

ESSAIS D'ENGRAIS SUR CACAOYERS MENES DANS LA REGION DE YAOUNDE, CAMEROUN

R. BENAC ET J. DE JARDIN
Centre de Recherches de l'I.F.C.C. au Cameroun

RÉSUMÉ

On décrit d'abord le milieu dans lequel est poursuivi l'essai: hétérogène par la qualité et la densité de l'ombrage, hétérogène par les cacaoyers eux-mêmes dont la production est très variable d'un arbre à son voisin. On décrit ensuite la méthode expérimentale utilisée dont les caractéristiques sont les suivantes:

Observation de la production non de l'ensemble des arbres d'une parcelle, mais dans chaque parcelle de chacun des arbres.

Observation de leur production la première année en l'absence de traitement pour servir de référence.

Considération non de la production brute mais du rapport P_1/P_0K_1 (P_0 production l'année 1, P_1 production l'année de référence, $K_1 \times T_1/T_0$, rapport de la production du témoin l'année 1 à sa production l'année 0). On travaille sur le log de ce rapport car il est distribué normalement alors que le rapport lui-même ne l'est pas.

On expose ensuite comment se distribue en l'absence de traitements fertilisants la production de ces cacaoyers: poids de cacao sec par arbre et par an, nombre de cabosses parvenues à maturité, pourries et desséchées à divers stades de leur développement, pourcentages des arbres considérés comme très bons, bons, moyens ou mauvais producteurs, différence entre les années et les blocs.

On étudie enfin l'influence des traitements fertilisants sur la production des arbres. Après avoir indiqué l'incidence de la pourriture brune sur l'analyse des résultats, l'auteur signale que:

la production des témoins a significativement augmenté d'environ 30% de l'année 1 à l'année 0.

la production des parcelles traitées a significativement augmenté au cours de l'année 7 et l'année 8 de 50% par rapport au témoin.

aucune différence de production n'est décelable entre les 4 traitements fertilisants mis en comparaison (N, P, K, CaMg) lorsqu'on emploie les méthodes classiques d'analyse.

La méthode d'exploitation adoptée est la régression multiple par étapes: adjonction et suppression de variables jusqu'à ce que le plus petit carré moyen résiduel possible soit obtenu.

On en arrive aux conclusions suivantes:

le facteur le plus important dans la tentative d'explication de la variabilité du rendement final est l'état initial des arbres (caractérisé par leur production au cours de la première année de contrôle).

les fertilisants ont une importance 20 fois moins grande; sur les faibles producteurs K a un effet dépressif, NPCaMg un effet favorable; sur les hauts producteurs NCaMg est sans effet, PK bénéfique.

Mais il faut noter que ces facteurs—état initial, fertilisants—n'expliquent que 14 à 29% de la variabilité constatée; la plus grosse partie reste donc inexpliquée; ce qui dénonce très probablement une énorme hétérogénéité du matériel à la récolte, impossible à réduire dans les conditions de l'expérience.

Il semble donc que le premier soin dans une expérience ultérieure doit être d'homogénéiser le matériel végétal.

FERTILIZER TRIAL ON CACAO IN THE YAOUNDE REGION, CAMEROON

SUMMARY

The paper describes the heterogenous conditions (of shade, cacao population and yield) under which the trial was undertaken. The methods of analyses were conducted on (1) individual tree yield (2) one year pre-treatment yield (3) the logarithm of the ratio P_1/P_0K_1 (where P_1 is yield in the first year, P_0 yield in the year of commencement and $K_1 = T_1/T_0$, ratio of yield of the control in year 1 to yield in year (0) and (4) the effect of the absence or presence of fertilizers on the distribution of the various pod categories.

It was observed that the yield of the control increased by about 30% from year 1 to year 0. The yield of the treated plots increased over year 7 and year 8 by 50% compared to the control. No yield difference was observed for the four fertilizer (N, P, K, CaMg) treatments when the classical methods of analyses were applied. A method of multiple regression by stages using least square averages was employed.

It was concluded that the initial condition of the tree is the most important factor which accounts for the variability in the final output. On poor cacao, K depresses yield while NPCaMg has favourable effect. On high yielders, NCaMg has no effect but PK is beneficial.

It was observed that the initial state and fertilizer factors accounted for only 14 to 29% of the variability. The bulk of the variability remains unexplained, which probably reflects the great heterogeneity of the material and the difficulty in reducing some of the conditions. It seems that future tests must attempt to homogenise the vegetative material.

