0,3
2	a	0		0,554		
	b	0,001	0,001	0,553	0,001	0,2
3	a	0		0,544		
	b	0,010	0,010	0,539	0,005	0,9
4	a	0		0,533		
	b	0,008	0,008	0,530	0,003	0,6
5	a	0		0,276		
	b	0,044	0,044	0,271	0,005	1,8
6	a	0		0,284		
	b	0,061	0,061	0,275	0,009	3,2

que le matériel est plus homogène ; la réduction relative de CMR est de :

— 0,2 et 0,3 % pour les exploitations 1 et 2 (matériel tout venant : CMR = 0,554 et 0,579).

— 0,6 et 0,9 % pour les exploitations 3 et 4 (matériel déjà plus homogène, mais fort variable dans son niveau faible : CMR = 0,533 et 0,544, guère plus faibles que les CMR ci-dessus).

— 1,8 et 3,2 % pour les exploitations 5 et 6 (matériel plus homogène dans son niveau relativement élevé : CMR = 0,276 et 0,284, deux fois plus petits que les CMR ci-dessus).

Le contrôle du terrain par les blocs est donc d'autant meilleur que le matériel en expérimentation est plus homogène : cette conclusion est normale et n'a rien de surprenant.

2) Influence des autres facteurs.

Le tableau IX donne la liste, par ordre d'importance, des facteurs dont l'introduction diminue significativement le CMR (ou augmente le R², ce qui est la même chose).

TABLEAU IX

Liste des facteurs dont l'introduction diminue significativement le CMR

	Tous traitements et témoins	Témoins exclus
Toutes classes de production	Exploitation n° 1 ● Etat initial ● NP ● Ca	Exploitation n° 2 ● Etat initial ● K (coefficient de régression négatif)
Bas producteurs initiaux	Exploitation n° 3 ● Etat initial ● NP ● NCa	Exploitation n° 4 ● Etat initial ● K (coefficient de régression négatif)
Hauts producteurs initiaux	Exploitation n° 5 ● Etat initial ● PK	Exploitation n° 6 ● Etat initial ● PK

On constate que l'état initial arrive toujours en tête : c'est dans tous les cas le facteur le plus important dans la tentative d'explication de la variabilité du rendement final des cacaoyers ; les choses vont être précisées quantitativement ci-dessous.

On constate également pour la catégorie « tous traitements », « toutes classes de production » et « bas producteurs initiaux » (qui en nombre l'emportent de beaucoup dans le total) la présence des termes NP et Ca (en fait Ca + Mg) ou NCa. L'apport simultané de NPCaMg augmente la production. Par contre, K a une influence dépressive, le coefficient de régression est négatif quand on exclut les témoins.

Sur les hauts producteurs initiaux, PK est la seule formule efficace ; le coefficient de régression est positif qu'on exclut ou non les témoins. NCaMg ne sont plus utiles, P le reste.

En ce qui concerne l'aspect quantitatif de l'influence des différentes variables, le tableau X, qui reprend les caractéristiques R² et CMR au niveau des blocs, montre que l'état initial des arbres est primordial, les termes de la fertilisation n'intervenant que faiblement dans l'évolution des deux indices examinés.

TABLEAU X

Influence des différentes variables

Exploitation n°	Variable entrée	R ²	Augmentation de R ²	CMR	Réduction de CMR
1	Blocs	0,004		0,577	
	Etat initial	0,258	0,254	0,430	0,147
	NP	0,267	0,009	0,425	0,005
	Ca	0,270	0,003	0,423	0,002
2	Blocs	0,001		0,553	
	Etat initial	0,284	0,283	0,396	0,157
	K	0,289	0,005	0,394	0,002
3	Blocs	0,010		0,539	
	Etat initial	0,125	0,115	0,477	0,062
	NP	0,138	0,013	0,470	0,007
	NCa	0,140	0,002	0,469	0,001
4	Blocs	0,008		0,530	
	Etat initial	0,141	0,133	0,459	0,071
	K	0,147	0,006	0,456	0,003
5	Blocs	0,044		0,271	
	Etat initial	0,178	0,134	0,235	0,036
	PK	0,222	0,044	0,224	0,011
6	Blocs	0,061		0,275	
	Etat initial	0,169	0,108	0,245	0,030
	PK	0,204	0,035	0,236	0,009

