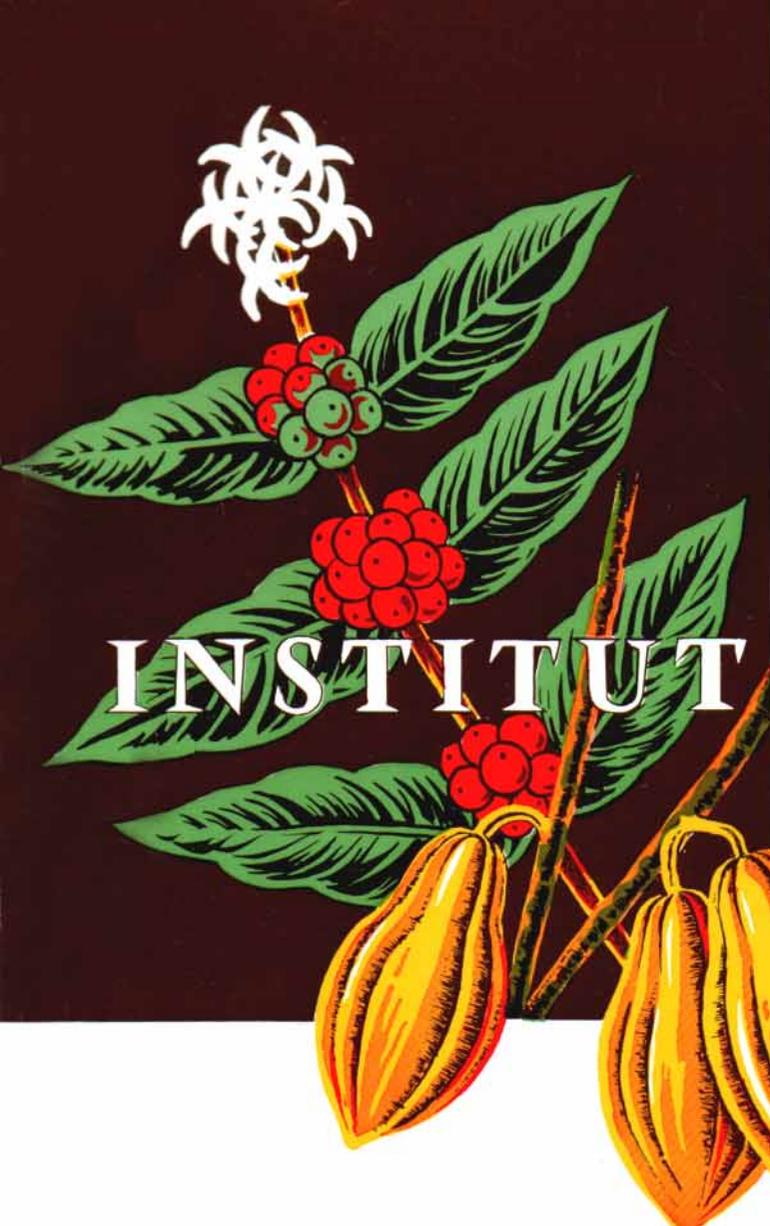


I. F. C. C.

An illustration on a dark brown background showing a coffee branch with green leaves, a white flower, and clusters of red and green coffee cherries. Below it are three yellow cacao pods hanging from a branch.

INSTITUT

**FRANÇAIS
DU CAFÉ
ET
DU CACAO**

**ÉTUDE DES BESOINS EN ÉLÉMENTS MAJEURS
DU CAFÉIER ARABICA EN PAYS BAMOUN
(CAMEROUN)**

R. BÉNAC

ÉTUDE DES BESOINS EN ÉLÉMENTS MAJEURS DU CAFÉIER ARABICA EN PAYS BAMOUN (CAMEROUN)

R. BÉNAC

Maître de recherches de l'ORSTOM

Institut Français du Café et du Cacao

34, rue des Renaudes, Paris 17^e

Tiré à part des articles publiés dans *Café, Cacao, Thé*, vol. IX, n° 1; vol. X, n° 4; vol. XI, n° 1 et 3.

8 DEC. 1983

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

N°: 4 114

Cote: B

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 2082

20 DEC 1983

SOMMAIRE

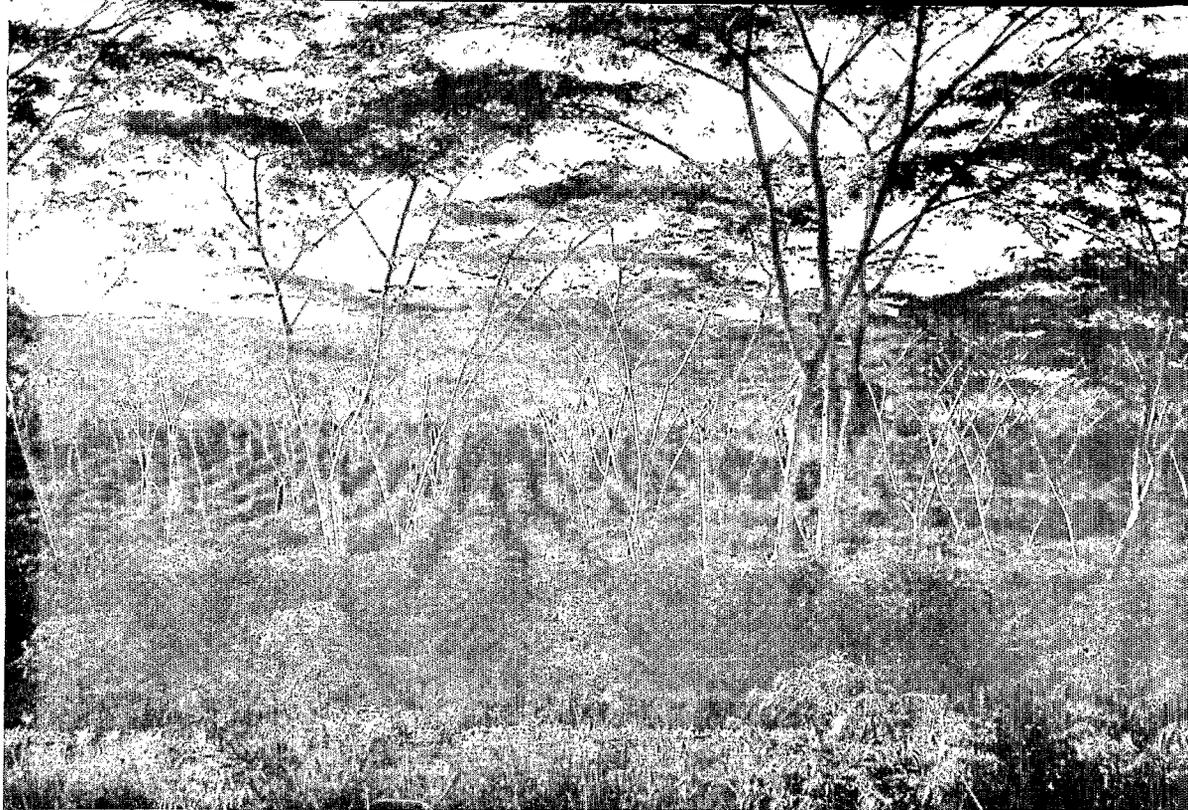
AVANT-PROPOS	5
PREMIÈRE PARTIE	
RÉPONSE DES CAFÉIERS AUX TRAITEMENTS FERTILISANTS	6
I. — Dispositif expérimental	9
A. — Traitements effectués	9
B. — Matériel végétal utilisé	9
C. — Conditions météorologiques	10
D. — Conditions pédologiques	10
II. — Résultats	12
A. — Etude des rendements année par année	12
B. — Etude des productions cumulées de 1960-1961-1962-1963	14
C. — Pluviométrie et rendements	17
D. — Rendements et doses de sulfate d'ammoniaque	17
E. — Rentabilité de la fumure	18
III. — Discussion	18
IV. — Conclusion	19
DEUXIÈME PARTIE	
ANALYSES FOLIAIRES	20
I. — Choix d'une méthode de travail	20
A. — Le diagnostic foliaire: rappel de quelques données fondamentales	20
B. — Définition de l'échantillon	20
C. — Importance de l'échantillon	23
D. — Technique adoptée	23
E. — Eléments analysés	24
F. — Dates de prélèvement	24
II. — Résultats des analyses	25
A. — Etude des teneurs en azote	26
B. — Etude des teneurs en phosphore	35
C. — Etude des teneurs en potassium	42
D. — Etude des teneurs en calcium	50
E. — Etude des teneurs en magnésium	57
F. — Conclusion	62

III. — Rapport des différents éléments entre eux	63
A. — Teneurs relatives en azote, phosphore et potassium.....	63
B. — Teneurs relatives en potassium, calcium et magnésium.....	64

TROISIÈME PARTIE

RENDEMENTS ET ANALYSES FOLIAIRES

I. — Etude des corrélations totales et partielles entre rendements et teneurs en N, P, K, Ca, Mg	67
A. — Etude des coefficients de corrélations totales.....	67
B. — Etude des coefficients de corrélation partielle.....	70
C. — Etude des corrélations totales entre les rendements et certains rapports existant entre les cinq éléments étudiés.....	71
D. — Etude des corrélations entre rendements et valeurs relatives de K, Ca, Mg.....	71
II. — Etablissement des niveaux critiques	72
A. — Etude du niveau critique de l'azote.....	72
B. — Etude du niveau critique du phosphore.....	73
C. — Etude du niveau critique du potassium.....	74
D. — Etude du niveau critique du calcium.....	74
E. — Etude du niveau critique du magnésium.....	75
F. — Etude des pourcentages de K, Ca et Mg dans la somme $K+Ca+Mg$	75
G. — Etude des rapports $N/(K+Ca+Mg)$, N/Ca et N/Mg	76
III. — Etablissement des premières bases d'un diagnostic foliaire	77
A. — Azote.....	77
B. — Phosphore.....	77
C. — Potassium.....	77
D. — Calcium.....	77
E. — Magnésium.....	77
F. — $N/(K+Ca+Mg)$	77
G. — Pourcentages de K, Ca et Mg dans la somme $K + Ca + Mg$..	77
IV. — Comparaison avec les données de la bibliographie	78
CONCLUSION	80
Bibliographie.....	81



Cl. COSTE

Plantation de *C. arabica*, sous ombrage d'*Albizzia*, au Cameroun

AVANT-PROPOS

L'Auteur de cette importante étude, Mme Bénac, rend compte très objectivement des résultats qu'elle a obtenus à la suite d'un essai de fertilisation sur *C. arabica* au Cameroun (Pays Bamoun), conduit pendant sept années consécutives (1957 - 1963). Ceux-ci font très nettement ressortir l'influence dominante de l'azote sur les rendements ; ils confirment en cela les constatations déjà faites dans d'autres pays, notamment au Brésil, à Porto Rico, à Hawaï, etc...

Il y est démontré la possibilité de guider la fertilisation du caféier par diagnostic foliaire et l'étude se termine par des données numériques dès maintenant utilisables pour son application.

Nous sommes assurés que les planteurs de café, en général, et plus particulièrement ceux du Cameroun, liront cette étude avec un très grand intérêt.

Première partie

Réponse des caféiers aux traitements fertilisants

INTRODUCTION

LA CULTURE DU CAFÉIER ARABICA AU CAMEROUN

Le caféier Arabica se cultive au Cameroun sur les plateaux des pays Bamoun et Bamiléké, où la pluviométrie annuelle varie de 1.500 à 2.000 mm suivant les stations.

En pays Bamiléké, les plantations s'étendent du Cameroun occidental au Noun ; de l'autre côté du Noun, en pays Bamoun, elles se concentrent autour de Foumbot (1.050 à 1.100 m d'altitude) sur des terres noires pulvérulentes, issues de coulées volcaniques récentes, puis elles s'égrènent vers Foumban où les terres noires font place aux terres rouges issues de basalte ancien (voir carte).

La culture du caféier Arabica a commencé dans ce pays sous l'impulsion des Services de l'Agriculture et en particulier de M. COSTE, qui est maintenant Directeur Général de l'Institut Français du Café et du Cacao (I. F. C. C.). Les premières plantations, établies dès 1930, furent l'œuvre d'Européens. C'est beaucoup plus tard que les

gens du pays se mirent à cette culture, devenue aujourd'hui très importante.

Voici comment se répartissaient en 1961 les superficies plantées (13)* :

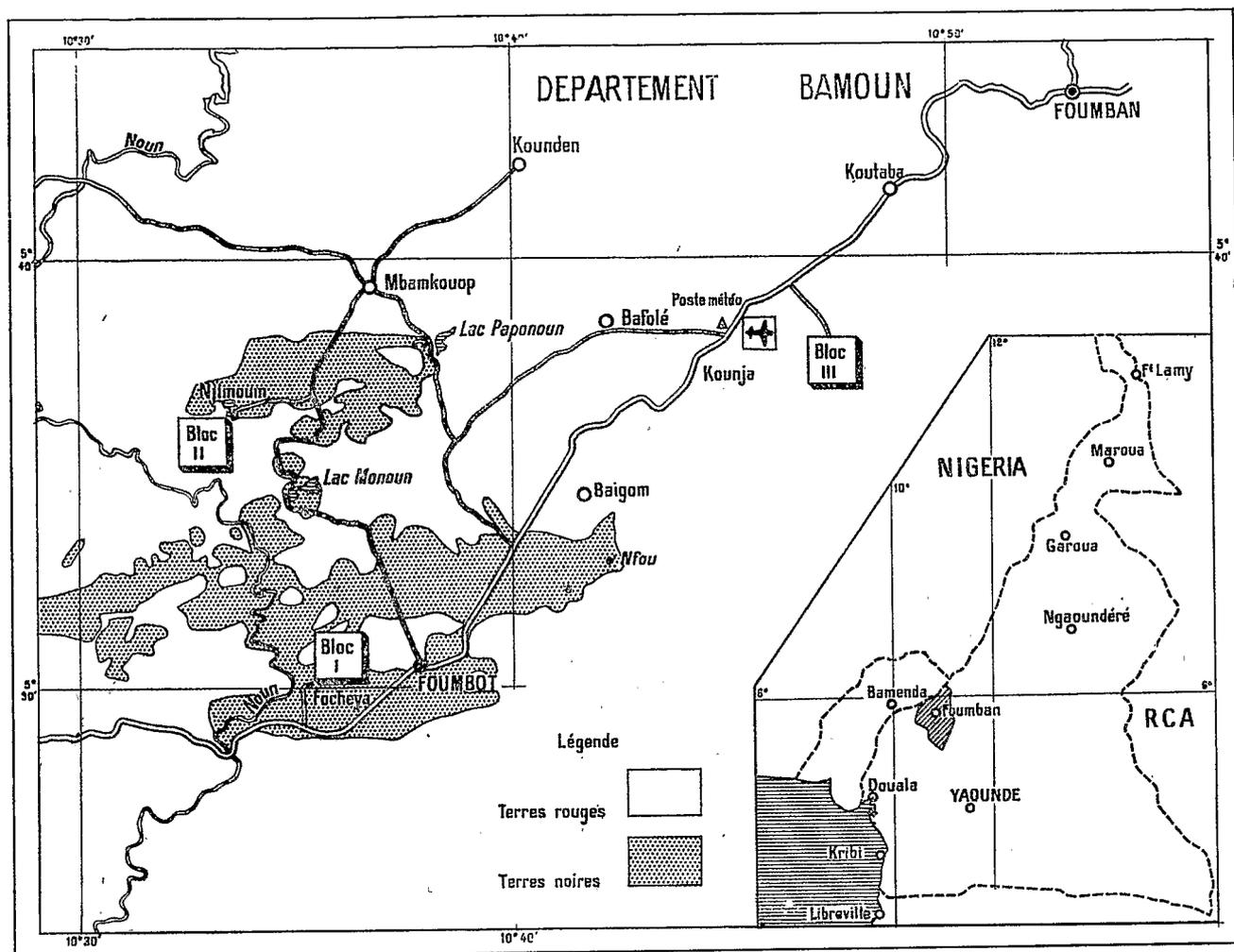
Régions	Ha	Nombre total de caféiers	Nombre de caféiers en production
Pays Bamiléké			
Plantations africaines ...	16.750	24.931.000	15.000.000
Plantations européennes ..	416	436.700	400.000
Pays Bamoun			
Plantations africaines ...	5.540	6.152.700	3.652.000
Plantations européennes ..	3.000	3.377.400	2.802.000
	25.706	34.897.800	21.854.000

* Les indications entre parenthèses se rapportent à la bibliographie en fin d'étude.



Plantation de *C. arabica*
au Cameroun

Cl. Hochdoerfer



Carte du Cameroun et du département Bamoun.
 Echelles : Cameroun, 1/15.000.000 ; département Bamoun : 1/300.000

Ces chiffres représentent sans doute une bonne approximation ; cependant, seules des enquêtes agro-économiques que les circonstances n'ont pas encore permis de réaliser pourraient fournir des renseignements plus précis.

Les quantités exportées, exprimées en tonnes, et les valeurs correspondantes, en millions de francs CFA, depuis 1950 (1 2), sont indiquées dans le tableau ci-contre.

Ce tableau suscite immédiatement deux remarques :

1° La production, en progression régulière depuis 1950, a quintuplé en onze ans.

Années	Tonnes	Millions de francs CFA
1950.....	1.553	276,8
1951.....	1.606	320,7
1952.....	1.250	265,3
1953.....	1.751	403,1
1954.....	1.262	338,0
1955.....	1.968	475,3
1956.....	2.442	631,7
1957.....	2.326	636,2
1958.....	4.329	1.057,3
1959.....	6.669	1.367,2
1960.....	3.540	835,0
1961.....	7.280	1.456,0
1962.....	5.440	1.089,0

Cette augmentation s'explique par l'extension toujours plus grande des plantations africaines ; les plantations européennes au contraire ont réduit, il y a quelques années, leurs surfaces plantées et paraissent maintenant stabilisées.

Le faible tonnage exporté en 1960 s'explique à la fois par une production moins élevée que l'année précédente, conséquence de troubles en pays Bamiléké et d'une année climatique peu favorable, et par de mauvaises conditions commerciales, qui ont provoqué le stockage d'une partie de la récolte de 1960, mise sur le marché en 1961.

2° Le rendement moyen est faible.

Le quotient du tonnage des quatre dernières années par le nombre de pieds en production donne le chiffre de 260 g de café par pied et par an, soit 338 kg de café marchand à l'hectare seulement.

Or, les fortes productions obtenues au cours des années considérées dans certains carrés de plantations européennes ont montré que les conditions écologiques étaient favorables et qu'on pouvait attendre beaucoup de l'emploi d'engrais minéraux, accompagnés de bonnes pratiques culturales.

C'est pourquoi, en décembre 1956, à la demande du Syndicat des planteurs d'Arabica, les Services de l'Agriculture du Cameroun, conscients de l'importance économique de cette culture, confiaient au laboratoire de physiologie végétale du Centre de recherches agronomiques de Nkolbisson l'étude des besoins en éléments nutritifs de cette plante, afin d'établir une fumure minérale économiquement rentable, capable d'augmenter très sensiblement les rendements.

MÉTHODE D'ÉTUDE ADOPTÉE

Les besoins en éléments minéraux d'une plante dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont la nature de la culture, les réserves minérales du sol, les conditions climatiques et en particulier le régime des pluies de la région considérée.

Aussi, une fumure minérale doit-elle être testée finalement par des essais en champs. Mais les résultats de telles expériences ne sont strictement valables que pour les lieux mêmes où ils ont été recueillis et la réalisation d'un très grand nombre

d'essais couvrant toute une région de culture est très coûteuse, donc pratiquement irréalisable.

Il existe une méthode permettant de généraliser ces résultats, c'est la méthode du **diagnostic foliaire**. Elle a été mise au point en 1926 par LAGATU et MAUME (II 9-10-11-12), professeurs à l'école nationale supérieure d'agriculture de Montpellier. Elle consiste à analyser une partie d'un végétal, le plus souvent une feuille, convenablement choisie, et à établir une relation entre la teneur en éléments minéraux de cette feuille et le rendement de la plante. L'étude de cette relation permet de déterminer les « niveaux critiques », c'est-à-dire les teneurs de la feuille en N, P, K, etc... pour lesquelles, une fois atteintes, un apport d'éléments fertilisants ne provoquera plus une augmentation appréciable de rendement.

La connaissance des niveaux critiques dans les conditions pédologiques et climatiques de la culture étudiée constitue la base du diagnostic foliaire. L'analyse de feuilles prélevées dans des lieux différents des points d'essais permettra par comparaison avec les valeurs trouvées pour les niveaux critiques d'indiquer la fumure minérale exactement adaptée aux besoins de la plante.

Cette méthode donne également la possibilité de contrôler l'état nutritif d'une plante pérenne tout au long de sa vie et de la corriger en conséquence. Elle diminue beaucoup l'empirisme qui préside au choix des fumures minérales.

Elle s'est montrée très féconde et depuis les travaux de base de LAGATU et MAUME en 1926 (II 9-10-11-12), de W. THOMAS (II 23) aux Etats-Unis en 1937 et de LUNDEGARDH (II 16) en Suède en 1941, elle est employée dans le monde entier, tant en pays tempérés qu'en pays tropicaux.

Citons par exemple les travaux de H. D. CHAPMAN sur les agrumes (III 1), de G. W. CHAPMAN sur l'hévéa et le palmier à huile, de CLEMENTS sur la canne à sucre, de LAGATU, MAUME et DULAC sur la vigne (III 5-6-7-8-9-10-11), le blé (III 12-13) et la pomme de terre, de LYND sur le maïs, de PREVOT et coll. (III 3-4-14 à 25) sur l'arachide, le cocotier, le palmier à huile, de SEAY sur la luzerne, etc...

Depuis une dizaine d'années environ, cette méthode a été employée sur le caféier Robusta par BUSH et FORESTIER (V 2-11-12) en République Centrafricaine, LAUDELOUT (V 17) au Congo, LOUÉ (V 21 à 24-26) en Côte d'Ivoire ; sur caféier Arabica par COOIL (V 6) aux Hawaï, ESPINOZA (V 9-10) au Salvador, JAMMAR (V 15) au Ruanda-Urundi, LOTT (V 18-19-20), MALAVOLTA (V 29) au Brésil, CHAVERRI (V 5), MULLER (V 33) au Costa-Rica, PARRA (V 35), URHAN (V 40) en Colombie, ROBINSON (V 36 à 39) au Kenya.

I. — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

TABLEAU 1
Doses annuelles d'engrais

A. — TRAITEMENTS EFFECTUÉS

L'essai est conduit suivant la méthode des blocs de FISHER. Il comprend neuf traitements et trois répétitions, soit trois blocs de neuf parcelles chacun.

Le premier bloc se trouve à Focheya dans la plantation TROLLIER près de Foubot, le deuxième dans la plantation SAN (Société agricole de Ndjimoun) près de Kounden, le troisième dans la plantation HOCHDOERFFER à Koundja, près de Koutaba (voir carte).

Chaque parcelle contient un nombre de caféiers utiles de $5 \times 6 = 30$ arbres.

Les traitements sont les suivants :

- T témoin, aucun engrais,
- N azote seul,
- P phosphore seul,
- K potassium seul,
- NP azote et phosphore,
- NK azote et potassium,
- PK phosphore et potassium,
- NPK azote, phosphore et potassium,
- NPKCaMg azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium.

Ils sont appliqués à tous les arbres de la parcelle, arbres utiles et bordures, c'est-à-dire à $7 \times 8 = 56$ pieds.