SUMARIO

O presente trabalho descreve as condições heterogêneas (de sombra, população de cacauzeiros e rendimento) em que a prova foi realizada. Os métodos de análises foram efetuados em (1) rendimento individual das árvores, (2) rendimento de um ano antes do tratamento, (3) o logaritmo da razão P_1/P_0K_1 (em que P_1 é o rendimento no primeiro ano, P_0 o rendimento no ano inicial, e $K_1=T_1/T_0$, ou seja, razão entre o rendimento do controle no ano 1 e o rendimento no ano 0), e (4) o efeito da ausência ou presença de adubos na distribuição das várias categorias de casca.

Observou-se que o rendimento do controle aumentou em cerca de 30% do ano 1 ao ano 0. O rendimento dos lotes tratados aumentou durante o ano 7 e o ano 8 em 50%, comparado ao controle. Quando se aplicaram os métodos clássicos de análise, não se verificou diferença de rendimento com respeito aos quatro tratamentos por fertilizante (N, P, K, CaMg). Empregou-se um método de regressão múltipla por estágios usando as raízes mínimas médias.

Concluiu-se que o estado inicial da árvore é o fator mais importante para explicar a variabilidade da produção final. Em cacauzeiros deficientes, o K reduz o rendimento, enquanto NPCaMg têm efeito favorável. Nos de alto rendimento, NCaMg não produzem efeito, mas PK são benéficos.

Observou-se que o estado inicial e os fatores de fertilizante dão conta de apenas 14 a 29% da variabilidade. Assim, a maior parte desta permanece sem explicação, o que reflete provavelmente a grande heterogeneidade do material e a dificuldade de reduzir algumas das condições. Parece que nas provas futuras se deverá tentar homogeneizar o material vegetativo.

I. INTRODUCTION

A. 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 cette plante au Cameroun. Au Brésil, en Amérique centrale, au Ghana, au Nigéria, au Congo, des essais portant surtout sur les fumures NPK et destinés à étudier l'influence de ces fertilisants sur la croissance du jeune et la production de l'adulte, ont donné jusqu'ici des résultats très disparates.

Des travaux d'Alvim, (et al. (1953), de Bartolome (1952), Evans (1953), Fennah (1953), Havord (1957), Homes (1953), Jaramillo (1952), Murray (1954, 1958), MacDonald (1953), Rivera (1955) on peut tirer les conclusions principales suivantes:

(a) Réponse à l'azote

L'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque ou d'urée augmente la croissance des jeunes. 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).

(b) Réponse au phosphore

Au Ghana, l'application de superphosphate, à raison de 60 g par pied et par an sur jeunes 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 la Trinidad, le phosphore (110 g de 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. Il réduit le wilt dans les parcelles à large espacement, accroît le nombre de nouaisons quand elles sont sans ombrage, le réduit quand elles sont ombragées.

(c) 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).

(d) 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 K est double de celle de N et P (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 la Trinidad Humphries (1944) au Ghana Greenwood et Posnette (1950), 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 9 cacaoyers par parcelle, à la Trinidad, les plus grandes parcelles comprennent une vingtaine d'arbres; bien plus souvent de 4 à 8, ce qui explique que de nombreux essais ne donnent aucun résultat. Fennah (1953) 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.

B. CARACTERES DU MILIEU EXPERIMENTAL

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 6 et 10 cabosses par an, certains n'en produisent aucune, d'autres (peu nombreux) jusqu'à 200.

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

C. METHODE EXPERIMENTALE 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-Economiques, retient pour juger l'effet d'un traitement la différence de production d'un même arbre par rapport à une année témoin (Marticou et Muller, 1964).

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,
- la climatologie particulière 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.

Soient 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 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 que seul

le "climat" de l'année i ait influencé la production.

Si $\frac{P_i}{P_c}$ (c'est-à-dire $\frac{P_i}{P_o} \frac{T_o}{T_i}$) a une valeur signifi-

cativement 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.

D. SCHEMA EXPERIMENTAL

Pour pouvoir éliminer les arbres morts ou détériorés pendant la longue période prévue pour l'expérience, nous avons pris de grandes parcelles: 300 arbres portant chacun un numéro, c'est-à-dire 200 arbres utiles environ.

Nous avons mis en place 5 blocs de 5 parcelles, séparés les uns des autres.

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

| | 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 |

Les nombres indiquent le poids d'engrais en grammes appliqué chaque année à chaque arbre. 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 15 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 (Anon).

II. ETUDE DE LA DISTRIBUTION DE LA PRODUCTION SUR LES PARCELLESTEMOINS PENDANT 6 ANS

A. MOYENNES GENERALES

Elles sont obtenues sur 1.033 arbres témoins observés de 1958 (année témoin) à 1963—6ème année d'étude).