La comparaison des importances relatives est facilitée par les réductions relatives de CMR (en %) et les valeurs des F à l'introduction de la variable considérée. Les valeurs successives de F reflètent l'évolution de l'importance d'une variable après introduction des (ou de la) variables suivantes. De plus, les valeurs de F pour les différentes exploitations montrent la part attribuable à chaque variable dans chaque cas.

Le tableau XI fournit les réductions relatives de CMR et les valeurs de F à l'introduction et au cours des étapes ultérieures.

L'état initial a une très grosse importance comparative aux facteurs en étude : les réductions relatives de CMR qu'il apporte sont en gros de trois à vingt fois supérieures à celles apportées par

TABLEAU XI

Réductions relatives de CMR et valeurs de F

Exploitation n°	Variable introduite	Réduction relative de CMR (%)	F		
1	Etat initial	25,5	1.463	1.418	1.434
	NP	1,2		54,06	52,76
	Ca	0,5			
2	Etat initial	28,4	1.384	1.398	
	K	5,0		22,71	
3	Etat initial	11,5	362,6	355,5	355,9
	NP	1,5		39,34	18,05
	Nca	0,2			
4	Etat initial	13,4	341,9	344,4	
	K	0,6		15,82	
5	Etat initial	13,3	24,22	23,83	
	PK	4,7		8,359	
6	Etat initial	10,9	16,21	17,22	
	PK	3,7		5,616	

l'introduction des fertilisants. Le choix du matériel végétal est donc de première importance dans ce genre d'essai, ce qui ne fait que confirmer une conclusion déjà connue.

Par ailleurs, les F à l'entrée de l'état initial :

- de l'ordre de 1.400 pour les exploitations 1 et 2,
- de l'ordre de 350 pour les exploitations 3 et 4,
- de l'ordre de 20 pour les exploitations 5 et 6,

reflètent bien l'état d'hétérogénéité du matériel dans chaque cas ; les images qu'ils fournissent se superposent bien à celles qu'ont données les CMR. Ces F n'évoluent que peu, et tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, au cours des introductions des variables suivantes : les traitements appliqués ne semblent guère homogénéiser le matériel.

Il faut souligner aussi les faibles valeurs des plus grands R^2 obtenus dans chaque cas, de 0,140 à 0,289 : les variables explicatives ne peuvent expliquer que de 14 % à 29 % environ de la variabilité constatée dans les résultats. Il reste donc une grosse part de variabilité inexpliquée, très probablement due à l'hétérogénéité du matériel à la récolte et impossible à réduire dans les conditions où ont été faites les observations. C'est la preuve que d'autres variables que celles prises en compte exercent une grande influence sur la production des arbres. A remarquer que l'état initial prend en compte à lui seul une part très importante des 14 à 19 % expliqués : de 75 % (exploitations 5 et 6) à 98 % (exploitation 2), en passant par 88 % (exploitation 3) et 95 ou 96 % (exploitations 1 et 4).

Dans de telles conditions, toute analyse classique

paraît vouée à l'échec, la variabilité du matériel cachera toujours la faible influence relative des traitements appliqués.

Remarques complémentaires

1) Un point peut être intéressant à examiner : celui du niveau de la production initiale où change le sens de la réponse à K : négative pour les faibles producteurs, positive pour les « hauts » producteurs. Cela demanderait de nouvelles exploitations ; étant donné leurs prix, nous ne les avons pas fait faire.