L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque qui titre 20,6 % d'azote élémentaire; le phosphore sous forme de phosphate bicalcique (17,5 % de phosphore, ou 40 % d'acide phosphorique); le potassium sous forme de chlorure de potasse (50 % de potassium, 60 % de potasse); le calcium et le magnésium sous forme de dolomie, mélange de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium contenant environ 32 % de chaux et 20 % de magnésie, c'est-à-dire 22,5 % de calcium et 12,5 % de magnésium.

Le tableau 1 indique pour chaque traitement les quantités d'engrais, exprimées en g, employées par épandage et par arbre et les teneurs correspondantes en N, P, K, Ca, Mg.

Les traitements ont commencé en mars 1957.

B. — MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉ

Tous les arbres choisis sont des arbres adultes en production appartenant à une variété de caféier

Dates d'épandage	Nature du traitement	Doses (en g/arbre)			
		Sulfate d'ammoniaque	Phosphate bicalcique	Chlorure de potasse	Dolomie
Début mars	N	150	—	—	—
	P	—	300	—	—
	K	—	—	—	—
	NP	100	200	—	—
	NK	100	—	—	—
	PK	—	200	—	—
	NPK	75	100	—	—
	NPKCaMg.	60	100	—	100
	Début avril	N	100	—	—
P		—	—	—	—
K		—	—	250	—
NP		50	—	—	—
NK		50	—	125	—
PK		—	—	125	—
NPK		50	—	100	—
NPKCaMg.		40	—	60	—
Début octobre		N	150	—	—
	P	—	—	—	—
	K	—	—	150	—
	NP	100	—	—	—
	NK	100	—	75	—
	PK	—	—	75	—
	NPK	75	—	50	—
	NPKCaMg.	60	—	40	—
	Début novembre	N	100	—	—
P		—	—	—	—
K		—	—	—	—
NP		50	—	—	—
NK		50	—	—	—
PK		—	—	—	—
NPK		50	—	—	—
NPKCaMg.		40	—	—	100
Doses annuelles		N	500	—	—
	P	—	300	—	—
	K	—	—	400	—
	NP	300	200	—	—
	NK	300	—	200	—
	PK	—	200	200	—
	NPK	250	100	150	—
	NPKCaMg.	200	100	100	200

Nature du traitement	Doses d'engrais exprimées en grammes d'éléments				
	N	P	K	Ca	Mg
N	103	—	—	—	—
P	—	52	—	—	—
K	—	—	200	—	—
NP	62	35	—	—	—
NK	62	—	100	—	—
PK	—	35	100	—	—
NPK	51	17	75	—	—
NPKCaMg	41	17	50	45	25

Arabica appelée localement « Jamaïca blue mountains ».

Ils sont plantés à $2,75 \times 2,75$, ou 2×3 , ou 3×3 m, faiblement ombragés de *Dequelia*, *Leucaena* ou *Jacaranda*. Conduits à une ou deux caules, ils subissent de temps en temps une légère taille de rajeunissement.

Ces arbres avaient tous reçu régulièrement avant le début de l'essai des engrais azotés, phosphatés et potassiques, en quantités et proportions variables. Il était impossible de trouver des caféiers en production n'ayant jamais reçu de fumure minérale dans des lieux convenant à l'établissement d'une expérience. Du moins tous les arbres d'un même bloc ont-ils eu les mêmes fumures.

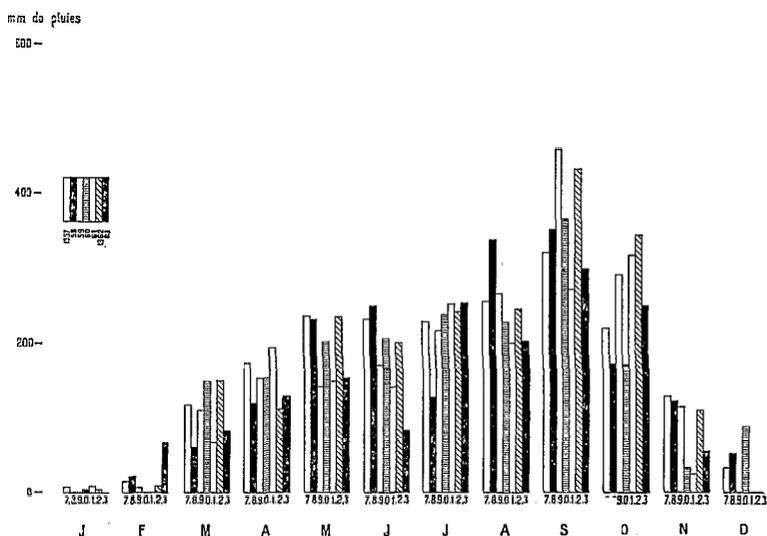
La poussée végétative se produit en mars, au début des pluies. Les floraisons ont lieu fin mars début avril. Il y en a souvent deux ou trois d'inégale importance. La récolte peut commencer fin août au plus tôt, début octobre au plus tard, généralement à la mi-septembre et s'achève début janvier. L'arbre entre alors en repos végétatif jusqu'au début des pluies.

C. — CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Les relevés de la station de Koundja (I 1), située sur le plateau de Koutaba à 1.100 m d'altitude, montrent que de 1955 à 1960, pendant six ans :

— la moyenne annuelle des pluies a été de 2.072 mm réparties en 179 jours. Le maximum a été de 2.221,4 mm en 1955, en 183 jours, le minimum 1.693,8 mm en 173 jours, en 1958 ;

Graphique I. — Pluviométrie annuelle



— la grande saison sèche commence vers le 11 novembre. Les dates extrêmes ont été le 2 novembre et le 4 décembre. Les pluies commencent vers le 18 mars (dates extrêmes 17 janvier et 14 avril) et se poursuivent jusqu'à la grande saison sèche. Le mois le plus arrosé est généralement le mois de septembre. La hauteur des précipitations diminue parfois légèrement en juillet et en août, sans qu'on puisse vraiment parler d'une saison sèche (voir graphique I, pluviométrie annuelle) ;

— les vents sont faibles. Parfois des vents E-NE accompagnent les tornades. L'harmattan apparaît souvent fin décembre et dure jusqu'à la mi-février, abaissant beaucoup le degré hygrométrique au milieu de la journée ;

— les variations de température diurne et nocturne sont peu marquées en saison des pluies, plus marquées en saison sèche. La moyenne annuelle est de $16^{\circ}9$ à 6 h, de $25^{\circ}3$ à 12 h. Le maximum a été de $30^{\circ}4$ le 9 janvier 1955 à 12 h et le minimum de $13^{\circ}8$ à 6 h le 12 janvier 1955 ;

— l'humidité relative moyenne annuelle est de 93 % à 6 h, de 58 % à 12 h avec un minimum de 16 % à 12 h en janvier 1955. Les mois de fortes pluies, elle atteint très souvent 100 %.

Ces caractéristiques sont celles d'un climat chaud et humide, bien arrosé, avec une saison sèche très marquée qui dure parfois quatre mois.

La présence de pluviomètres dans un certain nombre de plantations montre que le bloc III et le bloc II sont plus arrosés que le bloc I (voir carte). En six ans, de 1957 à 1962, le premier a reçu 20 % d'eau de plus que le troisième, le deuxième 10 %.

D. — CONDITIONS PÉDOLOGIQUES

Les analyses pédologiques rapportées dans le tableau 2 ont été faites par le laboratoire de chimie des sols de l'IRCAM. Des échantillons de terre ont été prélevés dans chaque parcelle de l'essai en février 1957 avant l'application des traitements prévus.

Le pH de ces sols est assez élevé, légèrement supérieur à 6,5 pour le bloc I, autour de 6 pour le bloc II, un peu inférieur à 6 pour le bloc III.

Le bloc I est établi sur sol très perméable, peu riche en argile (3 à 4 %) et en matière organique (autour de 7 %). C'est une terre de pouzzolane, considérée comme une véritable « passoire ». Le bloc II est plus humifère, plus riche en matière organique (autour de 11 %) et en argile (autour de 7 %) que le bloc I. C'est une terre noire « plus lourde » qui retient mieux l'eau. Le bloc III est le plus riche en argile (autour de 13 %), mais il contient peu de matière organique (autour de 7 %).

La richesse minérale des trois blocs est aussi

TABLEAU 2
Analyses pédologiques (février 1957)

Echantillons	Analyse mécanique					Eléments échangeables (en milliéquivalents %)							Eléments totaux					Analyse totale (en milliéquivalents %)						
	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Gravier	Ca	Mg	K	Na	Conduc-tivité	T (1)	S/T (2)	P ₂ O ₅ assimil-able	Azote total %	C %	Matière organique	C/N	Humus %	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅	pH
Plantation TROLLIET (Bloc I)																								
T	3,75	22,50	23,50	51,00	12,00	9,79	1,87	0,64	Traces	19,50	0,40	0,30	107,00	3,32	4,54	7,80	11,60	1,35	34,80	24,80	3,15	12,40	1,71	6,55
N	3,25	19,50	21,50	56,50	13,70	8,37	1,13	0,60	Tr.	23,30	7,40	0,27	108,00	3,41	3,80	6,53	12,50	1,03	34,40	17,70	3,50	14,30	1,87	6,65
P	3,25	22,75	21,50	54,00	13,70	9,80	2,44	0,66	Tr.	25,00	8,70	0,33	112,30	3,32	4,01	6,89	13,03	1,26	38,60	09,00	3,45	13,50	1,26	6,60
K	3,25	21,70	23,00	52,50	13,10	10,30	1,35	0,74	Tr.	34,40	1,00	0,30	151,20	3,18	4,05	6,96	13,70	1,37	34,80	00,00	3,41	12,60	1,18	6,60
NP	4,00	23,25	24,00	49,00	12,20	13,60	3,21	1,00	0,13	22,60	8,00	0,37	135,50	4,82	4,85	8,34	12,15	2,00	42,50	13,00	3,31	13,20	1,15	6,60
NK	3,25	21,75	21,50	52,50	13,50	9,20	2,24	0,63	Tr.	26,00	6,00	0,33	120,80	7,56	13,39	0,91	53,10	0,91	53,10	06,00	3,98	14,80	1,49	6,55
PK	3,00	20,75	21,00	55,50	16,00	9,60	1,92	0,69	Tr.	24,60	9,40	0,31	106,00	3,46	4,32	7,43	13,21	1,00	46,30	23,00	4,11	15,60	1,05	6,70
NPK	2,25	17,70	21,00	58,00	19,40	7,64	1,84	0,55	Tr.	13,70	0,70	0,33	124,80	2,43	3,02	5,19	12,90	0,69	32,30	14,30	3,46	13,20	1,48	6,70
NPKCaMg	3,75	21,50	22,50	52,50	24,50				Tr.	27,00	6,30	0,41	169,60	3,51	4,17	7,17	12,55	1,31	30,10	99,00	4,54	15,80	1,95	6,80
Plantation S. A. N. (Bloc II)																								
T	7,25	21,75	25,00	46,00	9,40	15,50	2,90	1,34	0,99	70,90	9,10	0,30	—	6,80	6,95	11,95	10,20	5,10	40,30	10,70	4,88	16,70	1,60	5,95
N	8,00	21,00	25,00	46,50	8,00	16,10	2,73	1,35	0,88	59,50	3,10	0,29	49,70	7,26	6,74	11,59	0,92	5,18	34,00	99,90	4,90	15,30	1,31	6,05
P	8,50	22,50	26,00	40,00	11,20	16,60	3,55	1,60	0,80	29,30	8,10	0,33	68,40	6,81	6,68	11,48	0,98	5,80	32,70	17,10	5,10	15,70	1,47	6,10
K	7,00	22,50	24,00	47,50	9,60	15,40	2,60	1,31	Traces	19,00	9,70	0,39	30,20	6,51	6,72	11,55	10,30	4,11	34,80	09,70	5,61	16,80	1,52	6,00
NP	8,25	21,00	27,50	44,50	11,20	14,80	2,65	1,37	Tr.	25,20	1,10	0,37	—	6,46	6,25	10,75	0,96	4,11	25,90	25,70	6,00	16,00	1,18	6,15
NK	6,00	20,00	24,00	51,00	8,50	14,90	3,10	1,32	0,85	44,70	4,20	0,31	36,40	6,54	6,90	11,86	10,50	4,52	33,50	12,30	5,30	17,40	1,26	5,90
PK	6,75	23,00	30,00	41,00	9,70	15,40	3,24	1,25	0,88	37,60	8,40	0,30	58,70	7,50	7,21	12,30	0,96	5,70	47,60	15,00	4,90	16,00	1,65	6,00
NPK	5,75	24,75	26,50	43,00	8,20	19,20	2,86	3,25	Tr.	38,60	1,10	0,58	36,10	7,53	7,58	13,03	10,00	6,91	23,80	23,00	5,20	15,00	1,31	6,00
NPKCaMg	6,25	20,25	25,50	49,00	11,20	15,10	2,71	1,35	Tr.	30,70	9,20	0,39	41,00	6,19	6,24	10,70	10,00	3,95	56,10	64,20	6,21	26,60	1,91	6,05
Plantation HOCHDOERFFER (Bloc III)																								
T	4,25	22,00	29,50	33,50	—	2,00	0,46	0,45	Traces	11,00	7,10	0,08	—	0,77	3,95	6,79	5,10	2,00	4,60	2,65	0,61	3,40	2,95	5,60
N	5,00	22,00	30,50	32,00	—	1,86	0,85	0,46	Tr.	12,20	14,60	0,09	—	0,29	4,11	7,10	14,20	2,40	6,80	3,65	0,71	4,04	3,00	5,90
P	4,24	19,00	31,00	37,00	—	2,73	1,10	0,55	Tr.	16,40	18,00	0,11	—	3,23	4,50	7,74	13,20	2,00	6,30	3,87	0,81	2,60	2,97	5,75
K	4,50	22,50	30,50	34,00	0,10	2,50	1,00	0,56	Tr.	20,60	12,80	0,12	—	2,61	4,65	6,96	15,50	2,91	6,30	7,31	0,81	3,72	3,26	5,60
NP	1,75	21,25	30,50	37,00	—	2,00	0,96	0,42	Tr.	10,40	18,80	0,08	—	2,85	3,97	6,82	13,90	1,72	5,50	4,28	0,71	3,61	2,95	5,75
NK	2,50	19,25	31,00	37,50	—	2,48	0,85	0,46	Tr.	16,60	16,50	0,10	—	3,20	4,03	6,93	12,50	2,21	6,80	3,70	0,61	3,58	3,10	5,70
PK	4,25	21,50	31,50	33,00	0,05	1,90	0,70	0,85	Tr.	18,50	14,10	0,08	—	1,00	4,40	7,56	4,40	2,50	3,40	3,70	0,81	3,72	2,90	5,80
NPK	3,70	20,75	30,50	34,50	—	2,32	0,50	0,52	Tr.	11,00	15,60	0,10	—	3,10	3,78	6,50	12,10	1,85	2,50	2,94	0,61	3,71	2,35	6,05
NPKCaMg	3,50	20,00	31,50	34,70	—	1,76	1,00	4,20	Tr.	10,60	13,20	0,10	—	0,47	3,95	6,75	8,30	1,28	2,90	3,03	0,51	3,61	2,97	6,10

(1) Capacité totale d'échange
(2) Rapport de saturation

très variable de l'un à l'autre. Le bloc II est le plus riche en bases totales et échangeables, le bloc III le plus pauvre (I 5).

Il faut remarquer pourtant que pendant les sept années d'observation (1957 à 1963) les rendements les plus élevés ont été obtenus précisément dans le bloc III, que l'analyse pédologique montre comme le plus pauvre. Il semble donc qu'elle ne soit pas à elle seule un bon test de la fertilité d'un sol.

* * *

De nombreux essais d'engrais ont été faits sur caféiers. Les résultats obtenus seront exposés dans une partie spéciale consacrée à la bibliographie de cette question. Ces essais, faits d'après THOMAS (IV 64) dans cinquante-deux pays, sont très différents les uns des autres par la nature des traitements mis en comparaison, par le nombre des répétitions et celui des arbres constituant une parcelle.

Quelques auteurs se sont particulièrement attachés à étudier l'influence de ces facteurs sur la précision des résultats. Leurs conclusions divergent, probablement parce que leurs travaux sont faits dans des conditions pédologiques et climatiques différentes.

GILBERT (IV 28), au Tanganyika, estime qu'une parcelle doit contenir de 16 à 20 arbres quand l'espacement est de $2,75 \times 2,75$ m et il recommande huit répétitions.

PEREIRA et JONES (IV 45-46) au Kenya font des essais factoriels à trois variables et trois niveaux de variation pour chacune, les 27 traitements étant répétés quatre fois. Avec un tel schéma, des différences entre les rendements de l'ordre de 6 %, c'est-

à-dire extrêmement petites, sont significatives à $P = 0,05$. Ces auteurs n'indiquent pas le nombre d'arbres utilisés par parcelles.

ALEGRIA (IV 10) conclut de ses travaux au Salvador que le nombre de traitements ne doit pas dépasser douze et que celui des répétitions ne doit pas être inférieur à quatre. Il recommande de faire des parcelles petites. Il a calculé d'autre part que seize ans de récolte n'ont pas fourni plus de renseignements que douze et que les chiffres des six premières années ont permis d'arriver aux mêmes conclusions.

Notre essai comprenait à l'origine cinq blocs. Travaillant en plantations privées et non en station expérimentale, nous avons dû demander aux planteurs d'assurer la surveillance de leur personnel quand il effectue des épandages d'engrais au voisinage des parcelles. Or, en août 1958, les manœuvres d'une plantation livrés à eux-mêmes ont mis de l'urée et du chlorure de potasse dans toutes les parcelles, pourtant signalées par des pancartes bien visibles. Nous avons dû abandonner le bloc. Le même accident se produisit en avril 1959 dans une deuxième plantation, si bien qu'après deux ans de travail, l'essai était ramené à trois répétitions.

Il en résultait évidemment une diminution importante de la précision de l'essai. Seules des différences d'effets bien marquées entre les traitements pourraient être mises en évidence. Mais comme d'une part aucun travail n'avait été fait sur le caféier Arabica au Cameroun et que d'autre part ces essais constituaient la phase préparatoire à l'application du diagnostic foliaire, nous avons jugé opportun de poursuivre cette étude, même si nous ne devions en obtenir que des résultats peu nuancés.

II. — RÉSULTATS

Nous ne considérons pour l'ensemble des sept années étudiées que les productions des trois blocs restants.

Le tableau 3 donne le poids de cerises fraîches exprimé en kg, produit par arbre dans chaque parcelle, de 1957 à 1963.

A. — ÉTUDE DES RENDEMENTS ANNÉE PAR ANNÉE

Les premiers traitements fertilisants ont été appliqués en mars 1957. Ils n'ont guère pu influencer les rendements de la même année qui se classent ainsi par ordre décroissant :

K, PK, N, P, NP, NPKCaMg, NK, NPK, T.

Il n'y a entre eux aucune différence significative.

Dès 1958, les parcelles recevant de l'azote produisent plus que les autres. Cette tendance se confirme chaque année et, en 1963, les parcelles se classent ainsi par rendements décroissants :

N, NPK, NPKCaMg, NK, NP, K, PK, P, T.

Le graphique II (page 14) montre nettement que les parcelles qui se trouvaient par hasard les plus productives en 1957 le sont relativement beaucoup moins après sept ans de fertilisation sans azote. PK et K en sont les meilleurs exemples. Par contre, les parcelles recevant une fumure azotée ont augmenté leur production.

TABLEAU 3

Production des parcelles de 1957 à 1963
(exprimée en kg de cerises fraîches par caféier)

Années Blocs	Traitements									Totaux par blocs et par années	
	T	N	P	K	NP	NK	PK	NPK	NPK-CaMg		
1957	I	0,470	0,650	0,710	1,140	1,388	0,567	0,408	0,561	1,476	7,370
	II	3,734	6,310	6,403	8,824	6,310	4,593	8,418	5,621	6,638	56,851
	III	3,325	4,849	4,333	5,978	3,643	5,264	4,932	2,733	2,181	37,238
	Totaux par traitement .	7,529	11,809	11,446	15,942	11,341	10,424	13,758	8,915	10,295	101,459
1958	I	0,194	0,896	0,400	0,235	0,730	0,540	0,210	0,253	0,711	4,169
	II	0,026	0,098	0,009	0,000	0,057	0,021	0,002	0,089	0,015	0,317
	III	0,324	0,681	0,130	0,696	0,271	0,459	0,642	0,666	0,936	4,805
	Totaux par traitement .	0,544	1,675	0,539	0,931	1,058	1,020	0,854	1,008	1,662	9,291
1959	I	0,147	1,760	0,227	0,180	0,690	0,217	0,187	0,507	1,148	5,063
	II	2,661	3,993	3,482	2,763	4,520	4,339	2,140	4,265	4,956	33,119
	III	2,524	2,369	1,890	2,116	2,575	2,346	2,571	3,671	1,450	21,512
	Totaux par traitement .	5,332	8,122	5,599	5,059	7,785	6,902	4,898	8,443	7,554	59,694
1960	I	0,593	8,200	1,690	3,553	6,317	5,353	0,755	4,072	6,630	37,143
	II	0,268	0,164	0,327	0,068	0,087	0,663	0,365	0,833	0,108	2,883
	III	1,153	4,567	2,478	5,183	5,419	5,171	2,147	3,797	3,950	33,864
	Totaux par traitement .	1,994	12,931	4,495	8,804	11,823	11,186	3,267	8,702	10,688	73,890
1961	I	0,083	1,182	0,200	0,214	0,875	0,486	0,229	0,921	1,549	5,739
	II	1,900	3,043	3,130	2,078	3,703	4,931	2,152	4,488	5,550	30,975
	III	0,333	1,657	0,438	0,357	0,657	0,471	0,348	0,371	0,757	5,389
	Totaux par traitement .	2,316	5,882	3,768	2,649	5,235	5,888	2,729	5,780	7,856	42,103
1962	I	1,600	9,845	1,433	3,839	7,052	5,083	1,518	4,714	5,600	40,684
	II	1,511	1,904	1,619	0,223	1,114	0,734	1,539	1,608	1,421	11,673
	III	4,208	7,300	4,323	3,396	4,671	8,114	3,794	5,847	3,944	45,597
	Totaux par traitement .	7,319	19,049	7,375	7,458	12,837	13,931	6,851	12,169	10,965	97,954
1963	I	2,845	4,770	2,360	2,659	2,807	5,267	2,353	6,440	5,067	34,568
	II	3,573	5,946	2,400	3,771	5,500	6,069	3,435	5,604	6,567	42,865
	III	2,408	9,060	4,508	3,910	7,000	5,166	3,635	6,803	5,455	47,945
	Totaux par traitement .	8,826	19,776	9,268	10,340	15,307	16,502	9,423	18,847	17,089	125,378

Il faut noter que jusqu'en 1957 toutes ces parcelles recevaient chaque année une fumure complète composée de sulfate d'ammoniaque et d'engrais ternaires riches en potasse : 10-10-20 ou 8-8-28. Par conséquent, les augmentations de rendement que nous constatons au cours des essais sont dues à une fumure minérale mieux adaptée aux besoins de la plante.

Malgré de grands écarts en valeur absolue entre les chiffres de production, surtout de 1960 à 1963 (voir tableau 3), l'analyse statistique des résultats de chaque année prise isolément montre qu'il n'y a entre les rendements aucune différence significative imputable aux traitements. Toutefois, ces

différences se rapprochent chaque année du seuil de signification (voir tableau 4, page suivante).

Les causes en sont, d'une part, la perte de deux répétitions aux cours des essais, d'autre part, la très grande hétérogénéité du milieu. Le coefficient de variation de l'expérience est en effet voisin de 50 %.