(a) 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%
- Arbre produisant moins de 400 g de cacao sec 34,5%
- Arbre produisant moins de 400 à 800 g de cacao sec 27,2%
- Arbres produisant moins de 800 à 1600 g de cacao sec 21,7%
- Arbres produisant plus de 1600 g de cacao sec 8,7%

(b) 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).

(c) "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,
- 14,0 „ 3 et 7 cm de long,
- 2,8 „ 7 et 12 cm de long,
- Soit 58,9 - 34,4 et 6,7% du total.

On en compte:

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

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 10 jours ramené 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 4 catégories:

- (1) cabosses creusées par des "vers de cabosses",
- (2) cabosses à pédoncule abîmé,
- (3) cabosses à surface abondamment piquée,
- (4) cabosses 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" a été 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 rangés principalement dans les 1ère et 3ème catégories appartiennent en réalité à la 4ème 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 toutes façons ces simples comptages n'avaient pour but que de donner quelques indications.

B. COMPORTEMENT DES DIFFERENTS BLOCS

(a) 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 en fin de paragraphe).

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 augmenté le nombre de cabosses. 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 le bloc V, 23,8% dans le bloc I.

Comment se distingue la production dans les divers blocs? Le tableau ci-dessous 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.

| Bloc | Arbres sans production | Moins de 400 g de cacao sec | Entre 400 et 800 g de cacao sec | Entre 800 et 1600 g de cacao sec | Plus de 1600 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 |

(b) *Pourriture brune*

Le plus grand nombre de 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 pourries par rapport au nombre de 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.

(c) "Wilt"

Le pourcentage de cabosses desséchées par rapport au nombre total de fruits formés reste assez constant pour les 5 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,
- 52,1 sur branches,
- 7,2 sur tronc,
- 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,
- 5,9 sur tronc,

- 22,3 sur branches,
- 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).

VARIATION ANNUELLES

(a) *Production*

L'année la moins productive est 1959 (2ème année d'observation) avec 1,283 Kg de cacao frais et 15,1 cabosses mûres par arbres—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 cabosses 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 pluviométrie, 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 pluies—, 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 ci-dessous, 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:

| Années | Pas de Production | Moins de 400 g de cacao sec | De 400 à 800 g de cacao sec | De 800 à 1600 g de cacao sec | Plus de 1600 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 |

(b) 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-October-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, 8,2% du total, et 30,3% par rapport aux 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 pluies contre 212,4 en moyenne pour les années considérées.

(c) "Wilt"

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

- 79,1 par arbre et par an,
- 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,
- 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 5 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.

Nous donnons en résumé les deux tableaux suivants qui groupent les principales données:

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

| Blocs | Cacao frais | Cabosses mûres | CACAO FRAIS | | Cabosses pourries | Cabosses desséchées |
|-------|-------------|----------------|------------------|--|-------------------|---------------------|
| | | | Par Cabosse mûre | | | |
| I | 0,925 kg | 10,5 | 88,1 g | | 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 |

Production moyenne par arbre et par année des témoins

| Blocs | Cacao frais | Cabosses mûres | CACAO FRAIS | Cabosses pourries | Cabosses desséchées |
|-------|-------------|----------------|------------------|-------------------|---------------------|
| | | | Par Cabosse mûre | | |
| 1958 | 1,436 kg | 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 |

III. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA PRODUCTION

A.—ANALYSE DE LA PRODUCTION GLOBALE DES PARCELLES

(a) *Les 6 premières années*

Jusqu'en 1961—4^{ème} année d'observation, 3^{ème} année d'épandage d'engrais—les parcelles 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 rendements 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.

(b) *Au bout de 8 ans*

Après 7 années de fertilisation, on peut tirer de l'étude des productions globales des 25 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 (7 et 8) significativement augmentée d'environ 50% par rapport au témoin.
- (3) Aucune différence de production n'est décelable entre les traitements M-P-K-CaMg.

B.—ANALYSE DE LA PRODUCTION PAR CLASSES A L'INTERIEUR 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 1 (année d'observation faite en l'absence de tout épandage d'engrais), d'autre part l'année 8 (après 7 ans de fertilisation).

A partir du fichier IBM établi au laboratoire de physiologie végétale de Nkolbisson (Cameroun), nous avons classé les arbres de chacune des 25 parcelles en 9 classes:

- 1.-0 aucune production,
- 2.-10 à 0,99 kg de cacao frais,
- 3.-21 à 1,999 Kg de cacao frais,
- 9.-87 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 9 classes ainsi définies.
- (2) Si un même traitement a eu un effet plus marqué sur l'une de ces classes.