2) Les différences entre traitements ont pu être dégagées, d'une part en travaillant sur les log des valeurs calculées P_i/P_oK_i , d'autre part, en évaluant l'importance de chaque facteur de variabilité connu. Il s'ensuit que les moyennes de production calculées à partir de nos données brutes ne peuvent être que très grossièrement indicatives. Il est difficile en effet de transposer au plan des moyennes les résultats obtenus pour la variabilité, car les coefficients de régression observés sont des coefficients de régression partielle, les blocs et l'état initial étant maintenus constants. De plus, les façons culturales ont eu une influence, les augmentations de rendement des témoins la traduisent.

Le tableau XII donne les poids moyens (en kg) de cacao frais obtenus par arbre et par an pour les cinq traitements.

TABLEAU XII

Poids moyens de cacao frais/arbre/an (kg)

	T	N	P	K	CaMg
<i>Ensemble des arbres</i>					
Etat initial	1,101	1,595	1,794	1,719	1,350
Etat final.....	1,621	2,276	2,364	1,336	2,641
<i>Classes 1 et 2 (mauvais producteurs)</i>					
Etat initial	0,922	1,108	1,188	1,437	1,051
Etat final.....	1,532	1,983	1,949	2,005	2,384
<i>Classes 5-6-7-8 (bons producteurs)</i>					
Etat initial	2,500	4,546	2,027	4,056	3,724
Etat final.....	3,035	4,104	4,782	3,855	3,694

Pour faire apparaître l'influence des divers éléments fertilisants, on peut éliminer grossièrement celle de l'état initial en utilisant les différences entre moyennes et celle des façons culturales en calculant les écarts entre ces différences.

Les résultats (toujours exprimés en kg de cacao frais par arbre et par an) sont consignés dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII

Influence sur la production des divers éléments fertilisants
(kg cacao frais/arbre/an)

	Ensemble des arbres	Mauvais producteurs	Bons producteurs
T	0	0	0
N	+ 0,155	+ 0,265	- 0,977
P	+ 0,045	+ 0,150	+ 2,220
K	- 0,985	- 0,046	- 0,737
CaMg	+ 0,765	+ 0,723	- 0,566

L'effet dépressif de K est traduit dans les colonnes 1 et 2, ainsi que l'effet bénéfique de N - P - CaMg.

Il ne faut pas s'étonner pourtant si l'effet bénéfique de K n'apparaît pas dans la colonne 3 ; en effet c'est la variable PK qui est bénéfique et non

pas P seul ou K seul ; l'essai n'étant pas factoriel, il n'est pas possible de faire apparaître des moyennes traduisant l'interaction PK.

De toute façon, même dans les colonnes 1 et 2, l'expression de l'effet principal K n'est pas correcte, puisque les traitements ne sont pas exactement N, P, etc..., mais des fumures à forte dominance N, P, etc... En particulier, la valeur statistique des effets détectés ne doit pas être jugée sur l'importance en valeur absolue des écarts de production correspondants, car ils ne peuvent évidemment pas refléter les coefficients de régression trouvés.

Nous répétons que ces chiffres sont donnés pour illustration, uniquement pour montrer de façon très approximative de quel ordre de grandeur sont les augmentations ou les diminutions de rendement imputables à tel ou tel élément fertilisant.

CONCLUSIONS

1° En général le contrôle du terrain par les blocs s'est révélé efficace, mais cette efficacité est très faible comparée au contrôle de l'homogénéité du matériel végétal. L'influence du facteur bloc est à peu près du même ordre de grandeur que celle des traitements, et d'autant plus forte que le matériel est homogène.

2° En ce qui concerne la fertilisation, les analyses faites ont montré :

— le faible rôle des traitements en comparaison de l'état des arbres,

— la nécessité de prendre en compte le niveau de production du matériel végétal dans le choix de la fumure :

- si ce niveau est faible, N, P et Ca + Mg doivent être apportés en association ; K doit être évité,

- si ce niveau est « élevé », P et K doivent être apportés en association.