C'est seulement en 1963 (septième année de traitements) que des différences (significatives à $P = 0,05$) se manifestent entre les traitements :

— tous les traitements azotés sont significativement supérieurs au témoin à $P = 0,05$;

— aucun traitement sans azote n'est significativement différent du témoin à $P = 0,05$;

TABLEAU 4

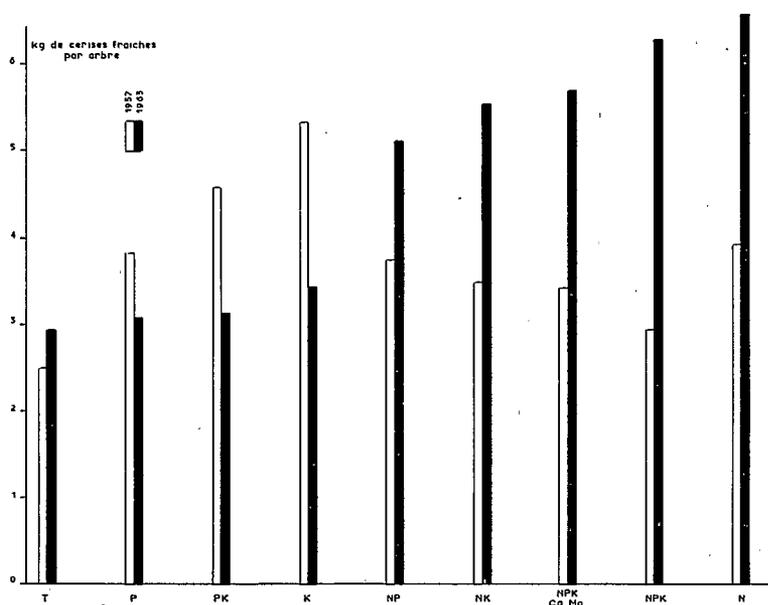
Coefficients de signification de l'expérience :
Rapport des variances

Années	Rapport entre la variance des traitements et la variance résiduelle F ₁	Rapport entre la variance des blocs et la variance résiduelle F ₂
1957	1,76	58,60
1958	1,54	17,60
1959	1,12	27,70
1960	2,38	17,70
1961	2,43	48,30
1962	2,07	13,80
1963	2,85	2,83
1960-61	5,11	1,14
1961-62	3,59	0,67
1960-61-62	3,31	6,43
1960-61-62-63	7,57	7,08

Seuils de signification des rapports de variance :

$$\begin{aligned}
 &= 6,19 \text{ à } P = 0,001 \\
 F_1 &= 2,59 \text{ à } P = 0,05 \\
 &= 3,12 \text{ à } P = 0,025 \\
 &= 3,89 \text{ à } P = 0,01 \\
 \\
 F_2 &= 3,63 \text{ à } P = 0,05 \\
 &= 4,69 \text{ à } P = 0,025 \\
 &= 6,23 \text{ à } P = 0,01
 \end{aligned}$$

Graphique II. — Rendements moyens des traitements en 1957 et 1963



— tous les traitements azotés sont significativement supérieurs aux traitements sans azote à $P = 0,05$ (sauf NP qui ne l'est qu'à $P = 0,10$). (voir graphique III bis).

B. — ÉTUDE DES PRODUCTIONS CUMULÉES DE 1960-1961-1962-1963

Un traitement fertilisant a une action progressive et plus ou moins durable. Quand il est répété chaque année de façon identique comme dans cet essai, il est intéressant d'en étudier l'influence non seulement sur les productions annuelles successives, mais encore sur la somme de plusieurs productions annuelles.

L'étude des rendements totaux de 1960 et 1961, de 1961 et 1962, de 1960-1961 et 1962 et de 1960-1961-1962 et 1963 nous permet de tirer les conclusions les plus intéressantes de cet essai, à savoir :

1° Il existe des différences significatives entre les traitements

Les rendements les meilleurs sont donnés par les parcelles recevant une fertilisation azotée.

Le calcul de la plus petite différence significative dont nous donnons pour plus de clarté une reproduction graphique (graphiques III et III bis) montre que :

— pour les productions cumulées de 1960 et 1961

1. — tous les traitements azotés sont significativement supérieurs au traitement témoin à $P = 0,05$;

2. — aucun traitement sans azote n'est significativement différent du témoin à $P = 0,05$.

Ces résultats sont confirmés par la suite.

— pour les productions cumulées de 1961 et 1962

Le calcul des plus petites différences significatives (graphiques III et III bis) montre que :

1. — le traitement N est significativement supérieur à l'ensemble des traitements sans azote à $P = 0,05$. Les traitements azotés ne sont pas significativement différents les uns des autres ;

2. — aucun traitement sans azote n'est significativement différent du témoin à $P = 0,05$;

3. — tous les traitements sans azote sont significativement supérieurs au témoin à $P = 0,10$.

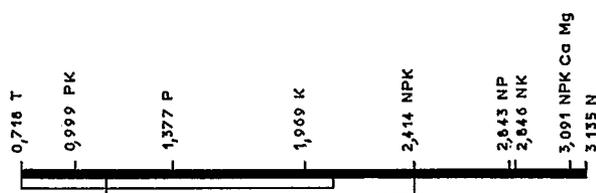
— pour les productions cumulées de 1960-1961 et 1962

Nous trouvons les mêmes résultats que ceux exposés ci-dessus. Le graphique III montre d'ailleurs nettement que les traitements tendent à se séparer en deux groupes bien distincts, sans azote d'une part, avec azote d'autre part, le traitement N se détachant de tous les autres.

Graphique III. — Différences significatives

RÉCOLTE de 1960+1961

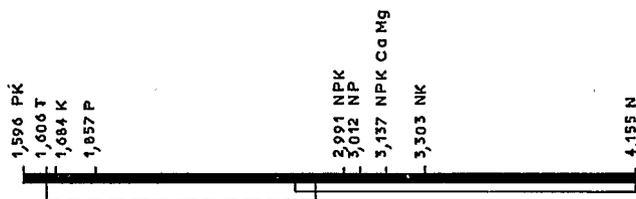
à P = 0,05 la plus petite différence significative = 1,346



RÉCOLTE de 1961+1962

à P = 0,05 la plus petite différence significative = 1,471

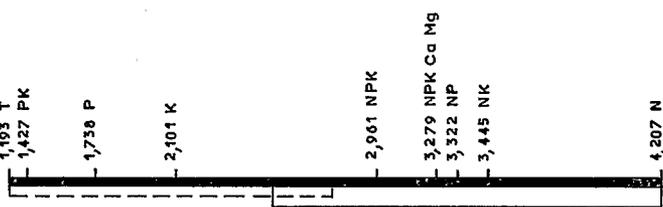
à P = 0,10 la plus petite différence significative = 1,212



RÉCOLTE de 1960+1961+1962

à P = 0,05 la plus petite différence significative = 1,694

à P = 0,10 la plus petite différence significative = 1,395

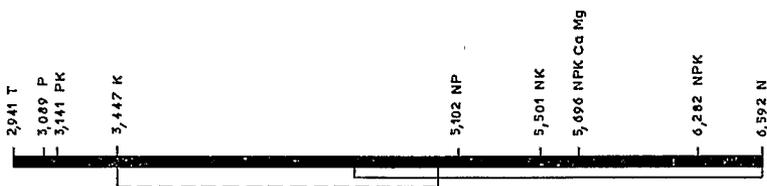


Graphique III bis. — Différences significatives

RÉCOLTE de 1963

à P = 0,05 la plus petite différence significative = 1,891

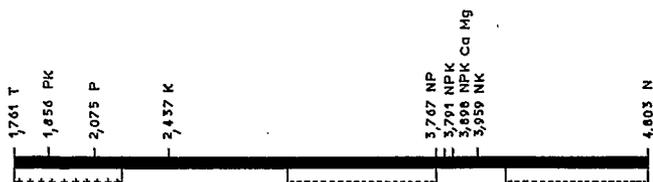
à P = 0,10 la plus petite différence significative = 1,561



RÉCOLTE de 1960+1961+1962+1963

à P = 0,001 la plus petite différence significative = 0,735

à P = 0,01 la plus petite différence significative = 0,534



— pour les productions cumulées de 1960-1961-1962 et 1963

Cette tendance se confirme et le calcul des plus petites différences significatives permet de distinguer quatre groupes de traitements :

1. — T, PK et P sont significativement différents (à P = 0,001) de tous les autres traitements et ne sont pas significativement différents entre eux ;

2. — le traitement K jusqu'ici confondu avec les précédents est significativement différent de T à P = 0,01. Il est cependant très significativement inférieur à tous les traitements azotés (à P = 0,001) ;

3. — les traitements azotés qui apportent 200 à 300 g de sulfate d'ammoniaque par arbre et par an sont très significativement différents (à P = 0,001) d'une part de tous les traitements sans azote, y compris du traitement K, d'autre part du traitement N ;

4. — le traitement N qui apporte 500 g de sulfate d'ammoniaque par pied et par an est très significativement supérieur (à P = 0,001) à tous les autres traitements (voir graphique III bis).

Ainsi, au cours de ces quatre années, les traitements azotés, et tout particulièrement le traitement N, ont eu une influence de plus en plus marquée sur les rendements. Perceptible sur la seule production de 1963, elle l'est de façon beaucoup plus nette sur celle d'un groupe d'années. On peut penser que sous l'influence d'une nutrition azotée suffisante, il y a amélioration progressive de l'état physiologique de l'arbre.

Les graphiques III et III bis montrent bien la séparation de plus en plus nette qui se fait entre les traitements.

Nous constatons ainsi que le caféier, comme beaucoup de plantes pérennes, demande trois ans pour répondre à une fumure minérale : premiers épandages en 1957, premières réponses en 1960. MALAVOLTA (V 29) au Brésil, JAMMAR (V 15) au Kivu ont fait sur caféier Arabica les mêmes constatations. FORESTIER (IV 23), PAQUAY (V 34) travaillant sur Robusta, le premier en République Centrafricaine, le deuxième au Congo, constatent une influence des engrais sur la deuxième récolte après leur épandage. LOUÉ (V 26) en Côte d'Ivoire observe sur Robusta la première réponse vingt-deux mois après l'application.

2° Il existe des différences significatives entre les blocs

Elles apparaissent déjà par l'étude des rendements année par année. L'examen des chiffres du tableau 3 montre en effet que la production annuelle varie beaucoup d'un bloc à l'autre au cours des sept ans d'observation.

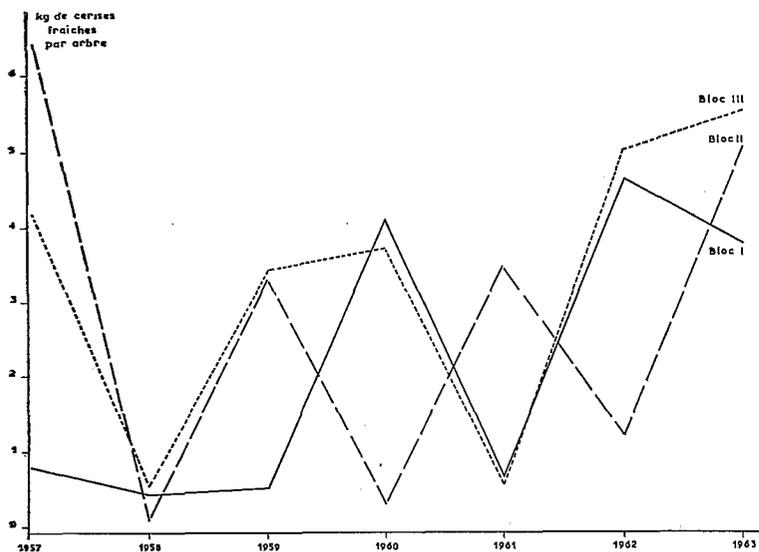
Contrairement à ce que laissaient prévoir les analyses pédologiques rapportées dans le tableau 2, le bloc III, qui est le moins riche en bases totales et en bases échangeables, n'a pas été le moins productif.

Les rendements annuels moyens calculés sur les productions des neuf parcelles de 1957 à 1963, en kg de cerises fraîches par arbre, sont :

- 2,139 pour le bloc I,
- 2,836 pour le bloc II,
- 3,117 pour le bloc III,

ce qui montre qu'il n'est guère possible de juger de la fertilité d'un sol par la seule analyse pédologique.

Graphique IV. — Rendements annuels moyens de chaque bloc



3° Il existe des différences significatives entre les années

L'influence « climatique » sur les productions agricoles est un fait d'observation courante qui se retrouve ici. Le tableau 3 montre d'ailleurs combien les productions totales de l'ensemble des blocs et des parcelles diffèrent d'une année à l'autre.

On observe aussi une alternance de bonnes et mauvaises productions (voir graphique IV) qui a été signalée par de nombreux auteurs, en particulier par CARANDANG (IV 15) aux Philippines, FRAGA et CONAGIN (IV 25), MACHADO (IV 38) au Brésil, etc...

4° Il existe une très forte interaction positive année-bloc

C'est-à-dire que les trois blocs réagissent de façon différente les uns des autres à l'ensemble des influences de chaque année particulière. Le tableau 3 et le graphique IV l'illustrent parfaitement : les trois blocs présentent une succession plus ou moins régulière de fortes et faibles productions, mais on peut constater que, sauf en 1958 où ils ont tous trois très peu produit et en 1963 où ils ont tous eu une bonne production, il y en a toujours un dont le rendement est nettement plus fort ou nettement plus faible que celui des deux autres. Aussi ne peut-on pas parler de « bonne » ou de « mauvaise » année pour l'ensemble des trois blocs : 1960 et 1962 ont été de bonnes années pour les blocs I et III et de mauvaises années pour le bloc II.

Ceci traduit une grande hétérogénéité du milieu expérimental. On comprend que dans ces conditions, avec trois répétitions seulement, seules de grandes différences entre les rendements soient significatives (graphiques III et III bis).

Ainsi, de 1960 à 1963, le témoin a produit par arbre, en moyenne, 1,706 kg de cerises fraîches par an et le meilleur traitement (N) 4,803 kg.

La plus petite différence significative à $P = 0,05$ est pour la moyenne de ces années 0,388 kg, c'est-à-dire que seule une augmentation de rendement égale ou supérieure à 22,7 % de la production du témoin peut être prise en considération.

Signalons toutefois que pour les trois années groupées 1960-1961 et 1962, la plus petite différence significative α , à $P = 0,05$, a une valeur beaucoup plus grande. Elle est de 2,936 kg, soit 75 % de la production du témoin.

Ceci montre l'intérêt qu'il y a à poursuivre pendant plusieurs années une expérience de fertilisation sur plante pérenne.

5° Il n'y a aucune interaction année-traitement

Malgré l'hétérogénéité très forte que nous avons mise en évidence, en particulier malgré l'influence très différente qu'exercent sur la production des trois blocs les conditions particulières à chaque année, les traitements ont toujours la même action sur les rendements :

— augmentation significative de la production de fruits par tous les traitements apportant de l'azote.

N a eu, de 1960 à 1963, un rendement moyen annuel supérieur de 182 % par rapport au témoin ; l'ensemble des autres traitements azotés (NP-NK-NPK-NPKCaMg) de 126 % ;

— aucune augmentation ni diminution significatives produites par les traitements qui n'apportent pas d'azote.

Seul le traitement K fait exception : sa production moyenne annuelle pendant la même période a été de 42,8 % supérieure à celle du témoin.

Qu'une telle influence s'exerce aussi régulièrement et de façon significative dans un milieu où on observe une telle variabilité de la production due aux facteurs environnants montre combien l'action de l'azote est importante sur la production des fruits. **Sans aucun doute, le facteur limitant de la production des caféiers est actuellement la quantité d'azote mise à leur disposition.**

C. — PLUVIOMÉTRIE ET RENDEMENTS

Dans les pays tropicaux, les précipitations sont l'élément climatique le plus important.

SUAREZ DE CASTRO (IV 61) au Salvador a fait une étude approfondie des relations entre rendements et précipitations. Il note qu'il n'y a aucune corrélation entre hauteurs annuelles des pluies et production de la même année ou de l'année suivante, mais qu'il y a une relation positive significative entre les chutes de pluie des trois premiers mois de l'année et la production de cette même année.

Cette relation se vérifie de manière très nette dans notre expérience comme le montre le graphique VI ($r = 0,93$), alors que nous n'observons aucune corrélation entre les rendements et les chutes de pluies annuelles totales. Ce sont en effet les précipitations des trois premiers mois de l'année qui déterminent les floraisons.

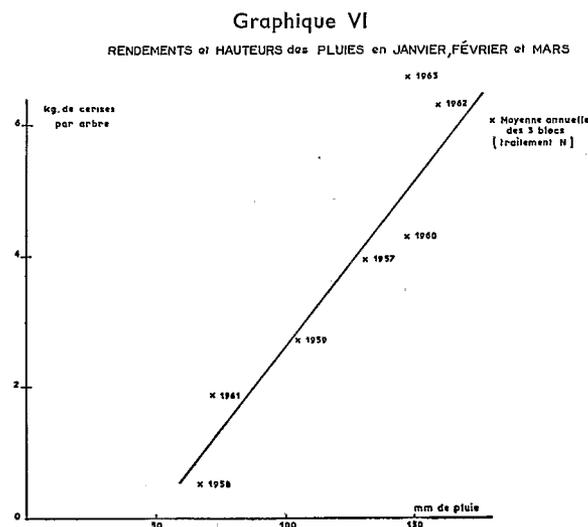
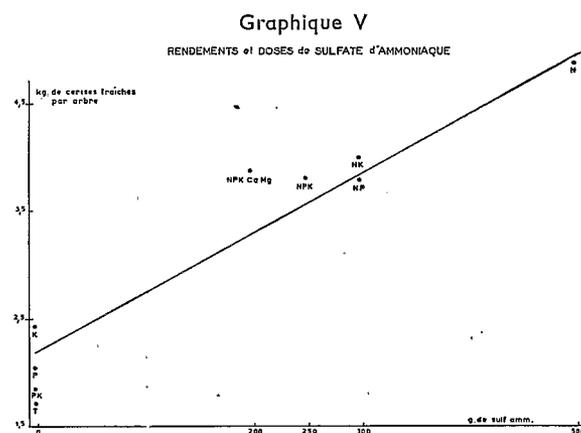
Cette relation, dans la mesure où elle serait confirmée par un nombre plus grand d'observations, peut se montrer d'une grande importance pour la conduite de l'irrigation et pour la prévision des récoltes.

D. — RENDEMENTS ET DOSES DE SULFATE D'AMMONIAQUE

Les graphiques III et III bis et le tableau 3 montrent que parmi les traitements azotés, c'est le traitement N qui donne les meilleures productions et qu'il a de plus en plus tendance à se détacher des autres : il est significativement différent à $P = 0,001$ des autres traitements azotés pour les productions cumulées de 1960-1961-1962 et 1963.

C'est aussi le traitement qui apporte aux arbres la plus forte quantité de sulfate d'ammoniaque : 500 g par pied et par an, soit un peu plus de 100 g d'azote élémentaire (voir tableau 1).

Le graphique V montre nettement que les rendements croissent avec les quantités de sulfate d'ammoniaque appliquées.



E. — RENTABILITÉ DE LA FUMURE

Le traitement N apporte 500 g de sulfate d'ammoniaque par pied et par an. La tonne de sulfate d'ammoniaque livrée à Foubot coûte un peu moins de 23.000 F CFA. On compte 10 % en plus pour les frais d'épandage. A 500 g par pied, la dépense à l'ha, pour une densité moyenne de 1.300 arbres, est de 16.445 F CFA.

Le traitement N a produit en moyenne, de 1960 à 1963, 0,961 kg de café marchand par pied et par an (1.250 kg/ha), le traitement T, 0,341 kg par pied et par an (443 kg/ha). Le surcroît de récolte

est de 807 kg/ha. A 225 F CFA le kg, cela fait 181.575 F CFA par ha.

Ainsi, après une période d'attente de trois ans, le bénéfice net pour les quatre années suivantes est égal à dix fois la dépense engagée.

Nous savons que cette estimation est très schématique. Dans un calcul de rentabilité bien fait interviennent bien d'autres éléments : frais de cueillette, d'usinage ; frais occasionnés par le supplément de récolte, voire investissements nouveaux nécessités par une production plus importante. Ils sont difficiles à évaluer et de plus extrêmement variables d'une plantation à l'autre, totalement différents en exploitation familiale et en exploitation industrielle. Nous avons simplement voulu montrer que le débours est très inférieur au gain.

III. — DISCUSSION

De nombreuses publications mettent l'accent sur l'efficacité de la fumure azotée.

Ainsi, au Brésil, FRANCO, COARACY, LAZZARINI, etc... (IV 26) montrent par un essai factoriel à 3 niveaux de NPK qu'une augmentation moyenne de rendement de 42,7 % pendant cinq années consécutives est due aux seuls traitements azotés à 900 et 1.800 g par an et par cova (la cova est une butte où poussent ensemble plusieurs caféiers, six dans cet essai), soit 540 et 1.080 kg/ha de sulfate d'ammoniaque. Les productions sont exprimées en kg de café coque pour l'ensemble des parcelles ; leur surface n'est pas indiquée de façon précise, ni le nombre de pieds par unité de surface. Aussi le calcul en kg de café marchand à l'ha que nous avons fait pour pouvoir comparer avec nos propres chiffres est-il approximatif : 500 kg/ha pour les traitements azotés, 340 kg/ha pour les traitements sans azote, ce qui est faible.

Aux Philippines, CARANDANG (IV 15) obtient les meilleurs rendements avec 500 kg de sulfate d'ammoniaque à l'ha : 2,140 kg de café marchand par arbre, soit 2,5 t/ha, ce qui représente une augmentation de 12,3 % par rapport au témoin qui a lui-même un rendement très élevé : 1,906 kg de café marchand par arbre, soit 2,3 t/ha. Par contre, un traitement NPK (100 g d'N, 50 g de P₂O₅ et 200 g de K₂O) diminue le rendement de 10 % : 1,804 kg de café marchand par pied, 2,1 t/ha.

Au Salvador, TENORIO (IV 62) signale que l'azote seul, à raison de 550 g de sulfate d'ammoniaque par arbre et par an, augmente le rendement de 45 % : 1,240 kg de café marchand au lieu de 0,850 produit par le témoin.

Au Costa-Rica, GONZALES (IV 31) obtient une augmentation du poids de la récolte de 16 % avec 90 kg d'azote à l'ha et aucune augmentation supplémentaire en ajoutant P ou K ou les deux ensemble (il ne donne pas de chiffres de production). Un rapport tout récent (IV 8) expose que la fumure azotée est considérée par les chercheurs de ce pays comme fondamentale : elle a augmenté la production dans tous les points d'essai, sans exception, disséminés sur l'ensemble du plateau central du Costa-Rica, où la pluviométrie annuelle varie suivant les lieux de 1.600 à 2.500 mm et où les sols sont très divers.

En Afrique de l'Est, où le paillage est considéré comme une excellente façon culturale et est assez généralement pratiqué (IV 36-43-46), l'azote est le seul élément — avec par endroits le magnésium — qui augmente significativement les rendements (IV 2-4-12-48-51-54). Ainsi, au Kenya, PEREIRA et JONES (IV 46-47) indiquent que 270 kg/ha de sulfate d'ammoniaque (225 g par pied) donnent une augmentation significative de récolte de 7 %, ce qu'ils jugent économiquement insuffisant. Ils estiment rentable la dose de 510 kg/ha de sulfate d'ammoniaque épandue en trois fois (425 g par pied), ce qui augmente la récolte de 330 kg/ha, soit de 27 %. FOSTER (IV 24) au Nyassaland obtient des accroissements rentables de production avec 225 g de sulfate d'ammoniaque par pied.