(a) *Emploi des tests de symétrie*

Nous avons étudié la répartition des arbres dans les diverses classes de production l'année 8 en fonction de leur rendement l'année 1 et nous avons dans ce but établi pour chaque traitement un tableau d'effectifs à double entrée du type suivant:

| | | Classe finale (année 8) | | | | | |
|---------------------------|---------|-------------------------|---|---|---|---|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 à 9 |
| Classe initiale (année 1) | Classes | | | | | | |
| | 0 | | | | | | |
| | 1 | | | | | | |
| | 2 | | | | | | |
| | 3 | | | | | | |
| | 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

puis testé, pour 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 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. Les changements de classe de production ne sont donc pas fortuits.

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 3 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.

(b) *Comparaison des effectifs observés aux effectifs théoriques*

Nous avons aussi comparé les *effectifs observés aux effectifs théoriques calculés* en prenant les traitements 2 à 2, c'est-à-dire qu'au lieu de tester des différences de symétrie, nous avons testé 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 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 8 dans la même classe que l'année 1. A droite de la diagonale les arbres sont passés dans une classe supérieure, à gauche dans une classe inférieure.

Nous avons ci-dessous résumé les % trouvés dans ces 3 catégories:

| | % 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 % 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 % d'arbres "stationnaire" est à peu près le même pour tous les traitements, voisin de 24%.
- (3) que le % d'arbres ayant augmenté de production est d'environ 39% pour le témoin, 52% pour N et P. Ces % 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 X^2 d'homogénéité calculée sur les effectifs théoriques et observés des 10 couples de traitements.

C.—ETUDE DES RÉGRESSIONS PARTIELLES

(a) *Exposé de la méthode*

Nous n'avons considéré jusqu'ici que le nombre d'arbres ayant changé de classe de production après 7 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 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 des quelques 40.000 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 6600 de la S.I.A.

Indiquons que cette méthode ne met pas, comme les méthodes classiques, des moyennes en comparaison; 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 en (Efroymson, 1960).

La variable expliquée (ou dépendante) est le logarithme du cumul des rendements des années 6, 7 et 8 et les variables explicatives (ou indépendantes) sont:

- le bloc,
- l'état initial (logarithme du cumul des rendements des années 1 et 2),
- la quantité de fertilisant 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: N^2 , P^2 , K^2 , Ca^2 .
- pour prendre en compte les interactions possibles entre fertilisants: NP, NK, NCa, PK, PCa et KCa.

Soit au total 16 variables indépendantes.

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

- 1: toutes classes de production, tous traitements et témoins (4283 arbres),
- 2: toutes classes de production, (3494 arbres), témoins exclus,
- 3: faibles producteurs initiaux (classes initiales 1 et 2), tous traitements et témoins (2766 arbres),
- 4: faibles producteurs initiaux, témoins exclus (2210 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 premières exploitations seules 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-dessous sur l'importance relative de chaque variable peut être porté à partir du coefficient de détermination multiple, R^2 , ou du carré moyen résiduel, CMR: les deux sont fournis dans les tableaux ci-après. 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).

(b) 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 ci-dessous résume les 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 | 0,061 | 0,284 | | |
| | b | 0,061 | | 0,275 | 0,009 | 3,2 |

Comparées 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 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 ci-dessous 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).

| | Tous traitements et témoins | Témoins exclus |
|------------------------------|---|---|
| Toutes classes de production | <i>Exploitation n° 1</i> . Etat initial . NP . Ca | <i>Exploitation n° 2</i> . Etat initial . K (coefficient de régression négatif) |
| Bas producteurs initiaux | <i>Exploitation n° 3</i> . Etat initial . NP . NCa | <i>Exploitation n° 4</i> . Etat initial . K (coefficient de régression négatif) |
| Hauts producteurs initiaux | <i>Exploitation n° 5</i> . Etat initial . PK | <i>Exploitation n° 6</i> . 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 ci-dessous qui reprend les caractéristiques R^2 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.

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

| 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 |

| Exploitation n° | Variable introduite | Réduction relative de CMR (%) | F | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1 | Etat initial | 25,5 | 1463 | 1418 | 1434 |
| | NP | 1,2 | | 54,06 | 52,76 |
| | Ca | 0,5 | | | |
| | | 1,6 | | | |
| 2 | Etat initial | 28,4 | 1384 | 1398 | |
| | 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 | | | |
| | | 1,7 | | | |
| 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'état initial a une très grosse importance comparativement aux facteurs en étude: les réductions relatives de CMR qu'il apporte sont en gros de 3 à 20 fois supérieures à celles apportées par 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 1400 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 inexplicée, très probablement due à l'hétérogénéité du matériel à la récolte et impossible à réduire dans les conditions où ont été faites les observations.* 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.