3° L'homogénéité du matériel a une importance primordiale. Ce fait est particulièrement évident pour les analyses 1 et 2 où l'état initial explique à lui seul 25 à 28 % de la variabilité sur les 27 à 29 % expliqués au total.

Même après le choix d'un matériel plus homogène, l'état initial conserve la première place dans l'explication de la variabilité : les analyses 3 et 4, et surtout 5 et 6 le montrent bien. Par ailleurs, la faible proportion de variabilité expliquée par les variables indépendantes (de 14 à 29 % sur l'ensemble des

analyses) conduit à penser que l'hétérogénéité du matériel joue encore un rôle de premier plan durant les dernières années d'observation. On constate en effet une variabilité de :

- 14 et 15 % pour les analyses 3 et 4 (matériel peu homogène dans son faible niveau, restant hétérogène),

- 20 et 22 % pour les analyses 5 et 6 (matériel plus homogène au départ, restant encore très hétérogène).

Dans de telles conditions, les observations faites sur cet essai ne peuvent guère être très utiles et pour la suite le principal effort doit porter sur l'homogénéité du matériel végétal ; cet effort sera d'autant plus payant que le contrôle du terrain par les blocs deviendra alors plus efficace.

Les résultats ainsi résumés, rapprochés du constat d'échec relatif des essais de fertilisation antérieurs (voir introduction), suggèrent que ce genre d'études, pour être fructueux, doit être repris sous un point de vue beaucoup plus large. Puisque les variables contrôlées n'expliquent que 14 à 29 % de la variabilité totale, il importe de découvrir quels sont les autres facteurs qui agissent si grandement sur la production. Il faut pour cela entreprendre une étude plus large du milieu, « disséquer » les rendements, mettre en évidence d'une part les facteurs principaux de leur variabilité, d'autre part les liens existant entre ces facteurs. C'est seulement quand ce contexte sera connu que des études de fertilisation pourront avoir un sens.

BIBLIOGRAPHIE

1. Anonyme. — Lutte chimique contre les principaux ennemis et les principales maladies du cacaoyer (circulaire 58/1 du Service de défense des cultures du C. T. A. T.). *Café Cacao Thé*, vol. II, n° 2, mai-août 1958, p. 68-79.
2. W. A. C. R. I. Annual reports 1948-1957.
3. ALVIM (P.), ERIKSON (E.), BOYTON (L.). — Métodos de cultivo de siembra, poda y fertilizantes. Inform. an. del Instituto interamericano de ciencias agrícolas de la O. E. A. (Turrialba), 1953, proyecto n° 202, p. 46-49.
4. BARTOLOMÉ (R.). — Effect of fertilizer application on the incidence of chermelle wilt of cacao. *Turrialba*, mars 1952, vol. 2, n° 1, p. 9-11.
5. EFRONYMSON (M. A.). — Multiple regression analysis. In *Mathematical methods for digital computers*, part V (17), par A. RASTON and H. S. WILF, 1960, New York, J. Wiley and Sons.
6. EVANS (H.), FENNAH (R. G.). — Investigations on the mineral nutrition of cacao. Imperial college of tropical agriculture, Report on cacao research, St. Augustine, Trinidad, 1953, p. 38-52.
7. FENNAH (R. G.). — The collection of leaf samples of cacao for assessment of the nutrient status of the tree. Imperial college of tropical agriculture, Report on cacao research, St. Augustine, Trinidad, 1953, p. 36-40.
8. GREENWOOD (M.), POSNETTE (A. F.). — The growth flushes of cacao. *Journal of Horticultural Science*, 25, 3, avril 1950, p. 164-174.
9. HAYORD (G.). — Manurial and cultural experiment on cacao. IV. The effect of fertilizer, shade and spacing on flowering, fruitset and chermellewilt. Report on cacao research, Imp. college of trop. ag., Trinidad, 1954, p. 58-68.
10. HOMES (M.). — L'alimentation minérale du cacaoyer. I. N. E. A. C., série scientifique n° 58, 1953, 128 p.
11. HUMPHRIES (E. C.). — A consideration of the factors controlling the opening of buds in the cacao tree. *Annals of Botany*, 8, 30-31, p. 259-267, avr.-juin 1944.
12. JARAMILLO (A.). — La urea y el marchitamiento de frutos juvenes; nota preliminar. *Cacao in Colombia*, 1952, p. 101-106.
13. MAC DONALD (J.). — The mineral nutrition of plants; the possible application of recent ideas to the growth and manuring of the cacao tree. *Tropical agriculture* (Trinidad), 12, I, janv. 1953, p. 11-15.
14. MARTICOU (H.), MULLER (R.). — Essai de mise au point d'une méthode d'expérimentation adaptée aux conditions de la cacaoyère camerounaise traditionnelle. *Café Cacao Thé*, vol. VIII, n° 3, juill.-sept. 1964, p. 173-201.
15. MURRAY (D. B.). — A shade and fertilizer experiment with cacao. Imperial college of tropical agriculture, Trinidad, Annual report on cacao research, 1954, p. 32-36.
16. MURRAY (D. B.). — Le rôle de l'ombrage et des engrais dans la culture du cacaoyer. Com. Caraïbes cacao (Port of Spain), 1957, n° 50. Chambre d'agriculture du Cameroun, fév. 1958, n° 7, p. 14-18.
17. RIVERA (R.). — Sombrio permanente para el cacao. Boletín agrícola (Medellin), oct. 1955, n° 426, p. 5389-5390.