FORESTIER (IV 23) travaillant sur Robusta en République Centrafricaine signale l'effet néfaste de la potasse, l'effet nul du phosphore et recommande l'emploi d'engrais azotés seuls.

Loué, en Côte d'Ivoire (V 24), obtient sur Robusta sur des sols granitogneissiques (Daloa) un accroissement de rendement de 40 % avec une fumure NPK à 30 g par pied de N, 20 de P_2O_5 et 40 de K_2O . Se référant aux autres traitements et aux analyses foliaires, l'auteur attribue cet accroisse-

ment à l'azote seul. Par contre, dans les sols sableux de la région côtière, l'association azote-potasse semble nécessaire.

Ainsi, les résultats obtenus en des points très différents du monde vont dans le même sens que ceux que nous avons exposés.

IV. — CONCLUSIONS

De nos résultats, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1. — **C'est l'azote qui est actuellement le facteur limitant de la production du caféier Arabica en pays Bamoun.** La quantité de fruits récoltés augmente avec la fumure azotée d'autant plus que cette fumure est plus forte.

2. — Aux doses d'engrais employées (650 kg/ha), il apparaît que **650 kg de sulfate d'ammoniaque ont un meilleur effet sur la production que la même quantité d'un mélange de sulfate d'ammoniaque avec de la potasse, du phosphate bicalcique, de la dolomie, seuls ou ensemble.**

Ainsi, la production des parcelles N a été en moyenne, pendant quatre années consécutives, de 4,803 kg de cerises fraîches par arbre et par an et celle des parcelles T de 1,704 kg. L'emploi de 500 g par pied de sulfate d'ammoniaque a augmenté la production de 182 %, les parcelles N ont eu un rendement 2,82 fois plus élevé que les parcelles T.

Ces conclusions appellent deux remarques :

1° L'important accroissement de production obtenu par application de sulfate d'ammoniaque est sans aucun doute dû à l'azote fourni, mais très probablement aussi au soufre apporté par cet engrais.

Il serait très utile et très intéressant d'étudier l'influence de l'ion sulfurique sur les rendements en mettant en comparaison divers engrais azotés, tels que sulfate d'ammoniaque et urée (qui ne contient pas de soufre).

Jusqu'ici, aucune différence d'efficacité n'a été mise en évidence entre ces deux sources d'azote. Ainsi ESPINOZA (IV 21) au Salvador, avec des doses faibles (50 g de N par pied et par an), et ABRUNA (V 1) à Porto-Rico, avec de fortes doses (277 kg de N à l'ha), n'ont pas obtenu de différences entre les rendements. ROBINSON (IV 56) au Kenya rapporte que l'urée n'entraîne pas d'amélioration aussi sensible que le sulfate d'ammoniaque. Ceci est peut-être dû, pense-t-il, à un mode inadéquat d'épandage. Il estime le sulfate d'ammoniaque plus efficace en apport au sol, réservant l'urée à

des pulvérisations sur le feuillage en mélange avec des produits anticryptogamiques. ROBINSON au Kenya (IV 59), MALAVOLTA au Brésil (IV 39) constatent qu'un tel traitement fait reverdir les caféiers jaunissants, mais ne signalent pas d'influence sur la production de fruits.

2° La quantité d'azote apportée par notre meilleur traitement (103 g par pied et par an, soit 134 kg à l'ha) est faible par rapport à celles qui sont utilisées dans les pays où on obtient de forts rendements.

ABRUNA (V 1) à Porto-Rico, à 762 m d'altitude, sur sol argileux, en pente, érodé mais de bonne texture physique, recevant 1.635 mm de pluies par an, a obtenu 2.500 kg de café marchand à l'ha avec 277 kg d'azote élémentaire (sous forme de sulfate d'ammoniaque, nitrate d'ammonium ou urée), 340 kg de sulfate de Mg et 680 kg de sulfate de K.

Aux îles Hawaï où les rendements sont les plus élevés du monde, COOL (IV 16) a obtenu une moyenne de 5.461 kg de café marchand à l'ha pendant quatre ans, avec 463 kg d'azote élémentaire, 183 kg de P_2O_5 et 2.043 kg de 10.5.20 (soit un peu plus de trois tonnes d'engrais à l'ha).

Il est par conséquent probable que des doses plus fortes d'azote augmenteraient encore la production. Il est vraisemblable qu'alors un autre élément deviendrait à son tour le facteur limitant.

Il sera nécessaire dans des essais ultérieurs d'étudier l'influence sur les rendements de doses croissantes d'azote, seules et associées à des engrais potassiques, calciques, magnésiens et phosphatés.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous conseillons, en pays Bamoun, une fumure exclusivement azotée apportant par an et par caféier en production un minimum de 100 g d'azote élémentaire, de préférence sous forme de sulfate d'ammoniaque.

Nous montrerons dans la deuxième partie de cette étude que le caféier a besoin d'azote à deux époques différentes et qu'il est nécessaire de faire deux (ou mieux quatre) épandages par an d'engrais azoté.

Deuxième partie

Analyses foliaires

I. — CHOIX D'UNE MÉTHODE DE TRAVAIL

A. — LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE : RAPPEL DE QUELQUES DONNÉES FONDAMENTALES

Nous avons indiqué brièvement dans l'introduction que la méthode du diagnostic foliaire permettait d'étendre à toute une région les résultats obtenus en quelques points d'essais seulement et d'ajuster aux besoins de la plante les apports d'engrais minéraux.

Plusieurs auteurs ont fait justement remarquer que les analyses de végétaux, mieux que les analyses de sols, pouvaient nous renseigner sur les besoins réels d'une culture en éléments minéraux, puisque les premières indiquent ce que les plantes ont effectivement absorbé tandis que les secondes ne tiennent pas compte des exigences particulières à chaque espèce (III 15-19-24). OLLAGNIER et PRÉVOT (III 15) ont confirmé par une étude conduite sur arachide au Sénégal que le diagnostic foliaire était un procédé plus sensible que l'analyse du sol pour déterminer les besoins en éléments nutritifs d'une plante cultivée : si les carences en P ont été décelées par les deux méthodes, seule l'analyse foliaire, plus précise, a été capable de révéler les carences en K.

L'idée d'analyser les plantes pour en connaître les besoins est née en Allemagne où elle a donné lieu à la fin du XIX^e siècle à de très nombreux dosages portant sur des plantes entières et sur toutes sortes d'organes végétaux. Les résultats en restèrent longtemps très confus. C'est seulement à partir de 1925, en France, que les travaux de LAGATU et MAUME (II 9-10-11-12) montrèrent que l'analyse foliaire faite dans des conditions bien précises donnait des résultats d'un grand intérêt agronomique.

L'analyse de tissus ligneux, phellodermiques, de tubercules, etc... est également employée avec succès dans des cas particuliers, mais l'organe le plus généralement utilisé est la feuille, « laboratoire de

la plante » où les substances synthétisées ne s'accumulent que temporairement.

Sur caféier Arabica, CATANI (V 4) au Brésil a analysé des portions de racines, de tiges de tous âges, des feuilles et des fruits ; il a montré que la composition minérale de la feuille était plus variable et soumise à une périodicité plus marquée que celle des autres organes. Il l'a choisie pour étudier les besoins de la plante en éléments minéraux.

Aussi avons-nous décidé d'appliquer la technique de l'analyse foliaire au caféier Arabica. Nous avons dû choisir :

- la feuille à étudier,
- le mode de prélèvement,
- les éléments à doser et les méthodes à employer.

Ces divers points font l'objet des paragraphes suivants.

B. — DÉFINITION DE L'ÉCHANTILLON

1^o Considérations générales sur les variations observées dans la teneur en éléments minéraux des feuilles

LAGATU et MAUME les premiers (II 9), et après eux tous les auteurs qui sur diverses plantes ont employé avec succès le diagnostic foliaire (V 33, III 17 à 25...), ont mis l'accent sur l'importance du choix de l'échantillon à analyser. Comme le dit en effet le docteur PRÉVOT (II 18) : « la mise au point du diagnostic foliaire doit être adaptée à chaque type de culture et aux problèmes à étudier. Ce serait une profonde erreur de croire qu'il suffit de prélever des feuilles pour que la plante apporte une réponse ».

Cette méthode cherche en effet à interpréter des différences de composition chimique trouvées entre plusieurs échantillons foliaires. Elle les attribue à des différences de nutrition minérale entre les arbres, qui se traduisent par une plus ou moins grande production.

Il faut donc que les feuilles choisies pour cette investigation soient telles qu'on puisse raisonnablement émettre l'hypothèse qu'en l'absence de différences dans la qualité et la quantité des éléments minéraux utilisés par les arbres sur lesquels elles sont prélevées, leur composition chimique serait la même.

Or, des analyses faites en grand nombre sur des plantes très diverses donnent pour les feuilles d'un même arbre des chiffres très différents.

Leur composition chimique varie :

— avec l'époque de l'année. Aux diverses phases de croissance et de développement qui caractérisent le cycle végétatif d'une plante correspondent des concentrations variables en éléments minéraux dans ses organes foliaires, c'est-à-dire qu'il existe un cycle annuel de l'azote, du phosphore, etc... qui est déterminé en partie, comme le cycle végétatif lui-même, par le rythme des saisons ; en pays tropicaux, principalement par le régime des pluies ;

— avec l'heure de la journée, par suite des migrations de substances synthétisées qui se font des feuilles vers les autres organes de la plante et des translocations d'éléments minéraux qui les accompagnent. SCHEIDECKER et PRÉVOT (III 25) sur palmier à huile au Dahomey ont montré que les teneurs en N-Ca-Mg sont significativement plus élevées le matin que le soir, tandis qu'ils enregistrent pour K une tendance à augmenter au cours de la journée. COOIL aux Hawaï (V 6) montre sur caféier Arabica une décroissance significative des teneurs en sucres totaux entre 8 h du soir et 6 h du matin, tandis que la concentration en amidon ne change pas pendant cette période. LAINS E SILVA (V 16) sur la même plante au Brésil, analysant des échantillons recueillis les uns entre 8 h 30 et 9 h 30, les autres entre 14 h 30 et 16 h 30, trouve des différences significatives pour Ca et Mg seulement, non pour N et K ;

— avec l'âge de la feuille. CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica a étudié la composition chimique des quinze premières paires de feuilles de caféier Arabica. Les teneurs en N-P augmentent avec le rang de la feuille, tandis que celles en Ca et Mg diminuent ; aucune tendance nette ne caractérise d'après cet auteur la variation des teneurs en K. Dans le même pays, MULLER (V 35) indique que N-P-K-Mg diminuent quand augmente l'âge de la feuille ; c'est le contraire pour Ca. ESPINOZA au Salvador (V 9-10) montre que P-K-Ca-Mg ne varient que dans d'étroites limites du troisième au

sixième rang, mais que les variations de N sont plus importantes.

PRÉVOT et coll. (III 17 à 25) ont observé également sur palmier à huile et cocotier des variations de composition chimique dans des feuilles d'âge différent : Ca et Mg augmentent avec l'âge, tandis que P et K diminuent. N augmente d'abord de la première feuille très jeune à celle qui a atteint sa taille normale, puis diminue quand le rang de la feuille s'élève ;

— il existe d'autres causes de variations de la composition chimique des feuilles. LAINS E SILVA (V 16) au Brésil montre sur caféier Arabica que la situation de la feuille par rapport aux points cardinaux, sa distance du sol, la présence ou l'absence de fruits sur le rameau où elle est prélevée ont une importance appréciable. Les feuilles prises au nord sont plus riches en azote que leurs homologues au sud, plus riches à 0,75 m qu'à 1,50 m de hauteur ; sur branches avec fruits, les teneurs en N et en Ca sont plus élevées que sur branches sans fruits ; c'est le contraire pour P et Mg.

ROBINSON (V 38) au Kenya sur Arabica également constate que les teneurs en K, mais non celles en Ca et Mg, varient de façon significative suivant que la feuille est située à l'est, à l'ouest, au nord, ou au sud. Les feuilles de la partie supérieure du caféier, plus chargée en récolte, sont significativement plus riches en Ca et Mg que celles de la partie inférieure qui porte moins de fruits. Pour le K la tendance est la même, sans que les différences soient significatives.

BUSCH (V 2) a montré sur caféier Robusta en République Centrafricaine que les feuilles de troisième rang sans glomérules de fruits à leur aisselle sont de 10 à 20 % plus riches en N et K que celles qui en portent, plus riches en P de 50 à 55 %, moins riches en Ca et en Mg de 50 et 15 % respectivement. FORESTIER (V 12) en République Centrafricaine, sur Robusta également, indique que des feuilles de même rang ont des compositions chimiques différentes suivant qu'elles sont généralement à l'ombre ou au soleil, qu'elles appartiennent à un rameau ancien ou à un jeune en pleine croissance. Ainsi sur jeunes gourmands, les teneurs en N-P-K sont plus élevées, les teneurs en Ca plus basses que sur branches plus âgées.

Il est donc nécessaire, avant d'entreprendre une étude par diagnostic foliaire, de bien choisir le matériel d'étude.

2° Choix du rang de la feuille

Les premiers travaux d'analyses foliaires effectués pour l'étude des besoins en engrais du caféier Arabica ont été faits en Amérique Centrale. La

feuille choisie est généralement de rang 3 : LAINS E SILVA (V 16), LOTT (V 20) au Brésil, ou de rang 4 : URHAN (V 40) en Colombie, MULLER (V 33), CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica, ESPINOZA (V 9) au Salvador... Les auteurs belges (V 13-15-17) au Kivu et au Ruanda-Urundi les ont imités et travaillent sur des feuilles de rang 4, de même que BUSCH (V 2) en République Centrafricaine et LOUÉ (V 21) en Côte d'Ivoire sur caféier Robusta.

On considère généralement que ces feuilles sont bien adaptées à l'étude des besoins en engrais du caféier et cela pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, ce sont des feuilles « mûres » qui ont atteint leur taille définitive. Sur la plupart des plantes cultivées c'est à cette catégorie qu'on s'adresse pour pratiquer le diagnostic foliaire, de préférence aux feuilles jeunes et vieilles.

Ensuite, ce sont les feuilles sur lesquelles l'erreur d'échantillonnage est la moins importante. Il est convenu en effet de compter pour première paire de feuilles celle dont les limbes sont bien étalés et présentent une longueur d'au moins 1,25 cm (LOTT V 20). Il est facile, on le voit, de confondre deux feuilles de rangs successifs.

Or la plupart des auteurs ont montré qu'il n'y avait entre la troisième et la quatrième paire que de légères différences dans les teneurs en éléments minéraux.

BUSCH et LOUÉ (V 2 et V 21) sur Robusta, faisant au début de leurs travaux les prélèvements sur des feuilles de rang 4, durent par la suite les prendre au troisième nœud, car ils ne trouvaient plus à certaines époques de l'année de feuilles de quatrième paire sans glomérules. Leurs analyses prouvent que l'absence ou la présence de fructifications à l'aisselle d'une feuille fait varier les teneurs en N-P-K-Ca-Mg de façon beaucoup plus importante que ne le fait le changement de rang.

Nous avons signalé dans un précédent paragraphe les travaux de CHAVERRI (V 5) sur les variations des concentrations en N-P-K-Ca-Mg-Mn et B de quinze paires successives de feuilles prises sur un même rameau. Ils révèlent que le gradient de variations est faible entre les rangs 3 et 8 ; entre ces six paires de feuilles, les différences de composition chimique sont peu importantes. ESPINOZA (V 9-10) au Salvador confirme ce fait pour les cinq premiers éléments cités sur les feuilles de rang 3 à 6. Ces deux auteurs constatent en outre que les teneurs en éléments minéraux évoluent de manière semblable tout au long de l'année dans les différentes feuilles étudiées.

CHAVERRI conclut de ces travaux qu'il est parfaitement fondé de prélever la quatrième paire, comme on le fait habituellement au Costa-Rica, pour pratiquer le diagnostic foliaire.

Dans le même pays pourtant, MULLER (V 33) constate que des caféiers en réalité sous-alimentés peuvent présenter dans les feuilles de rang 3 et 4 d'assez fortes teneurs en éléments minéraux, car ceux-ci migrent vers les jeunes pousses et vers les fruits, si bien que les déficiences se manifestent d'abord dans les feuilles âgées. Celles-ci constitueraient un meilleur indice de l'état nutritif de l'arbre et l'auteur recommande par conséquent de pratiquer « l'analyse différentielle » qui porte à la fois sur des feuilles de rang 4 et de rang plus élevé. COOIL (V 6) aux Hawaï estime également que si les jeunes feuilles donnent une bonne idée des variations de l'amidon, les vieilles feuilles (dont il ne précise pas le rang) renseignent mieux sur celles de K. ROBINSON (V 39) au Kenya, choisit de vieilles feuilles (sixième et septième nœuds) portant des cerises à leur aisselle, parce qu'il a constaté que dans les cas de fortes productions, elles sont les premières à s'appauvrir en N-P-K-Ca-Mg.

ESPINOZA (V 9-10) au Salvador, rapprochant des travaux de MULLER ses propres observations, fait remarquer qu'il pourrait y avoir avantage à doser les éléments minéraux sur la sixième feuille puisque dans la quatrième pendant la période de maturation des fruits. Mais les sixièmes feuilles sont introuvables pendant une grande partie de l'année où le caféier subit une certaine défoliation. Elle conclut finalement que l'important est de réunir des feuilles qui soient dans un même état physiologique, sans se préoccuper de leur position sur le rameau : des feuilles « mûres », qu'il est facile de distinguer sur caféier de feuilles plus jeunes ou déjà vieilles.

On doit en rapprocher les recommandations faites par PRÉVOT et coll. (III 25) en ce qui concerne le palmier à huile. Cet auteur insiste sur la nécessité de prélever des feuilles « de même âge physiologique » pour éviter l'influence du vieillissement qui se traduit par un appauvrissement en N-P-K et un enrichissement en Ca. Sur cocotier (III 17), le même auteur indique qu'on ne peut comparer des feuilles de même rang prises sur des arbres de développement inégal parce que leur vitesse de formation est différente ; il recommande de les prélever d'autant plus vieilles que l'arbre est plus âgé ou plus développé.

Compte tenu des travaux effectués sur caféier Arabica par les auteurs cités, nous avons adopté la troisième feuille comme matériel d'étude. Elle présente en effet l'avantage d'être facile à trouver toute l'année et d'avoir une composition chimique peu différente de sa voisine immédiatement supérieure. Elle est utilisée sur Arabica au Brésil et a été finalement adoptée par les auteurs français de Côte d'Ivoire et de République Centrafricaine sur Robusta.

C. — IMPORTANCE DE L'ÉCHANTILLON

- combien de feuilles faut-il prélever en tout ?
- sur combien d'arbres ?
- combien par arbre ?

L'étude faite au Brésil sur caféier Arabica par LOTI, NERY, GALLO, MEDCALF (V 20) montre que l'échantillon doit être plus ou moins grand selon le degré de précision recherché et les éléments minéraux auxquels on s'intéresse. Ces auteurs estiment que l'analyse doit porter sur un assez grand nombre de feuilles pour que les chiffres obtenus aient quelque signification.

Ils ont dosé N-P-K sur douze feuilles de rang 3 prises au même moment sur un même arbre. En les analysant une par une, ils ont montré que leur composition chimique variait assez considérablement. Ces auteurs ont calculé à partir de ces données que pour faire apparaître une différence de 5 % (significative à $P = 0,05$) dans les teneurs en N, il fallait grouper au moins 166 feuilles, pour P, 732, pour K, 362. Mais ils font justement remarquer que la plupart des expériences n'exigent pas une aussi grande précision et pour des différences de l'ordre de 20 %, 17 feuilles sont nécessaires pour N, 49 pour P, 29 pour K. Le calcul des coefficients de variation indique que d'une troisième feuille à une autre troisième feuille prise sur le même arbre, P est l'élément le plus fluctuant, N le moins.

Ils ont montré aussi que la variabilité entre les feuilles d'un même arbre était la principale cause des variations aléatoires d'un échantillon. Ils en concluent qu'il est inutile de multiplier les prélèvements sur un même arbre.

Ils ont établi également que pour constituer un échantillon représentatif d'une parcelle, il ne faut pas beaucoup plus de feuilles que pour constituer un échantillon représentatif d'un arbre.

Aussi prennent-ils une feuille sur une pousse latérale, à mi-hauteur entre le sol et le sommet, sur les quatre côtés de chaque arbre. Leurs parcelles renfermant de six à vingt-cinq caféiers, ils constituent des échantillons de vingt-quatre à cent feuilles.

Sur Arabica, ROBINSON (V 38) au Kenya étudiant les déficiences en Mg insiste sur le fait qu'il faut recueillir sur chaque arbre, pour faire des comparaisons valables, le même nombre de feuilles bien vertes et de feuilles chlorotiques, de façon à éliminer les variations génétiques entre individus. Il rassemble soixante feuilles, en prenant sur vingt caféiers conduits à trois tiges une feuille sur une branche primaire de chacune. Parfois il ne cueille que sur deux caules et réunit quarante feuilles.

JAMMAR (V 15) au Kivu prélève sur huit sujets groupés, à mi-hauteur, sur trois ou quatre branches primaires, une paire de feuilles, en se déplaçant

à chaque fois de 90 à 120° autour de l'arbre. Il constitue ainsi des échantillons de quarante-huit à soixante-quatre feuilles.

On a l'habitude au Brésil de planter les caféiers par groupes, généralement de six. MALAVOLTA (V 29) fait des échantillons de soixante-douze feuilles en prenant douze feuilles par groupe, à la base du tiers supérieur du caféier. Aux Hawaï, COOIL (V 6) en prend douze, trois sur les différents côtés de quatre arbres. Il constitue quatre échantillons de cette sorte, si bien qu'il dispose de quarante-huit feuilles par parcelle. URHAN (V 40) en Colombie en prend dix sur dix caféiers, ESPINOZA (V 9-10) au Salvador quatre-vingts, quatre par arbre. MULLER (V 33) au Costa-Rica étudiant diverses carences minérales ne réunit parfois que douze feuilles, car il les choisit de rang élevé et elles manquent souvent sur les sujets en mauvais état auxquels il s'adresse.

Sur Robusta, BUSCH (V 2) en République Centrafricaine fait des prélèvements sur dix-huit caféiers, FORESTIER (V 12) rassemble soixante-six feuilles. En Côte d'Ivoire, LOUÉ (V 21) en prend soixante, à raison de deux par arbre.

D. — TECHNIQUE ADOPTÉE

1° Pour le prélèvement des feuilles

Considérant tous les travaux cités et plus spécialement ceux de LAINS E SILVA (V 16) et de CHAVERRI (V 5), nous avons procédé de la façon suivante :

— sur les trente arbres utiles de nos parcelles expérimentales, nous prélevons deux feuilles, une de chaque côté de l'arbre, à mi-hauteur, c'est-à-dire entre 0,75 m et 1,50 m du sol ;

— ces deux feuilles sont choisies sur des branches portant, suivant la saison, des bourgeons à fleurs, des fleurs ou des fruits. Ces feuilles ne portent pas de fructifications à leur aisselle, appartiennent à la troisième paire en partant de l'extrémité apicale du rameau, en comptant pour première celle dont les limbes sont bien étalés et non plus dressés contre le bourgeon terminal ;

— tous les prélèvements sont faits entre 7 h 30 et 9 h.