(c) Remarques complémentaires

(a) 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". Cela demanderait de nouvelles exploitations; étant donnés leurs prix, nous ne les avons pas fait faire.

(b) Les différences entre traitements ont pu être dégagées, d'une part en travaillant sur les

* C'est la preuve que d'autres variables que celles prises en considération exercent une grande influence sur la production de sarbres.

605

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.

Voici d'abord les poids moyens (en Kg) de cacao frais obtenus par arbre et par an pour les 5 traitements:

En voici les résultats (toujours exprimés en Kg de cacao frais par arbre et par an):

| | (1°) Ensemble des arbres | (2°) Mauvais producteurs | (3°) 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 tableaux (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 le tableau (3); en effet c'est la variable PK qui est bénéfique et non

| | T | N | P | K | CaMg |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ensemble des arbres | | | | | |
| Etat initial | 1,101 | 1,595 | 1,794 | 1,719 | 1,350 |
| Etat final | 1,621 | 2,276 | 2,364 | 1,336 | 2,641 |
| Classes 1 et 2 (mauvais producteurs) | | | | | |
| Etat initial | 0,922 | 1,108 | 1,188 | 1,437 | 1,051 |
| Etat final | 1,532 | 1,983 | 1,949 | 2,005 | 2,384 |
| Classes 5-6-7-8 (bons producteurs) | | | | | |
| 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.

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 toutes façons même dans les tableau (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.

Nour répétons que ces chiffres sont donnés en manière d'illustration, uniquement pour montrer de façon très approximative de quel ordre de grandeur sont les augmentations ou les diminutions de rendements imputables à tel ou tel élément fertilisant.

IV. 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 sur 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 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'observations. On constate en effet:

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 efficaces 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

- Anon (1958). 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*, 1968, vol. II, 86 p.
- Alvim, P., Erikson, E. et Boyton, L. (1953). Ombrage, taille et fumure du cacaoyer. Inform. ann. del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de l'O.E.A. (Turrialba) 1953 prospecto no. 202, pp. 46-49.
- Bartolome, R. (1952). Effect of fertilizer application on the incidence of cherville wilt of cacao. Interamerican institute of agricultural sciences. Turrialba, Costa-Rica, mars 1952 vol. 2, no. 1, pp. 9-11.
- Efroymson, M. A. (1960). Multiple regression analysis. In *Mathematical methods for digital computers*, part V (17) edited by A. Raston and H. S. Wilf. New York J. Wiley and Sons.
- Evans, H. & Fennah, R. G. (1953). Investigations on the mineral nutrition of cacao. *Rep. Cacao Res*, 1953, 38-52.
- Fennah R. G. (1953). The collection of leaf samples of cacao for assessment of the nutrient status of the tree. *Rep. Cacao Res*, 1953, 36-40.
- Greenwood, M. et Posnette, A. F. (1950). The growth flushes of cacao. *J. hort. Sci.* 25, 164-174.
- Havard, G. (1957). Essais de culture et d'engrais sur le cacaoyer. IV. Effet du fertilisant, de l'ombrage et de l'espacement sur la floraison, la mise à fruit et le flétrissement des chérelles. *Café, cacao, thé* 1, 58.
- Homes, M. (1953). L'alimentation minérale du cacaoyer. *I.N.E.A.C. série scientifique*, 58, 128.

Humphries, E. C. (1944). A consideration of the factors controlling the opening of buds in the cacao tree. *Ann. Bot.* 8, 259-267.

Jaramillo, A. (1952). La urea y el marchitamiento de los frutos jóvenes; note preliminar. *Cacao in Colombia*, pp. 101-106.

MacDonald J. (1953). The mineral nutrition of plants; the possible application of recent ideas to the growth and manuring of the cacao tree. *Trop. Agric. Trin.* 12, 11-15.

Martico, H. et Muller, R. (1964). Essai de mise au

point d'une méthode d'experimentation adaptée aux conditions de la cacaoyère camerounaise traditionnelle. *Café cacao, thé*, 8, 173-201.

Murray, D. B. (1954). A shade and fertilizer experiment with cacao. *Rep. Cacao Res.* 1954, 32-36.

Murray D. B. (1958). Le rôle de l'ombrage et des engrais dans la culture du cacaoyer, Com. Caraïbes cacao (Port of Spain) 1957, no 50. Chambre d'agriculture du Cameroun 1958, février, no. 7, pp. 14-18.

Rivera, R. (1955) Ombrage permanent pour le cacaoyer. *Boletim agricola (Medellin)*, (426), 5389-5390.