BÉNAC (R.), DEJARDIN (J.). — Essais d'engrais sur cacaoyers au Cameroun (région de Yaoundé). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 1, janv.-mars 1970, p. 13-27, tabl., réf.

Des essais d'engrais sur cacaoyers ont été mis en place en 1958, sur plantations villageoises dans la région de Yaoundé, sur milieu très hétérogène par l'ombrage et par le matériel végétal (Trinitario essentiellement).

Pour pouvoir éliminer les arbres morts ou détériorés pendant l'expérience, de grandes parcelles ont été choisies comportant trois cents arbres dont deux cents utiles, chacun d'eux étant numéroté et suivi individuellement. Cinq blocs de cinq parcelles ont été mis en place. Les traitements étaient les suivants : témoin sans engrais, fumure NPKCaMg avec N dominant, avec P dominant, avec K dominant, avec CaMg dominant. On a procédé tous les quinze jours au comptage des cabosses pourries, des cabosses mûres et des chermelles desséchées en notant leur répartition sur les arbres. Le poids de fèves fraîches était noté pour toutes les cabosses mûres récoltées.

La distribution de la production sur les parcelles témoins a été étudiée pendant six ans. Pour déterminer l'effet des traitements sur la production, on a procédé à l'analyse de la production globale des parcelles, mais aucune différence ne put être décelée entre les traitements. On a réparti alors les arbres par classes de production à l'intérieur des parcelles et

BÉNAC (R.), DEJARDIN (J.). — Fertilization trials on cocoa trees in the Cameroun (Yaoundé region). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 1, janv.-mars 1970, p. 13-27, tabl., réf.

Fertilization trials on cocoa trees were put into operation in 1958, on small plantations in the area of Yaoundé, with very heterogeneous shade and cocoa trees (basically Trinitario).

So as to be able to eliminate the damaged or dead trees during the experiment, large plots were chosen, consisting of three hundred trees two hundred of which were useful, each of them being numbered and individually followed. Five blocks of five plots were established. The following treatments were carried out : the control, with no fertilizer ; NPKCaMg fertilizer with N prevailing ; with P prevailing ; with K prevailing and with CaMg prevailing. Every fifteen days rotten pods, ripe pods, and withered chermelles were counted, taking note of their distribution on the trees ; the weight of fresh beans was noted down for all the ripe pods harvested.