2° Pour la préparation du matériel

Les feuilles sont essuyées au papier Joseph et mises le plus vite possible dans un four de ménage tiède et ouvert. Le séchage est terminé plus tard au laboratoire à l'étuve à 105° et l'échantillon broyé

au moulin à café électrique, puis conservé en chambre sèche.

Toutes les feuilles cueillies correspondent rigoureusement à ces normes. Aux époques de défoliation, en fin de saison sèche (en particulier en janvier 1962 où beaucoup de caféiers de nos blocs ont perdu une grande partie de leur feuillage) nous avons dû constituer des échantillons de moins de soixante feuilles.

E. — ÉLÉMENTS ANALYSÉS

Sans méconnaître l'importance des oligoéléments — la bibliographie abonde en exemples de relèvements spectaculaires de production après correction de carences en B, Zn, etc... ou de toxicité manganique — nous avons préféré dans les conditions locales étudier d'abord les besoins du caféier Arabica en éléments majeurs, afin de favoriser une production intensive par l'emploi d'engrais chimiques appropriés.

Nos analyses ont donc porté sur N-P-K-Ca-Mg (S est également très important, mais nous n'avons pu jusqu'ici en faire le dosage).

Les méthodes employées sont les suivantes :

— microdosage de l'azote par la méthode classique de KJELDHAL (I 4).

Après incinération de la poudre de feuilles bien homogénéisée à 450° pendant 4 h et reprise des cendres pendant 18 h par ClH et eau chaude, nous dosons :

— le phosphore par volumétrie sous forme de phosphomolybdate (LORENZ, I 4) ;

— le potassium par volumétrie sous forme de cobaltinitrite (WILCOX, I 4) ;

— le calcium et le magnésium par complexométrie (I 6).

Nos résultats sont exprimés en g de N-P-K-Ca-Mg pour 100 g de matériel sec.

Toutes précautions sont prises pour assurer l'exactitude des dosages effectués en série et leur contrôle.

F. — DATES DE PRÉLÈVEMENT

Nous avons indiqué dans l'introduction (voir la 1^{re} partie de cette étude) que le but de notre essai était de déterminer dans les conditions écologiques du pays Bamoun les « niveaux critiques », c'est-à-dire les teneurs de la feuille en N-P-K-Ca-Mg pour lesquelles, une fois atteintes, un apport d'éléments

fertilisants ne provoquera plus d'augmentation appréciable du rendement de la plante.

La connaissance de ces « niveaux critiques » constitue la base du diagnostic foliaire : on essaye par la fumure de rendre les valeurs de N-P-K-Ca-Mg (et celles de leurs rapports) trouvées dans des échantillons foliaires pris hors des points d'essai, les plus voisines possibles de celles des niveaux critiques, afin de mettre la plante dans des conditions de nutrition minérale convenant à une bonne production.

Mais nous avons vu au début de ce chapitre que les teneurs en éléments minéraux d'une feuille bien définie variaient tout au long de l'année.

Les niveaux critiques doivent donc être déterminés pour une époque donnée ; il est opportun de choisir celle où on observe entre les échantillons foliaires pris dans les parcelles d'essai soumises à des fumures variées les écarts les plus grands quant à leur concentration en éléments minéraux.

On peut penser que cette époque privilégiée coïncide avec une phase bien particulière de la vie du végétal et c'est ainsi que sur caféier Arabica, au Brésil, LAINS E SILVA (V 16) prend ses échantillons après les premières pluies quand croissent les jeunes pousses, MACHADO (IV 38) à la principale floraison, MALAVOLTA (V 29), MULLER (V 32-33) au Costa-Rica au début du mûrissement des fruits, URHAN (V 40) en Colombie en fin de récolte.

Or sur palmier à huile au Dahomey, SCHEIDCKER et PRÉVOT (III 25) indiquent que les différences de teneurs en N-P-K, entre leurs échantillons foliaires, sont les plus marquées en fin de saison sèche, au moment du repos végétatif, et c'est alors qu'ils font les prélèvements.

LOTT (V 20) au Brésil, COOIL (V 6) aux Hawaï font sur Arabica trois ou quatre cueillettes par an, aux changements de saison. D'autres enfin les multiplient pour pouvoir déterminer plus sûrement le moment de l'année le plus propice : CHAVERRI (V 5), ESPINOZA (V 9) au Costa-Rica, ROBINSON (V 38) au Kenya en font une par mois, LOUÉ (V 21) en Côte d'Ivoire sur Robusta, dix par an.

Nous ignorons la date de prélèvement la plus favorable dans les conditions écologiques du pays Bamoun : pour la déterminer, nous avons récolté des feuilles pendant cinq ans, de mai 1957 à mai 1962 dans chacune de nos parcelles, entre le 1^{er} et le 10 de chaque mois.

Après mai 1962, nous n'avons prélevé d'échantillons qu'aux dates suivantes : octobre, novembre et décembre 1962, janvier, avril et mai 1963.

Nous avons tenu à bien préciser la technique d'échantillonnage, les dates de prélèvement, le mode d'expression de nos résultats analytiques et les méthodes par lesquelles nous les avons obtenus.

Trop souvent, en effet, les chiffres d'analyses foliaires ne sont accompagnés d'aucune précision. Et, comme le fait remarquer Lorr (V 20) au Brésil, beaucoup de données de la bibliographie ne peuvent être utilisées faute de connaître exactement le matériel analysé. Dans un article sur le cocotier, le

docteur PRÉVOT (III 17) rappelle lui aussi qu'« il est indispensable de définir le rang sur lequel a porté un prélèvement quand on énonce un résultat ». Il faut y ajouter la date.

Ces recommandations sont trop souvent oubliées.

II. — RÉSULTATS DES ANALYSES

Ainsi, nous connaissons les concentrations en N, P, K, Ca, Mg exprimées en g % de matière sèche des lots de feuilles prélevées chaque mois pendant cinq ans dans chacune des neuf parcelles de nos trois blocs suivant le mode que nous venons de décrire.

Nous avons tracé à partir de ces chiffres, en portant en abscisses le temps et en ordonnées les concentrations moyennes de chacun des neuf traitements (T, N, P, K, NP, NK, PK, NPK, NPKCa Mg), les courbes de variations annuelles des cinq éléments cités.

Pour chacun d'eux, les neuf courbes ainsi obtenues ont des tracés qui se ressemblent : les augmentations et les diminutions des concentrations se produisent aux mêmes moments, quelle que soit la formule d'engrais appliquée à la plante. Mais, suivant le traitement, ces concentrations sont plus ou moins élevées.

De plus, le tracé de ces courbes est à peu près le même chaque année : les minima et les maxima sont plus ou moins accusés, mais l'allure des variations saisonnières reste la même.

Cette allure périodique que prennent les variations des teneurs en éléments minéraux a été observée par tous les auteurs qui ont fait sur caféier des analyses foliaires à intervalles réguliers : BUSH (V 2) en République Centrafricaine, LOUÉ (V 21-22-24-26) en Côte d'Ivoire, ROBINSON (V 39) au Kenya, ESPINOZA (V 9-10) au Salvador, CATANI (V 4) en Colombie, LORR (V 19), MEDCALF (V 30) au Brésil. Ils ont remarqué également que le traitement appliqué (engrais chimiques, irrigation, façon culturale, etc...) n'affecte pas la forme des courbes, mais les décale simplement le long de l'axe des y . CHAVERRI (V 5), étudiant en détail au Costa-Rica les variations annuelles des concentrations en N, P, K, Ca, Mg, B et Mn, montre que les différences qui se manifestent entre les quinze premières paires de feuilles se maintiennent toute l'année, si bien que les courbes construites en portant en abscisses les dates de prélèvement

et en ordonnées les concentrations ont, pour chaque paire de feuilles, la même allure et sont superposées les unes aux autres.

On peut considérer par conséquent qu'il existe un cycle de variations des teneurs en éléments minéraux, caractéristique de la plante dans le milieu où elle vit, et qui traduit un aspect de son métabolisme. Il est sous la dépendance de facteurs internes, eux-mêmes influencés en partie par les conditions environnantes : humidité, pluviométrie, ensoleillement, température, etc...

Une conséquence pratique importante de la connaissance de ce cycle est la possibilité d'apporter des engrais à la plante aux moments où elle en a physiologiquement besoin.

C. arabica sous ombrage d'*Albizia malacocarpa* (Foumbot, Cameroun)

Cl. COSTE



A. — ÉTUDE DES TENEURS EN AZOTE

1° Variations saisonnières en relation avec le cycle végétatif et le régime des pluies

Les courbes du graphique I représentent les teneurs en N de chaque traitement (moyenne des trois blocs) pendant cinq ans, de mai 1957 à mai 1962. Nous avons superposé les courbes annuelles en faisant partir chacune d'elles du mois de janvier : c'est le moment où le caféier entre en repos végétatif, la récolte finissant fin décembre, début janvier.

Elles montrent que les niveaux de N dans la feuille présentent deux minima et deux maxima.

Ils diminuent d'abord de janvier à mars (1^{er} minimum), c'est-à-dire en fin de saison sèche. En mars commencent les pluies, accompagnées d'une reprise du développement végétatif bientôt suivie de l'écllosion des boutons floraux (les floraisons ont lieu le plus souvent dans la deuxième quinzaine de ce mois). Les teneurs en N montent alors brusquement pour atteindre leur maximum en avril-mai (1^{er} maximum). Tandis que les fruits formés grossissent, elles diminuent d'abord fortement jusqu'en juin-juillet, puis insensiblement jusqu'en septembre-octobre (2^e minimum). Les pluies au contraire, après un léger ralentissement parfois en juillet-août, ne cessent de croître jusqu'en septembre, mois le plus arrosé de l'année. Ensuite, à partir d'octobre, tandis que les pluies décroissent, les teneurs en N remontent et présentent des valeurs assez fortes en novembre-décembre (2^e maximum). C'est la période de mûrissement des fruits, la récolte commençant généralement fin septembre pour se terminer fin décembre, début janvier. A partir de décembre-janvier, pendant la saison sèche, la récolte terminée, les teneurs en N diminuent jusqu'en mars.

Les teneurs moyennes calculées sur les vingt-sept parcelles (voir tableau 1) ont les valeurs suivantes :

1^{er} minimum : 2,53 % (moyenne de 5 chiffres)

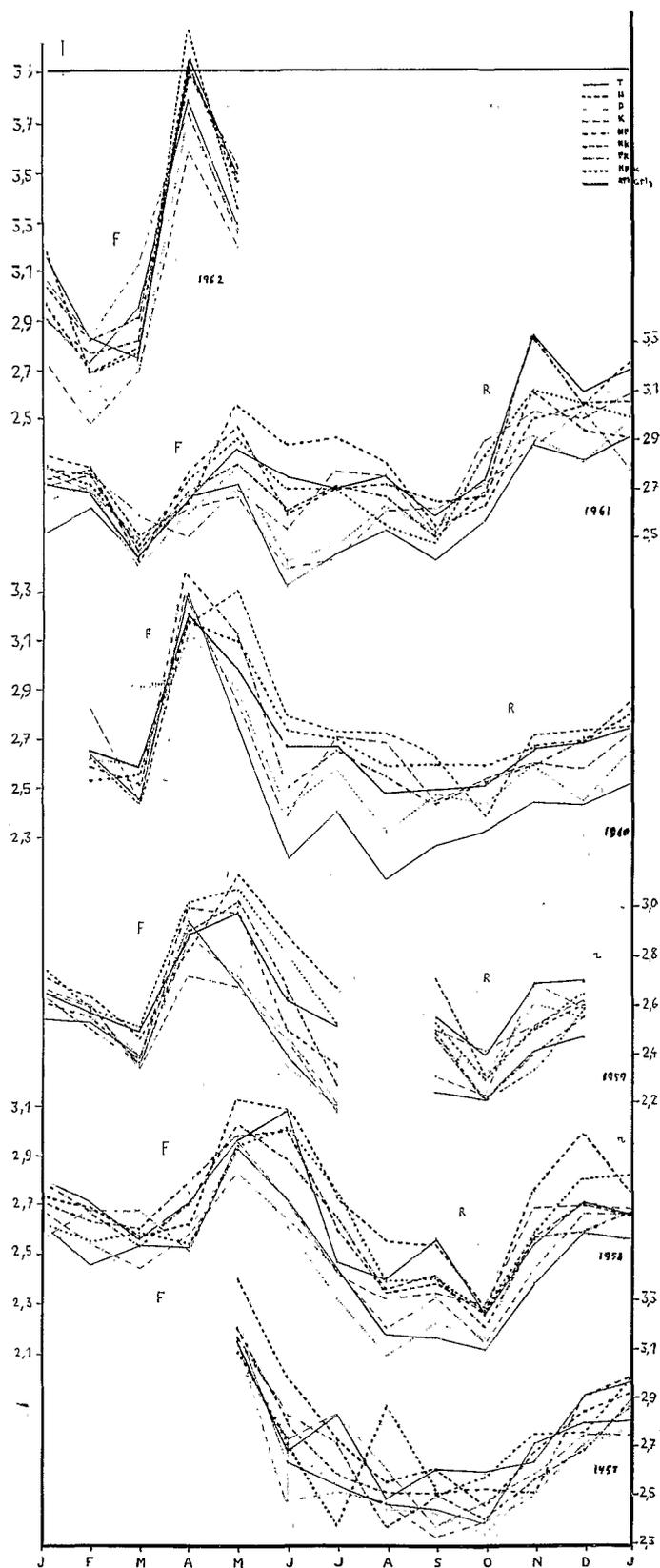
1^{er} maximum : 3,18 % (moyenne de 6 chiffres)

2^e minimum : 2,35 % (moyenne de 5 chiffres)

2^e maximum : 2,83 % (moyenne de 6 chiffres)

ce qui donne une différence de 35 % entre le premier maximum et le deuxième minimum.

La teneur la plus basse (1,631) a été trouvée dans la parcelle PK du bloc I en août 1957 et la plus haute (4,321), dans la parcelle N du même bloc en



Graphique I. — Variations annuelles des teneurs en azote

F = floraison, R = début de récolte, r = fin de récolte

avril 1961. La différence entre ces deux valeurs est de 165 %.

Le graphique II (p. 29) où les teneurs en N (moyennes mensuelles des vingt-sept parcelles) sont représentées en trait plein et où la hauteur des pluies (aux dates correspondant aux prélèvements des feuilles) figurent en grisé, montre que les deux courbes ne se ressemblent pas.

Elles ont la même allure de janvier à mai et une allure contraire de juin à décembre. Les teneurs en N diminuent pendant la saison sèche et remontent avec les premières pluies : l'humidité croissante du sol et la reprise de l'activité des micro-organismes mettent à la disposition de la plante des quantités plus grandes d'azote. Les pluies augmentant, les teneurs en azote diminuent ; il y a d'une part lessivage de l'azote minéral du sol et ralentissement probable de l'activité des micro-organismes ; le même phénomène a été observé sur cotonnier dans le nord Cameroun. Les niveaux de N remontent à partir d'octobre quand les pluies diminuent.

2° Variations des teneurs en azote d'une année à l'autre

L'examen des graphiques I et II montre que les courbes annuelles présentent entre elles des différences.

1) dans le tracé même des courbes

La remontée des teneurs en N à partir d'octobre est moins marquée en 1960 que les autres années ; la pluviométrie ne présente pourtant cette année-là aucune particularité.

En 1961, le maximum de mai est peu élevé et c'est en novembre que les teneurs en N sont les plus fortes. Les mois de mai et juin ont été nettement moins arrosés que les autres années :

Années	Hauteur des pluies en mai et juin (en mm)
—	—
1957	686,2
1958	477,5
1959	346,7
1960	708,2
1961	219,8
1962	450,3
1963	686,6

2) dans les dates des maxima et minima

Le premier minimum se produit régulièrement en mars. En 1962 seulement, si les teneurs en N de ce mois sont faibles, le minimum s'est produit pour la plupart des traitements en février.

TABLEAU 1

Teneurs mensuelles moyennes en N

Années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957	—	—	—	—	2,987	2,533	2,435	2,339	2,326	<i>2,274</i>	2,421	2,597
1958	2,678	2,600	<i>2,555</i>	2,631	2,960	2,856	2,531	2,305	2,365	<i>2,209</i>	2,576	2,715
1959	2,663	2,581	<i>2,416</i>	2,903	2,907	2,589	2,380	—	2,482	<i>2,299</i>	2,481	2,606
1960	—	2,621	<i>2,500</i>	3,202	2,988	2,528	2,597	2,452	<i>2,440</i>	2,461	2,586	2,603
1961	2,735	2,729	<i>2,457</i>	2,656	2,835	2,580	2,653	2,677	<i>2,548</i>	2,736	3,083	2,986
1962	3,022	<i>2,711</i>	2,819	3,841	3,361	—	—	—	—	2,768	3,012	3,177
1963	3,027	—	—	3,314	3,108	—	—	—	—	—	—	—
Moyennes	2,825	2,648	2,549	3,091	3,021	2,617	2,519	2,443	<i>2,432</i>	2,458	2,693	2,781

Moyenne 1^{er} min. (5 chiffres) 2,528 % en gras = maxima
 — 1^{er} max. (6 chiffres) 3,176 % en italique = minima
 — 2^{me} min. (5 chiffres) 2,354 %
 — 2^{me} max. (6 chiffres) 2,832 %
 — générale (65 chiffres) 2,692 %

Le premier maximum se produit soit en mai (1958, 1959, 1961), soit en avril (1960, 1962, 1963).

L'examen du tableau 2 montre qu'à une exception près (bloc II en 1963), le maximum des teneurs en N se situe en mai quand il est tombé moins de 100 mm d'eau pendant les trois premiers mois de l'année, et en avril quand il en est tombé plus de 100 mm ; pour les hauteurs de pluie voisines de 100 mm (bloc II 1959, bloc I 1960, bloc III 1961), les teneurs en azote en avril et mai sont sensiblement les mêmes.

Nous avons fait remarquer dans la première partie de cette étude que les rendements étaient d'autant plus élevés que la pluviométrie de janvier, février, mars avait été plus importante. On constate également que les meilleures années de récolte (1962, 1963) sont celles où le maximum des teneurs azotées s'est produit en avril (nous ne connaissons pas les niveaux de N en avril 1957, mais il est tombé en moyenne 132,7 mm de pluies en janvier, février, mars avec 113,3 mm pour le bloc I, 126,3 pour le bloc II et 158,6 pour le bloc III ; on peut donc penser que le maximum des teneurs en N s'est manifesté en avril).

TABLEAU 2

Teneurs en N en avril et en mai
(moyenne des neuf traitements)
Hauteur des pluies en janvier + février + mars

Années	Blocs	Teneurs en N en avril %	Teneurs en N en mai %	Hauteur des pluies (mm)
1958	I	2,203	3,039	40,4
	II	2,715	2,984	49,5
	III	2,972	2,868	112,1
1959	I	2,769	2,586	124,7
	II	2,899	2,827	98,7
	III	3,041	3,307	73,1
1960	I	3,107	3,168	99,0
	II	2,916	2,716	121,1
	III	3,470	3,080	145,7
1961	I	2,552	2,626	81,9
	II	2,615	2,982	24,5
	III	2,822	2,899	100,4
1962	I	4,107	3,541	180,3
	II	3,465	3,347	154,1
	III	3,952	3,195	152,5
1963	I	3,262	3,156	134,7
	II	3,120	3,211	157,6
	III	3,560	2,956	143,4

(Les chutes de pluies supérieures à 100 mm et les teneurs correspondantes en N en avril sont en gras dans ce tableau)

Par contre, en 1958 où la récolte a été très faible (production moyenne de 0,344 kg de cerises fraîches par arbre pour les vingt-sept parcelles), le maximum des teneurs en N s'est produit en mai-juin.

Le deuxième minimum se produit en octobre, sauf en 1961 où il a eu lieu en septembre.

Le deuxième maximum se produit pendant la saison sèche. La remontée des teneurs en N a lieu en octobre (en septembre pour l'année 1961), le maximum se situe soit en novembre, soit en décembre, soit en janvier.

3) dans les valeurs des maxima et minima

Ces valeurs figurent en gras et en italique dans le tableau 1.

Le premier minimum a des valeurs très voisines d'une année à l'autre, sauf en 1962 où il est nettement plus élevé. C'est une année de bons rendements (nous ne connaissons pas ces valeurs pour 1957 et 1963 qui ont donné aussi de bonnes récoltes).

Le premier maximum a de hautes valeurs en 1962 et 1963, qui sont des années de bonne et très bonne récoltes. En 1961, mauvaise année, il a au contraire une valeur faible ; en 1958 et 1959 il est plus élevé, or 1958 a été une très mauvaise année, 1959 une année moyenne.

Le deuxième minimum a, à partir de 1960, des valeurs plus élevées que les années précédentes.

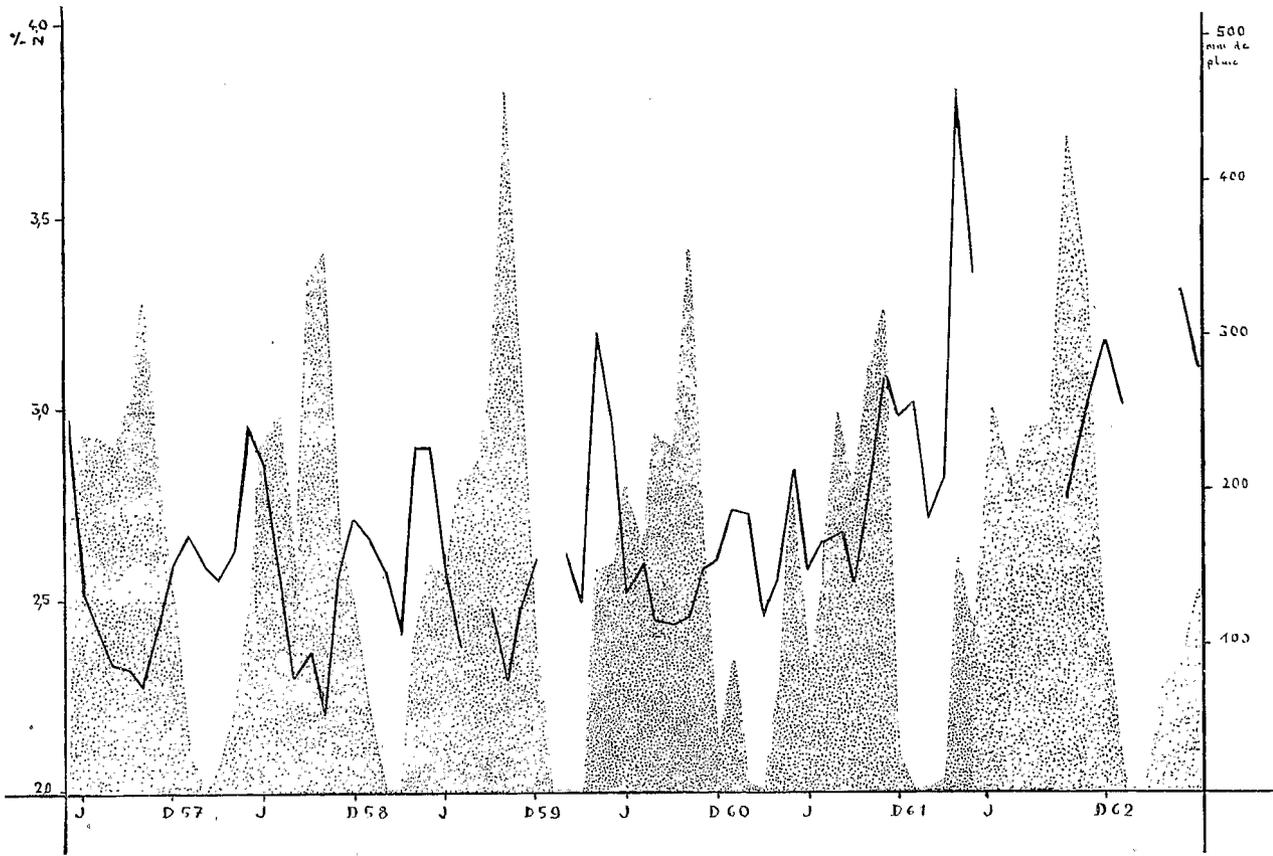
Le deuxième maximum a des valeurs plus élevées en 1961 et 1962 : les récoltes suivantes ont été bonnes.

Le tableau 3 montre que la différence entre le premier maximum et le premier minimum est très élevée en 1962 (bonne année de récolte), faible en 1958 (très mauvaise année), 1959 et 1961 (années médiocres).

La différence entre le premier maximum et le deuxième minimum est très faible en 1961, qui est une mauvaise année.

La différence entre le deuxième maximum et le deuxième minimum a sensiblement la même valeur chaque année, sauf en 1960 où elle est faible. Nous avons déjà signalé que cette année-là la remontée des niveaux azotés après octobre était peu marquée.

Si la place du premier maximum (avril ou mai) est déterminée par la pluviométrie des trois premiers mois, les valeurs de N trouvées à ce moment-là en sont également très dépendantes. En effet, le calcul montre qu'il existe une corrélation élevée à $P=0,05$ entre les hauteurs de pluies en janvier + février + mars et les teneurs correspondantes en N, soit au moment du premier maximum, avril ou mai, $r = 0,61$; soit au mois d'avril, $r = 0,82$; soit pour



Graphique II. — Hauteur des pluies et teneurs moyennes en azote
 — teneurs en N :::: pluies en mm

TABLEAU 3

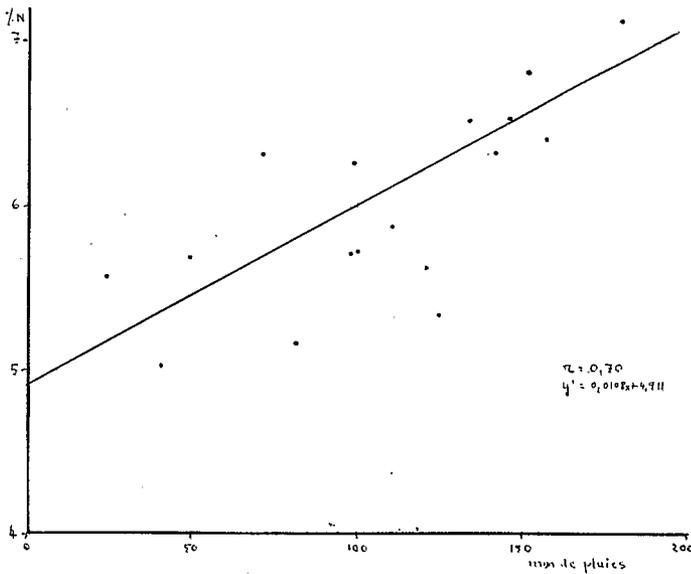
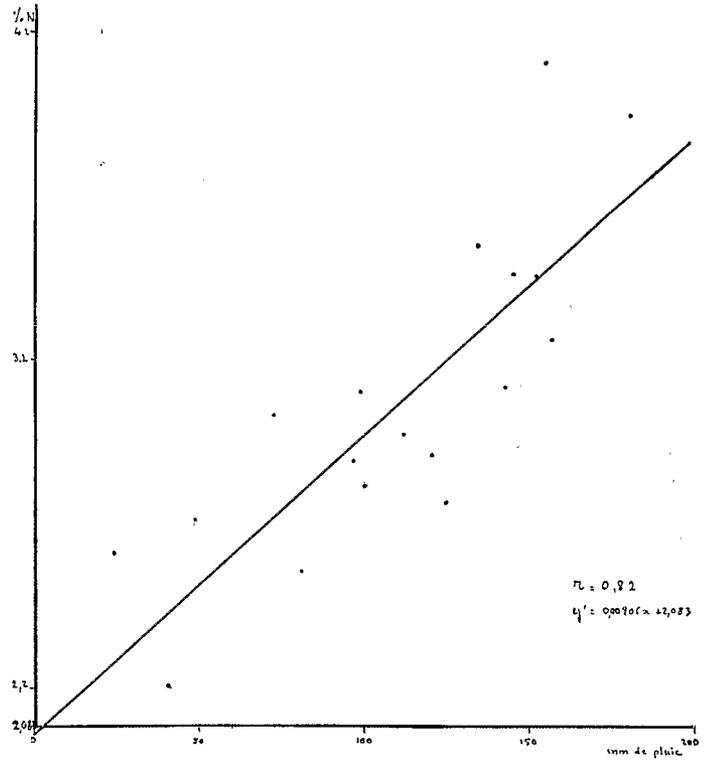
Valeurs moyennes de N — Différences entre les maxima et les minima

Années	Entre le 1 ^{er} maximum et le 1 ^{er} minimum	Entre le 1 ^{er} maximum et le 2 ^e minimum	Entre le 2 ^e maximum et le 2 ^e minimum	Entre le 1 ^{er} maximum et le 2 ^e maximum	Entre le 2 ^e maximum et le 1 ^{er} minimum de l'année suivante
1957.....		+ 0,713	+ 0,404	+ 0,309	— 0,123
1958.....	+ 0,405	+ 0,750	+ 0,506	+ 0,245	— 0,299
1959.....	+ 0,491	+ 0,608			
1960.....	+ 0,702	+ 0,762	+ 0,295	+ 0,467	— 0,278
1961.....	+ 0,378	+ 0,287	+ 0,535	— 0,248	— 0,378
1962.....	+ 1,130	+ 1,073	+ 0,409	+ 0,664	

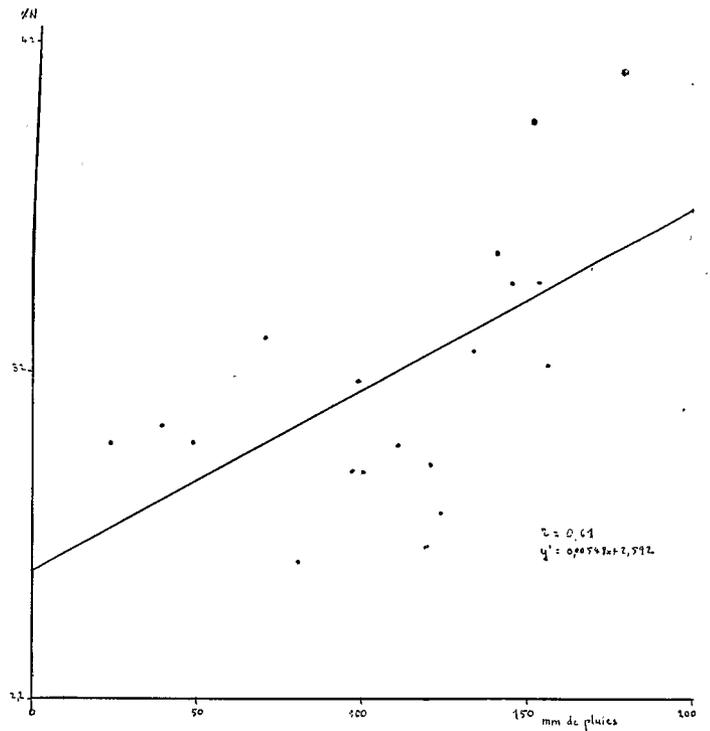
la somme des teneurs en N en avril et en mai, $r = 0,70$ (voir graphiques III, III bis et III ter).

Nous avons signalé dans la première partie que les rendements moyens annuels étaient également sous la dépendance des pluies de janvier, février, mars ($r = 0,93$).

Graphique III. — Pluies des trois premiers mois.
Teneurs moyennes par bloc en avril. Azote



Graphique III bis. — Pluies des trois premiers mois.
Teneurs en azote en avril. Teneurs en azote en mai.
Moyennes par bloc



Graphique III ter. — Pluies des trois premiers mois
Teneurs moyennes par bloc au moment
du premier maximum (avril ou mai)

3° Influence des traitements sur les teneurs en azote

L'examen du graphique IV montre que les teneurs en azote du traitement N sont très généralement supérieures à celles du traitement T (nous n'avons fait figurer que ces deux courbes pour alléger le graphique et le rendre plus lisible).

Les différences sont plus accentuées à certaines époques de l'année et l'analyse statistique des teneurs en azote faite pour toutes les dates de prélèvement montre que :

1) il n'y a aucune différence significative entre les teneurs en N des divers traitements au moment du premier minimum de la courbe (généralement mars), sauf en février 1962 où P et PK contiennent significativement moins d'azote (à $P = 0,05$) que NPKCa Mg ;

2) il n'y a aucune différence au moment du deuxième minimum (octobre ou septembre) ;

3) au moment du deuxième maximum (novembre à janvier), il se manifeste parfois des différences significatives : en janvier 1958-décembre 1958-décembre 1959, et non en janvier 1961, novembre 1961 et décembre 1962. Ce sont généralement les traitements azotés qui sont les plus riches en N ;

4) c'est au moment du premier maximum (avril ou mai) qu'apparaissent régulièrement des différences significatives entre les traitements pour les teneurs en N :

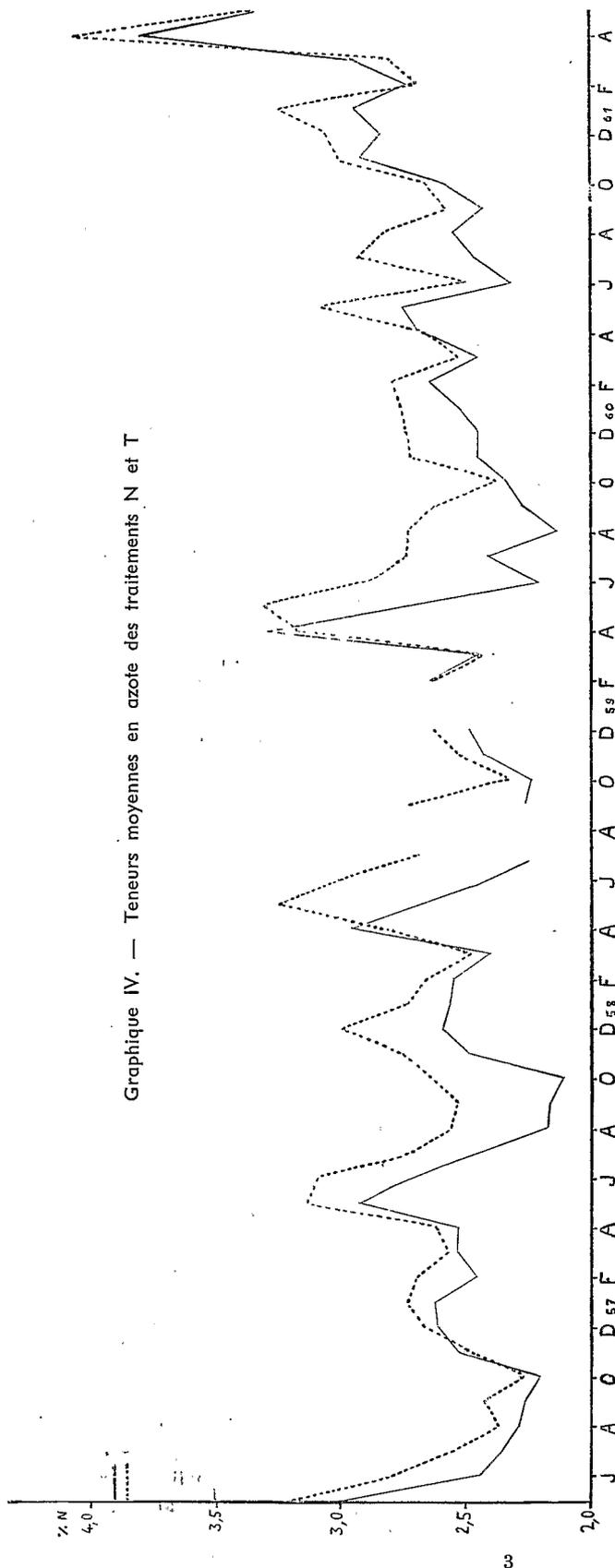
- en mai et juin 1959 (à $P = 0,05$)
- en mai et juin 1960 (à $P = 0,025$ et $P = 0,10$ respectivement)
- en mai et juin 1961 (à $P = 0,025$ et $P = 0,005$)
- en avril 1962 (à $P = 0,10$)
- en avril et mai 1963 (à $P = 0,05$ et $P = 0,01$).

Ce sont toujours sans exception les traitements azotés qui sont les plus riches, T, P, PK et K ayant des teneurs en N plus faibles que les autres. C'est toujours N qui se classe en tête des traitements azotés.

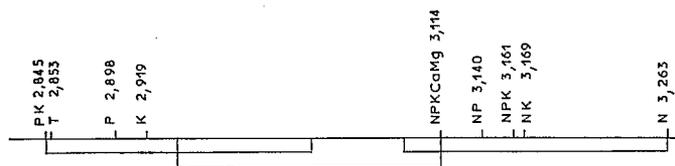
L'analyse statistique des teneurs en azote aux mois de mai 1959, 1960, 1961, 1962 et 1963 nous montre que :

1) Il existe des différences significatives entre les traitements.

On voit sur le graphique ci-après que les traitements se classent en deux groupes significativement différents les uns des autres à $P = 0,05$, d'une part les traitements sans azote, d'autre part les traitements avec azote.



Graphique IV. — Teneurs moyennes en azote des traitements N et T



à $P = 0,05$ la plus petite différence significative est 0,176.

Ce classement ressemble beaucoup à celui que nous avons trouvé pour les rendements de 1960, 1961, 1962 et 1963 qui se partageaient en quatre classes :

T - PK - P / K / NP - NPK - NPKCaMg - NK / N

2) Il n'y a aucune différence significative entre les blocs.

Les teneurs moyennes en azote des neuf parcelles au mois de mai, de 1959 à 1963, sont en effet de :

3,018	pour le bloc I
3,017	pour le bloc II
3,086	pour le bloc III

L'analyse des teneurs en azote au même moment, faite sur les années isolées, en montrait pourtant. Ces différences disparaissent en groupant les observations d'un certain nombre d'années.

3) L'effet des années est très significatif.

Les teneurs moyennes (en mai) de l'ensemble des vingt-sept parcelles varient en effet d'une année à l'autre :

1959	.....	2,907
1960	.....	2,988
1961	.....	2,836
1962	.....	3,365
1963	.....	3,106

Nous avons déjà constaté cet effet sur les rendements.

4) Il y a une très forte interaction années-blocs, c'est-à-dire que l'influence « climatique » propre à chaque année s'exerce différemment sur chacun des blocs. La même remarque avait été faite pour les rendements (voir première partie, répartition des pluies, et tableau 2 de cette seconde partie).

5) Il n'y a aucune interaction années - traitements.

Comme pour les rendements, quelle que soit l'année, les apports d'engrais azotés augmentent la teneur de la feuille en azote.

4° Comparaison avec les données de la bibliographie

1) Evolution saisonnière de l'azote foliaire en relation avec les pluies

Les travaux faits au Brésil, au Kenya, aux îles Hawaï, au Salvador et au Costa-Rica sur Arabica, en République Centrafricaine et en Côte d'Ivoire sur Robusta montrent que l'évolution des teneurs en azote au cours de l'année diffère d'un pays à l'autre.

Il est vrai que les conditions climatiques ne sont pas les mêmes :

— les précipitations annuelles sont de 1.000 à 1.250 mm au Kenya, de 1.200 à 1.600 au Brésil, voisines de 1.800 mm en République Centrafricaine, Côte d'Ivoire, Hawaï et Salvador, de 2.000 à 4.000 suivant les régions au Costa-Rica ;

— il n'y a qu'une saison des pluies, de septembre à avril, et une saison sèche, d'avril à juin, au Brésil.

— La petite saison sèche de juin-juillet-août est très peu marquée au Salvador, au Costa-Rica, aux Hawaï et à Daloa en Côte d'Ivoire ; il n'y a pratiquement qu'une saison des pluies de mars à novembre, le mois le plus arrosé étant juillet ou août au Salvador, septembre à Daloa, au Costa-Rica et aux Hawaï, comme en pays Bamoun.

— En République Centrafricaine, la petite saison sèche de juillet-août est assez marquée, ainsi qu'à Bingerville, Akandjé et Gagnoa en Côte d'Ivoire où d'avril à juillet se déroule la grande saison des pluies, et de septembre à novembre la petite.

— Dans tous ces pays la grande saison sèche commence en décembre et s'achève en mars.

— Le Kenya connaît deux saisons des pluies, la grande, d'avril à juin, la petite, de fin octobre à décembre, et deux saisons sèches, de juin à septembre et de janvier à avril.

Sauf au Brésil où les caféiers fleurissent en août-septembre et donnent des fruits mûrs à partir de mai, floraisons et récoltes dans les pays cités ci-dessus ont lieu, à un ou deux mois près, aux mêmes dates qu'en pays Bamoun.

La courbe représentative des teneurs en N des feuilles au cours de l'année peut avoir, comme dans notre étude, deux maxima et deux minima : il en est ainsi au Salvador (V 9-10), au Costa-Rica (V 20), aux Hawaï (V 6), en Côte d'Ivoire (V 21-22-24-26) ; ou un seul maximum et un seul minimum comme en République Centrafricaine (V 2), au Kenya (V 39), au Brésil (V 20-30).

Certains auteurs observent une très bonne concordance entre les chutes de pluie et les teneurs en azote des feuilles au cours de l'année

Ainsi au Salvador, sur cendres volcaniques (ESPINOZA V 9-10), c'est en août, en pleine saison des pluies, que les teneurs en azote sont les plus élevées, après avoir montré un léger fléchissement en juin-juillet ; elles diminuent insensiblement pendant la saison sèche jusqu'en février et remontent en mars-avril avec les pluies.

CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica, observe sur le même type de sol la grande influence de la pluviométrie sur les variations saisonnières d'azote : le minimum se manifeste en fin de saison sèche, le niveau remonte rapidement avec les pluies puis décroît avec elles.

BUSH (V 2) en République Centrafricaine montre que la courbe des variations saisonnières de l'azote suit de très près celle des pluies : les concentrations en cet élément augmentent de février à fin août et diminuent d'août à janvier.

LOUÉ (V 21-22-26) en Côte d'Ivoire, que ce soit à Bingerville, Akandjé, sur sols sableux, ou à Gagnoa, sur sols granito-gneissiques, obtient des courbes pour l'azote très semblables à celles des pluies. Le maximum le plus important se situe en juin pendant la grande saison des pluies, le deuxième, moins accusé, pendant la petite, en octobre.

Au Kenya, les travaux de ROBINSON (V 39) montrent que les teneurs en azote montent brusquement en avril quand commencent les pluies et atteignent leur maximum en mai-juin ; elles diminuent ensuite avec les pluies jusqu'au point minimum d'octobre. L'auteur n'indique pas si les niveaux se relèvent pendant la petite saison des pluies et diminuent à nouveau jusqu'en février-mars, pendant la saison sèche.

Les observations de WARDEN (V 41) au Tanganyika et de LOTT (V 20) au Brésil confirment l'influence de l'humidité du sol sur les teneurs en azote des feuilles. Le premier trouve 3,24 % d'azote sur échantillons prélevés sur sol sec et 3,64 % sur sol humide ; le deuxième, au moment de la floraison trouve 2,75 % d'azote dans les feuilles cueillies sur parcelles non irriguées et 3,28 % sur parcelles irriguées.

Pourtant la courbe des variations saisonnières de l'azote ne suit pas toujours exactement celle des pluies

A Daloa (Côte d'Ivoire), sur sols granito-gneissiques, LOUÉ (V 24) indique que le maximum d'azote se manifeste en juin ; les niveaux baissent en août-septembre, qui sont pourtant des mois très arrosés.

Au Brésil, sur sols marno-sableux (MEDCALF V 30), les teneurs en azote les plus élevées paraissent en novembre, au début de la saison des pluies ; elles baissent ensuite tandis que les précipitations augmentent et remontent pendant la récolte, en fin de saison des pluies, comme nous l'avons observé ici ; LOTT (V 20) obtient une courbe de variations saisonnières de l'azote à un seul minimum en mars, pendant la saison des pluies et un seul maximum en novembre.

La courbe obtenue par COOIL (V 6) aux Hawaï sur riches cendres volcaniques a un tracé très semblable à celui que nous avons indiqué nous-même, avec une montée des niveaux azotés dans les feuilles à partir de mars jusqu'à un maximum en mai-juin-juillet, une diminution d'août à octobre, une remontée en novembre-décembre et une chute de janvier à mars. La pluviométrie y est très semblable à celle du pays Bamoun, il n'y a donc pas non plus concordance entre l'évolution saisonnière des pluies et des teneurs en azote.

Sur certains types de sol, les deux phénomènes restent liés tout au long de l'année et les concentrations en azote des feuilles sont d'autant plus fortes que les chutes de pluies ont été à la date considérée plus importantes. Sur d'autres types de sol, ce n'est vrai qu'au début de la saison des pluies, les niveaux d'azote diminuent ensuite dans les feuilles, cet élément subissant dans le sol un lessivage intense (ROBINSON V 56) et les micro-organismes ralentissant probablement leur activité. PRÉVOT (III 20) sur arachide au Sénégal observe également que plus la pluviométrie est élevée, plus le contenu de la feuille en N (et en P) est bas. Il pense que cela résulte de deux facteurs : dilution des éléments dans le sol, dilution des éléments dans la feuille par suite d'une croissance accrue.

D'autre part, au Brésil, LOTT (V 20) insiste sur l'effet des premières pluies sur l'azote foliaire au moment des floraisons. Comme nous, il constate que les pluies des trois premiers mois qui les précèdent (juin, juillet, août) ont une grande influence sur les rendements et les concentrations en azote en octobre-novembre (maximum).

En 1954 où les pluies avaient été faibles pendant cette période, l'irrigation avait augmenté la production de 126 % par rapport au témoin et relevé le niveau d'azote en novembre de 2,75 (arbres témoins) à 3,28 % (arbres irrigués). En 1955 où les pluies ont été très suffisantes, l'irrigation n'a eu d'effet ni sur les rendements, ni sur les teneurs en azote à la date considérée.

2) Evolution saisonnière de l'azote foliaire en relation avec l'état de la végétation

ROBINSON (V 39) au Kenya fait remarquer que les teneurs en azote des feuilles sont sous la dépen-

dance des pluies, mais aussi de façon très importante de la récolte. Il signale la fixation de quantités importantes d'azote par les fruits en voie de croissance et observe que sur un arbre peu productif il n'y a pas de diminution marquée de teneurs en azote des feuilles pendant cette période. C'est bien ce que nous avons noté en 1961 où la récolte a été mauvaise : la différence entre les niveaux de mai et de septembre (voir tableau 3, 1^{er} maximum et 2^e minimum) a été beaucoup plus faible que les autres années. En 1958 cependant, où il y a eu très peu de production, les niveaux d'azote dans les feuilles ont beaucoup diminué de mai à octobre (voir graphique I).