The distribution of production on the control plots was studied over a period of six years. In order to determine the effect of treatments on the production, the analysis of the total production of the plots was done, but no difference could be revealed between the various treatments. Then the trees were divided into classes of production within the plots, and the

on a procédé à l'analyse par la méthode de régression multiple par étapes.

Les résultats permettent de conclure que le contrôle du terrain par les blocs est efficace, mais l'influence du facteur bloc est à peu près du même ordre de grandeur que celle des traitements. Les analyses ont montré le faible rôle des traitements en comparaison de l'état initial des arbres. Si le niveau de production du matériel végétal est faible, N, P, Ca + Mg doivent être apportés en association, K doit être évité ; si ce niveau est élevé, P et K doivent être apportés en association. L'homogénéité du matériel végétal a une importance primordiale ; l'état initial des arbres explique à lui seul 25 à 28 % de la variabilité sur les 27 à 29 % expliqués au total.

Puisque les variables contrôlées n'expliquent qu'une partie de la variabilité totale, il importe de découvrir les autres facteurs qui agissent sur la production. Il faut pour cela entreprendre une étude plus large du milieu, mettre en évidence les facteurs principaux de la variabilité des rendements et les liens existant entre ces facteurs.

BÉNAC (R.), DEJARDIN (J.). — **Düngungsversuche bei Kakaobäumen im Kamerun (Gegend von Yaoundé).** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 1, janv.-mars 1970, p. 13-27, tabl., réf.

Düngungsversuche bei Kakaobäumen wurden 1958 in Dorfplantagen der Gegend von Yaoundé auf einem durch Beschattung und Pflanzmaterial (hauptsächlich Trinitario) ungleichartigen Milieu in die Wege geleitet.

Um die während des Versuches abgestorbenen oder beschädigten Bäume ausschalten zu können, entschied man sich für grosse Parzellen mit drei hundert Bäumen darunter zwei hundert nutzbare, wobei jeder mit einer Nummer versehen und im einzelnen nachgeprüft wurde. Fünf Blöcke von fünf Parzellen wurden für die Behandlung angelegt. Die Behandlung erfolgte folgendermassen : Kontrollparzelle ohne Düngung, Düngung mit NPKCaMg mit vorherrschend N, mit vorherrschend P, mit vorherrschend K, mit vorherrschend CaMg. Alle vierzehn Tage wurde eine Zählung der faulen, der reifen und der ausgetrockneten verkämmerten Schoten vorgenommen, wobei die Verteilung pro Baum vermerkt wurde ; das Gewicht an frischen Bohnen wurde für alle geernteten reifen Schoten vermerkt.

Die Verteilung der Produktion auf die Kontrollparzellen wurde während sechs Jahren geprüft. Zur Feststellung des Einflusses der Behandlung auf die Produktion wurde die Analyse der Gesamtproduktion der Parzellen vorgenommen, ein Unterschied zwischen den Behandlungen konnte aber nicht festgestellt werden. Darauf wurden die Bäume in Produktionsklassen innerhalb der Parzellen eingeteilt und zur Analyse mittels der Methode der vielfachen Regression nach Etappen geschritten.

Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Kontrolle des Faktors Boden mittels der Blöcke wirksam ist, der Einfluss des Faktors Block ist jedoch von ungefähr gleicher Grösseordnung wie die der Behandlung. Die Analysen zeigten

analysis done according to the method of multiple regression by stages.

The results allow us to come to the conclusion that the block method of controlling the soil factor is efficient, but the influence of the block factor is on almost the same scale of importance as the treatments. The analysis showed the weak role of the treatments in comparison with the initial state of the trees. If the production level of the trees is poor, N, P, Ca + Mg must be used together, and K must be avoided ; if this level is high, P and K must be used together. The homogeneity of the trees is of prime importance ; the initial state of the trees, alone, explains 25 % to 28 % of the variability out of the 27 % to 29 % explained on the whole.

Since the controlled variables only explain a part of the total variability, it is now a question of discovering the other factors which affect the production. For this, it is necessary to undertake a wider study of the environment, and to bring to light the main factors of yield variability and the relations existing between these factors.

BÉNAC (R.), DEJARDIN (J.). — **Ensayos de abonos sobre cacao en Camerún (región de Yaoundé).** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 1, janv.-mars 1970, p. 13-27, tabl., réf.

En 1958 se empezaron ensayos de abonos sobre cacao en plantaciones de aldea en la región de Yaoundé, en medio con sombra y material vegetal (en gran parte Trinitario) muy heterogéneos.

Para poder eliminar los árboles muertos o dañados durante la experimentación, se escogieron parcelas de gran tamaño constituidas de trescientos árboles incluyendo doscientos árboles útiles, atribuyéndose a cada uno un número y haciéndose observaciones individuales. Se establecieron cinco bloques con cinco parcelas. Los tratamientos fueron los siguientes : testigo sin abono, abono NPKCaMg siendo N el nutriente dominante, P el nutriente dominante, K el nutriente dominante, CaMg los nutrientes dominantes. Cada quince días se computaron las mazorcas podridas, las mazorcas maduras y los cherelles secas, notándose su distribución en los árboles ; también se notó para todas las mazorcas maduras cosechadas el peso de almendras frescas.

Se estudió durante seis años la distribución de la producción en las parcelas testigos. Con objeto de determinar el efecto de los tratamientos sobre la producción, se analizó la producción global de las parcelas, pero ninguna diferencia se observó entre los tratamientos. Por lo tanto los árboles se consideraron según categorías de producción dentro de las parcelas y se efectuó el análisis aplicándose el método de regresión múltiple en varias etapas.

Los resultados permitieron concluir que el control del factor suelo con los bloques es eficaz, pero la influencia del factor bloque es aproximadamente de misma magnitud que la de los tratamientos. Los análisis mostraron que los tratamientos desempeñan un papel reducido en comparación

die untergeordnete Rolle der Behandlungen im Vergleich zum Anfangsstadium der Bäume. Falls der Produktionsstand des Pflanzmaterials gering ist, müssen N, P, Ca + Mg verein gegeben werden, Kaliumgaben sind zu meiden ; falls dieser Stand hoch ist, sind vereinte Gaben an P und K notwendig. Die Homogenität des Pflanzmaterials ist von wesentlicher Bedeutung ; der Anfangszustand der Bäume allein erklärt 25 bis 28 % der Variabilität von den insgesamt 27 bis 29 % für welche eine Erklärung gefunden wurde.

Da die kontrollierten Variablen nur einen Teil der totalen Variabilität erklären, ist es wichtig die anderen Faktoren zu ermitteln welche die Produktion beeinflussen. Dazu bedarf es einer weitgehenden Untersuchung des Milieus, eines Nachweises der Hauptfaktoren der Variabilität der Erträge und der zwischen diesen Faktoren bestehenden Zusammenhänge.

con el estado inicial del árbol. En el caso de un nivel reducido de producción del material vegetal, es preciso aportar en asociación N, P, Ca + Mg debiéndose evitar K ; de hallarse elevado dicho nivel, se aportarán P y K en asociación. La homogeneidad del material vegetal tiene una suma importancia ; el estado inicial de los árboles explica por sí solo un 25-28 % de la variabilidad sobre un 27-29 % de la variabilidad explicada en conjunto.

Ya que las variables controladas explican solamente una parte de la variabilidad total, importa descubrir los demás factores que actúan sobre la producción. Por eso falta desarrollar un estudio más amplio del ambiente, evidenciar los factores principales de la variabilidad de los rendimientos y las relaciones que existen entre dichos factores.