ESPINOZA (V 10), au Salvador, signale que le fléchissement qu'accuse le niveau d'azote dans les feuilles en juin-juillet, malgré l'abondance des pluies, est dû aux gros besoins qu'a le caféier à ce moment-là pour sa croissance végétative et le développement de ses fruits. De même COOIL aux Hawaï (V 6) note que la période de diminution rapide du pourcentage d'azote dans les feuilles coïncide avec celle de la rapide accumulation de matière sèche et d'azote dans les fruits. MULLER (V 33) au Costa-Rica constate qu'une forte récolte diminue beaucoup les teneurs en N des feuilles. MEDCALF (V 30) au Brésil indique que les teneurs en N dans les feuilles diminuent quand les fruits grossissent. FORESTIER (V 12) en République Centrafricaine observe lui aussi sur Robusta une diminution du taux d'azote dans les feuilles au moment du grossissement des grains, qu'il explique par la mobilisation des réserves de la plante pour faire face aux besoins de la croissance et de la fructification.

En fait, si l'évolution des teneurs en azote montre des différences d'un pays à l'autre, deux phénomènes restent pourtant constants :

1) l'augmentation des niveaux d'azote dans les feuilles au début de la saison des pluies, lors de la reprise du développement végétatif ;

2) la diminution de ces niveaux pendant la période de grossissement des fruits, la croissance de ces organes mobilisant beaucoup d'azote. Cette diminution est observée partout et, suivant la répartition des pluies, coïncide soit avec une petite saison sèche, soit avec le milieu de la grande saison des pluies (V 6-10-30-39).

Il semble donc que pendant cette période la concentration en azote des feuilles soit beaucoup plus influencée par le facteur interne (développement des fruits) que par le facteur externe (humidité du sol).

3) Niveau de l'azote foliaire. Influence des traitements

Les teneurs en N à une époque donnée varient d'un pays à l'autre. Au Salvador (V 9-10), aux

Hawaï (V 6), elles sont très voisines de celles que nous avons trouvées, 3,05 % pour le maximum, 2,55 % pour le minimum. De même en Colombie (V 35) et à Porto-Rico (V 1), les teneurs moyennes des parcelles en fin de récolte sont de 2,50 %. Elles varient au Costa-Rica (V 3-V 5) de 2 à 3 %. Elles sont plus élevées au Brésil (V 20-30) avec des valeurs de 2,5 à 3 % au minimum et de 4 % au maximum. Au Kenya (V 39), elles sont plus faibles, la pluviométrie est aussi moins importante, 1,5 % en octobre (minimum), 2,75 % en mai (maximum). Au Kivu (V 15), elles vont de 2,40 % (minimum) à 3,58 % (maximum).

Sur Robusta, les valeurs sont généralement plus faibles que celles que nous avons trouvées. En République Centrafricaine (V 2), 2,41 % en août (maximum), 2,0 % en décembre (minimum). En Côte d'Ivoire, à Bingerville et Daloa (V 24), 2,15 % en mars, 2,77 % en juin.

C'est seulement à Gagnoa sur sols granito-gneissiques que LOUÉ (V 26) trouve des teneurs en azote voisines des nôtres : 3,32 % en mai (maximum), 2,41 % en décembre (minimum). Au Congo, CULOT (V 7-8) et FRANKART (V 13) ont des concentrations de 2,25 à 2,40 % pour le minimum et de 3,40 à 3,50 % pour le maximum.

Ces chiffres varient d'ailleurs d'une année à l'autre comme nous l'avons signalé pour nos propres observations.

LOUÉ (V 26) a fait à Akandjé en Côte d'Ivoire sur sables tertiaires des analyses mensuelles de feuilles pendant cinq ans. Les valeurs moyennes maximales des teneurs en azote qui se manifestent en juin-juillet sont de :

2,75 %	en 1950
2,55 %	en 1951
3,00 %	en 1952
2,30 %	en 1953
2,70 %	en 1954
2,35 %	en 1955

Beaucoup d'auteurs constatent comme nous que l'apport d'engrais azotés augmente les teneurs des feuilles en N.

Ainsi à Porto-Rico au moment de la récolte, ABRUNA (IV 9) trouve 2 % d'azote dans les feuilles des parcelles témoins, 2,8 % dans celles qui ont reçu 170 kg d'azote à l'ha et 3 % dans celles qui en ont reçu 340. Au Brésil, MALAVOLTA (V 29) a en moyenne 2,13 % d'azote dans les feuilles venant des parcelles à fumure uniquement potassique, 2,28 % dans celles qui ne reçoivent pas d'azote, contre 2,79 % et 2,91 % dans les autres (ce dernier chiffre s'appliquant aux parcelles qui ne reçoivent que de l'engrais azoté). Le même auteur (IV 39) par pulvé-

risation d'urée sur les feuilles augmente la concentration en N de 2,38 à 3,42 %.

Au Salvador, ESPINOZA (V 10), bien qu'elle n'obtienne pas de différences significatives entre les rendements des parcelles recevant ou non des engrais azotés, constate comme nous que les teneurs en N foliaire sont significativement plus élevées en mai et en décembre, dans les parcelles à fumure azotée.

Au contraire BUSH, en République Centrafricaine, (V 2) sur Robusta, estime que les teneurs en N des feuilles ne sont guère influencées par les apports d'engrais azotés puisqu'il constate une différence de 9 % seulement entre les teneurs les plus basses et les plus hautes. Il utilise, il est vrai, de faibles doses d'engrais (10 à 30 unités d'azote par pied et par an).

Or HUERTA (V 14) en Colombie trouve qu'il n'y a augmentation du niveau d'azote dans les feuilles qu'avec d'assez fortes doses : 300 g par pied et par an de sulfate d'ammoniaque. Au Costa-Rica, CARVALJAL (V 3) ne constate aucune corrélation entre les doses d'engrais appliquées au sol et la concentration en N dans les différentes paires de feuilles qu'il étudie.

5° Conséquences pratiques

1) Nous pouvons fixer les dates auxquelles le caféier a besoin d'engrais azotés dans les conditions écologiques du pays Bamoun.

Il a besoin d'azote avant la brusque montée des teneurs azotées qui se produit à partir de mars. Il faut donc lui en fournir dès le début de mars, aux toutes premières pluies et même avant si elles tardent à venir, puisque c'est à ce moment-là que se produit le changement de direction de la courbe.

Nous conseillons de fractionner cet épandage en deux :

- premier apport au début de mars ;
- deuxième apport au début d'avril, quatre à six semaines après, afin que l'arbre ait assez d'azote à sa disposition tant que les niveaux continuent à monter dans la feuille.

Il semble inutile d'en apporter comme c'était l'habitude en juillet-août, les teneurs en azote décroissant à ce moment-là dans les feuilles. Nous verrons de plus dans la troisième partie de cette étude qu'il n'y a aucune corrélation entre rendements et concentrations foliaires en cet élément, de juillet à octobre.

Le caféier a besoin d'azote à nouveau à partir d'octobre, les niveaux d'azote dans les feuilles remontant à cette époque jusqu'en décembre-janvier. Nous conseillons encore de fractionner l'épandage :

- premier épandage au début d'octobre ;
- deuxième épandage au début de novembre.

Il est fréquent de voir dans les plantations les feuilles jaunir et même tomber en janvier, février. Des analyses de feuilles faites dans la plantation SAN (où est implanté le bloc II) en décembre 1960 ont montré que les feuilles jaunes contenaient à ce moment-là 1,61 % d'azote et les feuilles vertes prélevées dans les mêmes conditions sur des arbres voisins, 2,16 %. Ce chiffre est bas comparé à la moyenne des teneurs en azote de nos parcelles d'essai qui était alors de 2,79 % pour celles qui avaient reçu en octobre et novembre de l'engrais azoté.

2) Le but de cet essai étant d'établir les bases du diagnostic foliaire pour guider la fertilisation du caféier, cette étude doit permettre de choisir la date la plus opportune pour faire les prélèvements de feuilles.

Pour guider la fertilisation azotée, il semble que le début du mois d'avril et le début du mois de mai soient les époques les plus intéressantes, puisqu'il apparaît de façon constante à ce moment-là des différences significatives entre les teneurs en azote des feuilles prises sur les parcelles diversement fumées.

L'étude des corrélations entre rendements et teneurs en azote nous permettra de voir s'il convient de les retenir.

B. — ÉTUDE DES TENEURS EN PHOSPHORE

1° Variations saisonnières en relation avec le cycle végétatif et le régime des pluies

Il est beaucoup moins aisé que dans le cas de l'azote de définir un cycle annuel de variations des teneurs des feuilles en phosphore.

En effet, les courbes représentatives annuelles, où les concentrations en P, en g % de matière sèche, sont portées en abscisses et le temps en ordonnées, diffèrent assez sensiblement comme on peut le voir sur le graphique V p. 36 et il est assez difficile de retrouver d'une année à l'autre des tendances communes.

On peut pourtant dégager quelques grandes lignes générales :

- nous avons dans l'année un seul minimum qui se produit entre avril et septembre et un seul maxi-

mum qui se manifeste en novembre, décembre ou janvier ;

— les teneurs en P diminuent pendant la saison sèche et au tout début de la saison des pluies, environ de décembre à avril, jusqu'au moment de la nouaison des fruits ;

— elles restent alors assez basses et presque constantes jusqu'en septembre, c'est-à-dire pendant la saison des pluies, tandis que grossissent les fruits formés ;

— elles remontent de septembre à décembre-janvier, pendant la récolte, alors que les pluies diminuent, et ont à ce moment-là les valeurs les plus hautes.

On trouve une moyenne de 0,164 % pour le minimum (calculé sur six ans) et de 0,213 % pour le maximum (calculé sur cinq ans), soit un écart de 30 %, c'est-à-dire une fluctuation du même ordre de grandeur que celui qu'on trouve pour l'azote (voir tableau 4).

La valeur la plus basse a été de 0,111 % (parcelle K du bloc I en août 1957 et parcelle N du bloc I en août 1958) et la plus haute de 0,357 % (parcelle P du bloc I en janvier 1960).

Le graphique VI montre, comme pour l'azote, que la courbe des teneurs moyennes en phosphore (en trait plein) et celle des pluies (en grisé) ne coïncident pas. Mais les teneurs en P des feuilles au mois d'avril sont fortement reliées à la pluviométrie des mois de janvier, février et mars, $r = 0,76$.

Nous ne trouvons pas non plus de similitude entre les variations saisonnières du phosphore et de l'azote, sauf à deux périodes, allant de mai 1957 à avril 1958 et de novembre 1961 à mai 1962, où les courbes représentatives ont une allure très voisine.

2° Variations annuelles des courbes

Nous avons déjà signalé qu'il existe d'une année à l'autre des différences importantes.

Ainsi, en 1957, les teneurs en P diminuent de mai à juillet, où elles sont minima, et montent régulièrement jusqu'au maximum de janvier. C'est une année de bonne production et de fortes pluies (1.952 mm) sans petite saison sèche, où les précipitations ont été abondantes dès le mois de mai.

Graphique V. — Variations annuelles des teneurs en phosphore

F = floraison, R = début de récolte, r = fin de récolte

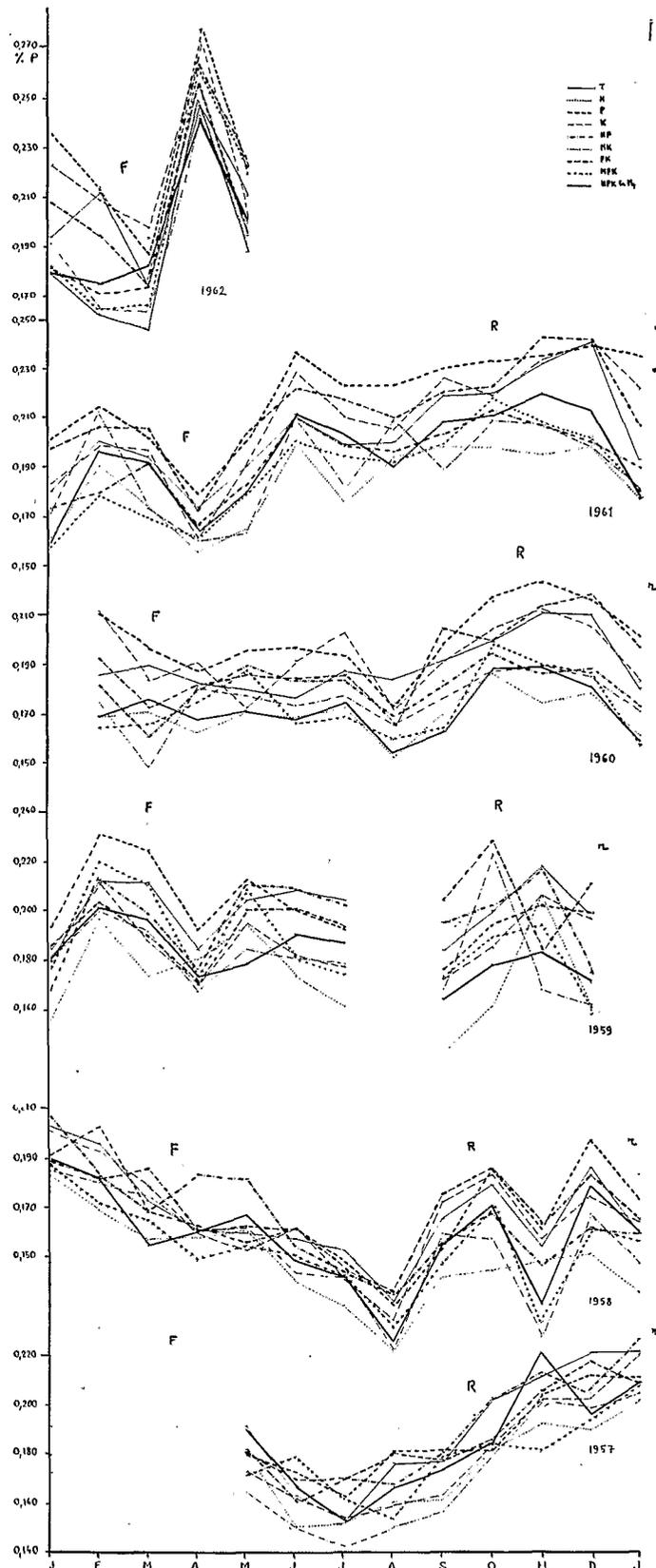
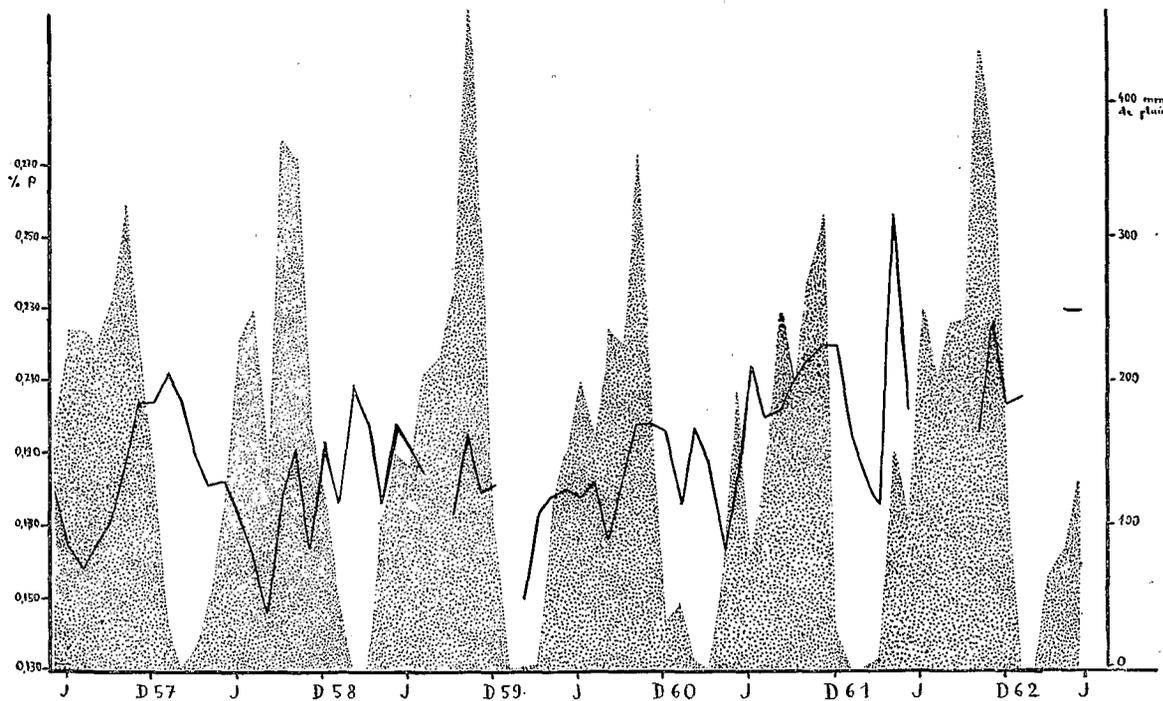


TABLEAU 4

Teneurs mensuelles moyennes en phosphore

Années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957	—	—	—	—	0,179	0,164	<i>0,158</i>	0,165	0,172	0,187	0,204	0,204
1958	0,212	0,204	0,189	0,181	0,182	0,173	0,162	<i>0,146</i>	0,178	0,191	0,164	0,193
1959	0,177	0,209	0,198	0,176	0,198	0,191	0,185	—	<i>0,173</i>	0,195	0,179	0,181
1960	—	0,150	0,173	0,178	0,180	0,178	0,182	<i>0,166</i>	0,183	0,198	0,198	0,196
1961	0,176	0,197	0,188	<i>0,166</i>	0,183	0,214	0,200	0,202	0,210	0,216	0,220	0,220
1962	0,196	0,184	<i>0,176</i>	0,256	0,203	—	—	—	—	0,196	0,226	0,204
1963	0,206	—	—	0,230	0,230	—	—	—	—	—	—	—
Moyennes	0,193	0,189	0,185	0,198	0,193	0,184	0,177	0,170	0,183	0,197	0,198	0,200

moyenne des minima (6 chiffres) 0,164 % en gras = maxima
 moyenne des maxima (5 chiffres) 0,213 % en italique = minima
 moyenne générale (65 chiffres) 0,174 %



Graphique VI. — Hauteurs des pluies et teneurs moyennes en phosphore
 — teneurs en P :::: pluies en mm

Les teneurs en P diminuent régulièrement en 1958 de janvier à août, point minimum, pour monter assez brusquement en septembre et octobre, diminuer de façon très nette en novembre, remonter en décembre et décroître à nouveau en janvier. Elles ont été nettement plus basses que les autres années (entre 0,110 et 0,190 %). La récolte a été particulièrement faible. Les trois premiers mois de l'année ont été secs, la petite saison sèche assez marquée en juillet, la pluviométrie totale annuelle plutôt élevée (1.820 mm).

En 1959 et 1961, les teneurs en P montent de janvier à février, diminuent jusqu'en avril où elles sont minima, remontent légèrement en mai-juin, se maintiennent au même niveau jusqu'en novembre et décroissent ensuite.

Ce sont deux années de récolte médiocre, où la pluviométrie totale a été respectivement de 1.919 et 1.540 mm, avec en 1959 un léger fléchissement des pluies en mai, en 1961 une nette diminution en mai et en août. Les teneurs en P de juin à décembre 1961 sont plus élevées que les autres années, entre 0,190 et 0,230 %.

La courbe de variations des teneurs foliaires en P de 1960 ressemble à celles de 1959 et 1961. Mais cette année-là, le minimum se produit en août, comme en 1958. La récolte a été très moyenne, la pluviométrie normale (1.693 mm) avec une petite saison sèche légèrement marquée.

En 1962, les courbes des teneurs en P de janvier à mai ont une allure très particulière qui n'a jamais été observée les années précédentes, avec une chute marquée de janvier à mars, brusque montée en avril où les teneurs sont très élevées (entre 0,240 et 0,290 %) et à nouveau chute brusque en mai.

C'est une année de bonne récolte, avec 1.957 mm de pluies annuelles totales. Les trois premiers mois ont été particulièrement pluvieux : 160,2 mm, alors que la moyenne des six autres années est pour la même période de 106,2 mm.

3° Influence des traitements sur les teneurs des feuilles en phosphore

L'analyse statistique des teneurs mensuelles en P a montré que des différences significatives se manifestaient entre les traitements, en particulier :

- en janvier 1961-1962-1963,
- en mai 1961-1962-1963,
- en décembre sans exception de 1957 à 1962.

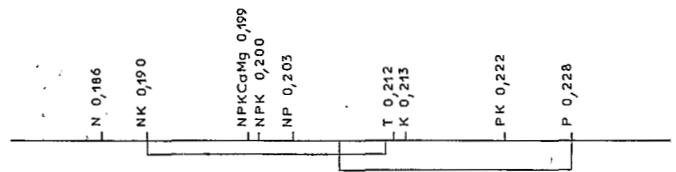
Comme pour l'azote, les différences significatives apparaissent quand les teneurs en phosphore sont

élevées (décembre-janvier) et non quand elles sont basses (avril ou août).

Il est intéressant d'enregistrer des différences significatives en mai, date à laquelle les teneurs en P ne sont pas particulièrement élevées, puisque cette époque est susceptible d'être retenue pour l'étude de la nutrition azotée.

Pour les trois années groupées, 1961-1962-1963, l'analyse statistique montre qu'au mois de mai :

1) Il existe des différences significatives entre les traitements à $P = 0,05$: la plus petite différence significative est égale à 0,021.



Les feuilles les plus riches en P proviennent des parcelles qui ne reçoivent pas d'engrais azoté, les moins riches, de celles qui en reçoivent. N et NK contiennent significativement moins de P que tous les traitements sans N et ne diffèrent pas des autres traitements azotés. P est significativement plus riche en P que les traitements azotés et ne diffère pas des autres traitements sans N.

2) Le bloc III est significativement plus riche en P que les deux autres, la teneur moyenne des blocs étant en mai 1961-1962-1963 de :

- 0,194 pour le bloc I
- 0,197 pour le bloc II
- 0,227 pour le bloc III

Or, les analyses pédologiques rapportées dans le tableau 2 de la première partie de cette étude indiquent que le bloc III ne contient que des traces de P_2O_5 assimilable et est moins riche que le bloc II en P_2O_5 total.

3) Il existe des différences fortement significatives entre les moyennes générales annuelles des vingt-sept parcelles, qui sont de :

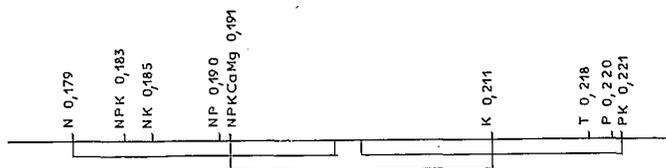
- 0,185 % de P en 1961
- 0,203 % de P en 1962
- 0,230 % de P en 1963

Dans les trois blocs, les teneurs en P augmentent de 1961 à 1963.

4) Les traitements ont toujours la même action sur les teneurs en P quelle que soit l'année : il n'y a aucune interaction année \times traitement.

C'est en fin de récolte que se manifestent le plus régulièrement les différences significatives entre les traitements et l'analyse des teneurs en P en décembre, de 1957 à 1962, montre que :

1) Il existe entre les traitements des différences significatives ; à $P = 0,05$ la plus petite différence significative = 0,020.



Comme au mois de mai, les traitements sans N sont significativement plus riches en P foliaire que les traitements avec N. Ils se groupent, comme le montre le graphique, en deux classes séparées, puisque tous les traitements sans N sont significativement plus riches en P que tous les traitements avec N. Aucune différence n'apparaît entre les traitements d'une même classe.

2) Contrairement à ce qui s'était produit en mai, il n'y a aucune différence significative entre les blocs, et les moyennes générales sont de :

0,206 % de P pour le bloc I
 0,197 % de P pour le bloc II
 0,196 % de P pour le bloc III

3) On retrouve une influence très marquée des années qui ne s'exerce pas de la même façon sur les trois blocs : l'interaction année-bloc est fortement significative.

4) Comme au mois de mai, il n'y a aucune interaction traitement \times année.

Ainsi comme pour les rendements et les teneurs en N au mois de mai, nous trouvons :

1) Une action significative des traitements sur les teneurs en P des feuilles, cette action s'exerçant toujours de la même manière quelle que soit l'année.

2) Une forte influence de l'année, chaque bloc réagissant de façon particulière aux facteurs climatiques caractéristiques d'une année donnée.

On trouve de façon constante, en étudiant les rendements et les teneurs mensuelles des feuilles en azote, des différences significatives entre les blocs.

Elles n'apparaissent qu'occasionnellement, en mai par exemple, pour les teneurs en phosphore.

Il est remarquable que ce qui influence le plus fortement les teneurs des feuilles en P soit non pas l'apport d'engrais phosphatés, mais celui d'engrais azotés. P et PK sont en effet plus riches en phosphore que N et NK, mais ils le sont aussi plus que NP-NPK et NPKCaMg et ne le sont pas plus que T et K (voir graphique VII, p. 40, où sont représentées en fonction du temps les teneurs en P foliaire des parcelles P et N).

Au mois d'avril cependant, où il ne se manifeste entre les traitements aucune différence significative, les teneurs en azote et les teneurs en phosphore des feuilles sont fortement reliées les unes aux autres de façon positive, $r = 0,86$.

4° Comparaisons avec les données de la bibliographie

1) Variations saisonnières du phosphore

Beaucoup d'auteurs ont observé qu'elles suivent de très près celles de l'azote et des pluies : ainsi sur Robusta, BUSH (V 2) en République Centrafricaine, LOUÉ (V 24-26) en Côte d'Ivoire. Sur Arabica, ROBINSON (V 39) au Kenya signale que les courbes du phosphore et de l'azote foliaires sont très semblables. Au contraire, ESPINOZA (V 10) au Salvador trouve une forte corrélation négative entre les teneurs en N et P de juin à décembre et estime que les concentrations en P sont beaucoup plus influencées par les concentrations en N que par la pluviométrie. BUCHMANN (III 2) sur olivier en Tunisie signale l'existence d'une corrélation générale N-P.

La plupart de ces auteurs observent pendant la saison sèche des niveaux bas : BUSH (V 2), LOUÉ (V 21-26), ESPINOZA (V 9), MEDCALF (V 30).

Mais les variations saisonnières des teneurs des feuilles en phosphore sont différentes d'un pays à l'autre. C'est ainsi que pour COOIL (V 6) aux Hawaï, le phosphore reste constant pendant la période de dormance végétative ; pour ROBINSON (V 39) au Kenya les teneurs minima en P se manifestent pendant les derniers stades de maturation et de récolte, alors que nous avons pendant ce même temps des niveaux de P assez élevés.

MEDCALF (V 30) enregistre le minimum en décembre, mois qui correspond au Brésil au cœur de la saison des pluies et à l'époque où les grains grossissent. Au contraire BUSH (V 2) observe fin juillet (période de grossissement des grains, petite saison sèche) un maximum très prononcé. Il se produit

de P et 0,110 % en septembre ; CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica rapporte que dans 82 % des cas les concentrations en P sont comprises entre 0,1 et 0,2 % et signale des extrêmes de 0,04 et 0,56 %. Il donne comme moyenne de janvier 0,15 %, d'avril 0,11, de juillet 0,24, d'octobre 0,14. A Porto-Rico, ABRUNA (IV 9) trouve en fin de récolte 0,150 à 0,190 % de P, chiffres comparables aux nôtres, ESPINOZA (V 10) au Salvador, 0,126 à 0,142 % en mars.

Au Brésil, les teneurs moyennes des feuilles en P, rapportées par LOTT (V 19) et LAINS E SILVA (V 16), sont aussi plus basses que les nôtres, 0,130 % en été, 0,126 % en automne, 0,160 % au printemps avec des extrêmes allant de 0,090 à 0,242 % (V 19) et une moyenne générale de 0,116 % (V 16) alors que la nôtre est de 0,174 % (voir tableau 4).

BUSH (V 2) fait remarquer que les teneurs en P varient plus largement que les teneurs en N puisqu'il a pour les premières 50 % d'écart entre les moyennes des minima et des maxima et 20 % pour les secondes. C'est aussi ce que note LOUÉ (V 22) : de 1950 à 1952, il enregistre des variations de 50 % pour les teneurs en N et de 100 % pour les valeurs de P. Dans nos essais, nous trouvons 35 % d'écart entre les moyennes des minima et des maxima pour l'azote et 30 % pour le phosphore, mais entre les valeurs extrêmes il y a 165 % d'écart pour l'azote et 220 % pour le phosphore.

3) Influence des traitements sur les teneurs en phosphore

On constate presque partout qu'un apport d'engrais phosphaté augmente le niveau du phosphore dans les feuilles.

Ainsi, sur Robusta, BUSH (V 2) en République Centrafricaine note toute l'année — sauf en janvier, et tout particulièrement d'octobre à décembre et de mai à juillet — que les teneurs en P des feuilles provenant de parcelles à fumure phosphatée sont significativement plus élevées que les autres. Les différences n'excèdent pas cependant 13,5 % (30 % dans nos essais). FORESTIER (VI 2) dans le même pays trouve en juin des teneurs de 0,147 % dans les feuilles d'arbres recevant 30 à 50 g de phosphate bicalcique par an, contre 0,121 dans les témoins. LOUÉ (V 22), en Côte d'Ivoire, obtient des chiffres de 0,089 à 0,128 % pour ces derniers, de 0,100 à 0,140 % dans les parcelles NPK. Les feuilles des parcelles P en contiennent 30 % de plus que les témoins, NP et NPK, 15 à 20 %.

Sur Arabica, COOIL (IV 16) aux Hawaï, ESPINOZA (V 10) au Salvador font des observations semblables. Au Brésil, MEDCALF (V 30) constate qu'en janvier

les niveaux sont de 0,132 % dans les parcelles à fumure phosphatée et de 0,083 dans les autres. Avant la récolte, MALAVOLTA (V 29) trouve une moyenne de 0,155 % de phosphore foliaire dans les premières et de 0,125 % dans les secondes. De même URHAN (V 40) en Colombie signale que dans les parcelles traitées à la poudre d'os les rendements sont plus élevés et que les feuilles contiennent 0,14 % de P en décembre 1952 contre 0,10 % dans les témoins. En Colombie également, PARRA (V 35) montre que si la poudre d'os appliquée au sol augmente en fin de récolte les teneurs en P des feuilles dans les mêmes proportions (0,10 % pour les témoins, 0,14 % pour les parcelles traitées), elle diminue la production de 17 %. HUERTA (V 14) dans le même pays trouve 0,104 % de P en septembre 1960, 0,108 % en avril 1961, 0,119 % en septembre 1961 sur feuilles venant de parcelles traitées au phosphate bicalcique et 0,097, 0,101 et 0,110 % sur les témoins.

Par contre, CULOT (V 8) au Kivu rapporte que des applications d'engrais phosphatés n'ont pas augmenté les teneurs en P des feuilles. Il s'agit de plantations où en fin de saison sèche il y a 0,170 % de P dans les feuilles, ce qui est pour l'auteur un bon niveau. Nous avons ici pour la même saison des chiffres plus élevés (0,185 % en mars) et cependant l'apport de P (sans N) augmente le niveau de cet élément dans la feuille.

Le paillage a un effet analogue. Au Brésil (LOTT V 20-MEDCALF IV 40), les niveaux de P dans les feuilles sont en mai 1956 de 0,147 % dans les parcelles paillées et de 0,095 dans celles qui ne le sont pas. Au Kenya, ROBINSON (IV 56) donne pour les premières 0,109 % et pour les secondes 0,157 % (moyennes d'avril à décembre).

Le niveau du phosphore augmente aussi avec l'humidité : au Tanganyika, WARDEN (V 41) a enregistré des teneurs foliaires de 0,069 % de P en saison sèche sur le sol sec et de 0,089 % sur le sol humide ; FORESTIER (V 12) sur Robusta en République Centrafricaine a des concentrations de 0,117 % avec irrigation et de 0,106 % sans irrigation.

Beaucoup d'auteurs insistent sur l'influence des engrais autres que phosphatés sur les teneurs en P des feuilles. Si en Côte d'Ivoire les engrais potassiques ont tendance à faire baisser le niveau du phosphore foliaire, LOUÉ (V 26) signale que les parcelles recevant des engrais azotés ont des teneurs en P supérieures à celles des parcelles témoins. De même, FRANKART (V 13), toujours sur Robusta, au Congo, rapporte qu'une diminution des teneurs des feuilles en P s'accompagne d'une diminution des teneurs en N.

Au contraire, CULOT (V 8) au Kivu, sur Arabica, constate que des applications d'engrais azotés ont un effet dépressif sur les teneurs en P des feuilles.

C'est également ce qu'a observé ESPINOZA (V 10) au Salvador : les témoins ont une teneur moyenne de 0,147 % de P en décembre 1961 tandis que les feuilles prises dans les parcelles à fumure azotée n'en contiennent que 0,135 %. Elle constate que si l'apport d'engrais phosphatés au sol a une influence sur la teneur en P des feuilles, celui d'engrais azotés ou potassiques en exerce une beaucoup plus grande.

Sur arachide, PRÉVOT (III 19) signale que la fumure phosphatée n'augmente pas le niveau du phosphore dans les feuilles, tandis que les fumures azotées et potassiques le font diminuer.

FORESTIER (V 12), travaillant sur Robusta en solution nutritive, obtient les plus fortes teneurs en P foliaire (0,330 %) en solution sans azote, la plus pauvre (0,150 %) étant la solution sans fer ; la solution complète en contient 0,165 % (il n'est pas fait mention dans cet essai de solution sans P).

5° Conséquences pratiques

1) Date d'épandage des engrais phosphatés

Il semble d'après nos essais (voir première partie, réponse des caféiers aux traitements fertilisants) qu'il ne soit pas utile de faire des apports réguliers d'engrais phosphatés. Ils n'ont provoqué en effet aucune augmentation de production et, comme nous venons de l'exposer, les teneurs en P que nous trouvons dans nos échantillons de feuilles tout au long des cinq années étudiées, tant dans les parcelles avec P que dans les parcelles sans P, sont élevées par rapport aux niveaux trouvés un peu partout dans le monde. Il ne semble donc pas qu'un manque de phosphore soit à craindre.

Ceci dit, un apport d'engrais phosphaté doit se faire avant que les niveaux de P dans les feuilles ne remontent. L'examen des courbes du graphique V montre que ce mouvement s'amorce le plus souvent au mois d'août. Un épandage au début de juillet serait donc rationnel. Mais en 1959-1961 et 1962 il s'est produit plus tôt ; aussi est-il possible, pour des raisons de commodité, d'épandre l'engrais phosphaté en une seule fois en mars ou en avril, lors du premier épandage d'azote.

2) Dates de prélèvement des feuilles

Deux périodes paraissent favorables à l'étude des besoins en phosphore par l'analyse foliaire : le mois de décembre et le mois de mai, où les teneurs en P des feuilles présentent entre traitements des différences significatives. Rappelons qu'il en est de même pour l'azote.

L'étude des corrélations entre rendements et teneurs en N et en P nous permettra de choisir la date la plus convenable.

C. — ÉTUDE DES TENEURS EN POTASSIUM

1° Variations saisonnières en relation avec le cycle végétatif et le régime des pluies

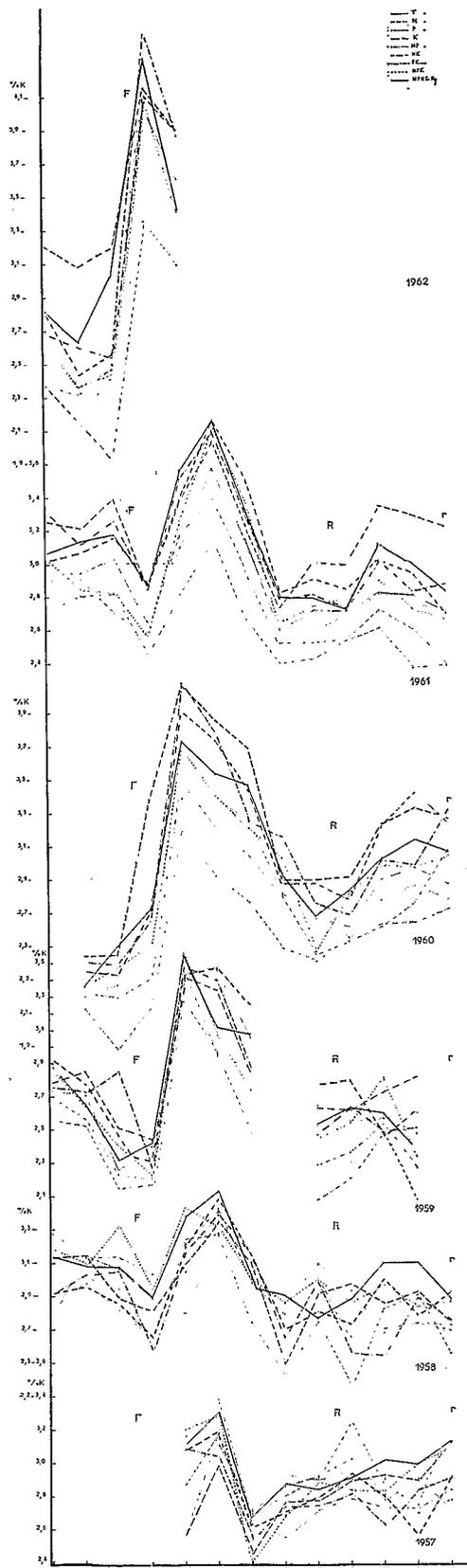
Le graphique VIII (page suivante), qui porte en abscisses le temps et en ordonnées les concentrations en K exprimées en grammes pour cent de matière sèche, montre qu'on retrouve pour cet élément, comme pour l'azote (voir graphique I), un dessin régulier qui se reproduit d'année en année.

En fin de récolte, pendant la saison sèche, les teneurs en K dans les feuilles étudiées diminuent progressivement jusqu'en mars-avril, c'est-à-dire jusqu'aux premières pluies. Elles sont alors à leur minimum. En avril, après les floraisons, elles s'élèvent brusquement et atteignent leur maximum en mai-juin, période où les fruits sont formés. Elles diminuent ensuite très fortement jusqu'en août, présentant alors à peu près les mêmes valeurs qu'en mars-avril. Elles restent basses jusqu'en octobre, pendant la période de grossissement des fruits et le début de la grande saison des pluies. Puis en octobre, quand les fruits formés ont fini de grossir et mûrissent, elles remontent de façon plus ou moins accusée jusqu'en novembre-décembre, pendant la récolte, sans atteindre toutefois les valeurs de mai-juin.

Ainsi les variations saisonnières du potassium, comme celles de l'azote, sont représentées par une courbe à deux maxima et deux minima.

Les teneurs moyennes mensuelles de l'ensemble des parcelles étudiées sont de 2,530 % au moment du premier minimum (mars-avril) et de 3,660 % au moment du premier maximum (mai-juin, voir tableau 5 p. 44), ce qui fait une variation de 42 %, donc plus forte que pour N (35 %) et P (30 %). La valeur la plus basse est 1,710 % (parcelle N du bloc I en avril 1960), la plus haute 5,340 % (parcelle K du même bloc en avril 1962), ce qui représente une variation de 212 % (165 % pour N, 222 % pour P).

Le graphique IX, où les teneurs moyennes en K des vingt-sept parcelles étudiées sont figurées en trait plein et les pluies en grisé, montre que les deux courbes n'ont pas la même allure. Si les concentrations des feuilles en K augmentent brusquement au début de la saison des pluies, elles baissent pendant les mois très pluvieux de septembre et octobre pour remonter pendant la saison sèche.



Graphique VIII. — Variations annuelles des teneurs en potassium

F = floraison, R = début de récolte, r = fin de récolte

2° Variations des teneurs en potassium d'une année à l'autre

Pour le potassium, comme pour l'azote, les courbes annuelles portées sur le graphique VIII présentent entre elles quelques différences, mais leur allure générale reste la même.

Ainsi en 1960 et 1961, années où les récoltes furent assez faibles et la pluviométrie assez basse, la remontée des niveaux de K en novembre-décembre fut plus accusée que les autres années.

Les feuilles sont riches en K en mai et juin : le maximum se produit en juin 1957-1958-1961, en mai 1959 et 1960, exceptionnellement en avril 1962, année où les pluies furent très fortes en janvier-février-mars (nous avons signalé le même phénomène en étudiant l'azote et le phosphore).

Les différences entre minima et maxima sont très accentuées en 1962 et 1960, beaucoup moins en 1961 et 1959, peu en 1958 et 1957.

Nous avons signalé une corrélation positive assez forte entre les teneurs en N en avril et les pluies en janvier-février-mars : $r = + 0,82$; entre les teneurs en P en avril et les pluies de ces trois premiers mois : $r = + 0,76$. De même entre les teneurs en K en avril et les pluies des trois premiers mois de l'année existe une forte corrélation positive : $r = + 0,80$.

3° Comparaison avec les variations annuelles de l'azote et du phosphore

Les courbes des variations saisonnières de N et de K se ressemblent beaucoup (comparer les graphiques I et VIII) ; elles présentent les unes et les autres deux minima et deux maxima.

Le premier maximum, qui est le plus accusé, se produit généralement pour le potassium un mois après celui de l'azote.

	max. N	max. K
1957	mai	juin
1958	mai et juin	mai et juin
1959	avril et mai	mai et juin
1960	avril et mai	mai
1961	mai	mai et juin

Le deuxième, beaucoup moins marqué, se produit pour les deux éléments en novembre et décembre.

De janvier à mai 1962, les variations saisonnières de N, P et K ont exactement la même allure.

Il existe au mois d'avril une assez forte corrélation positive entre les concentrations en N et en K ($r = 0,67$), et entre les concentrations en P et en K ($r = 0,75$).

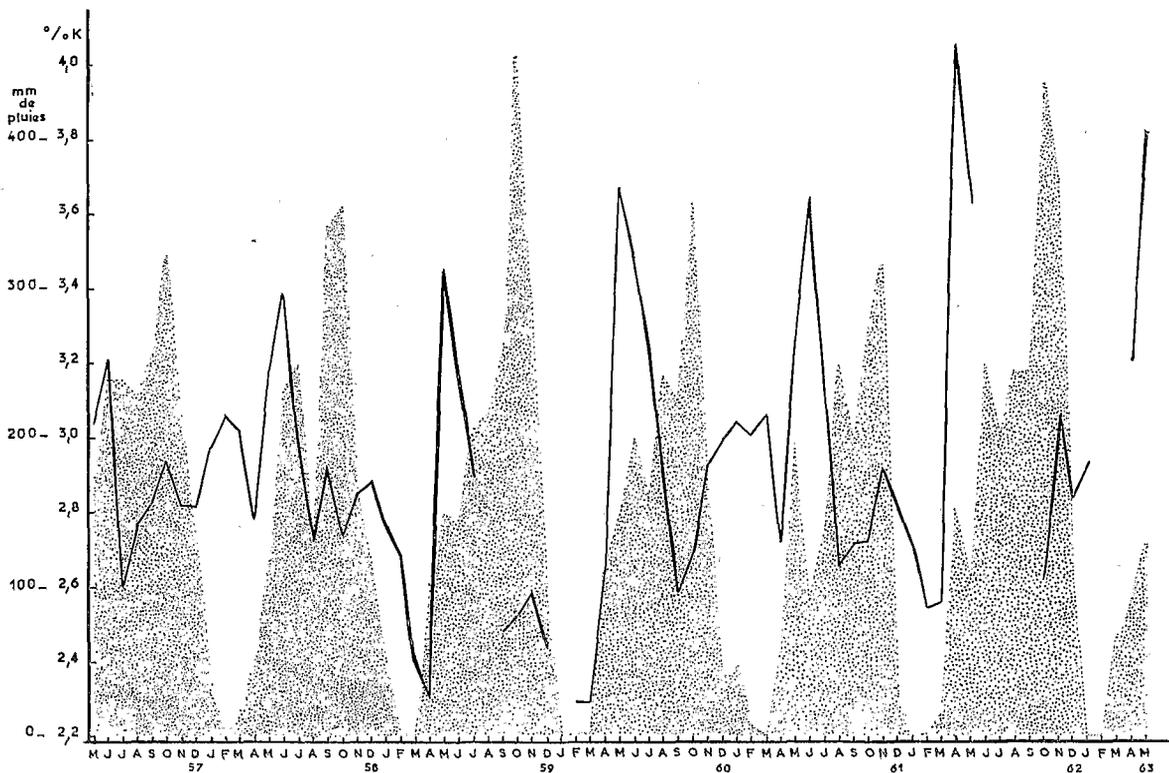
TABLEAU 5

Teneurs mensuelles moyennes en potassium

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957	—	—	—	—	3,038	3,206	2,604	2,770	2,830	2,936	2,818	2,814
1958	2,973	3,066	3,019	<i>2,785</i>	3,173	8,382	3,015	2,727	2,923	2,740	2,850	2,880
1959	2,766	2,688	2,414	<i>2,310</i>	3,438	3,190	2,900	—	2,483	2,531	2,584	2,448
1960	—	2,296	<i>2,296</i>	2,650	3,669	3,481	3,245	2,869	2,582	2,693	2,929	2,999
1961	3,044	3,007	3,064	<i>2,724</i>	3,259	3,639	3,164	2,656	2,715	2,718	2,917	2,802
1962	2,703	<i>2,544</i>	2,559	4,050	3,631	—	—	—	—	2,620	3,052	2,843
1963	2,931	—	—	3,210	3,815	—	—	—	—	—	—	—
Moyennes	2,883	2,720	2,670	2,955	3,432	3,380	2,986	2,755	2,707	2,706	2,858	2,798

moyenne des 1^{ers} minima (5 chiffres) 2,530
moyenne des 1^{ers} maxima (7 chiffres) 3,600
moyenne générale (65 chiffres) 2,918

en gras : maxima
en italiques : minima



Graphique IX. — Hauteurs des pluies et teneurs moyennes en potassium

— teneurs en K, ::: pluies en mm

4° Influence des traitements sur les teneurs en potassium

Pour les teneurs en K, nous retrouvons, comme pour N et P, des différences significatives entre les traitements :

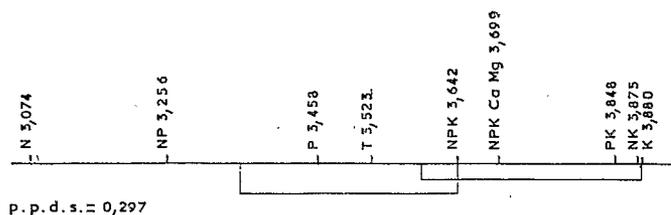
- en avril, octobre et décembre 1959,
- d'avril à décembre 1960 (sauf en octobre),
- en janvier 1961,
- d'avril 1961 à mai 1962 (sauf en octobre),
- d'octobre 1962 à janvier 1963,
- en mai 1963.

Mais si assez souvent les parcelles à fumure potassique, surtout K et PK, fournissent des feuilles significativement plus riches en K que les autres, il y a de nombreuses exceptions, et la fumure potassique paraît avoir sur les teneurs en K des feuilles — certainement parce qu'elles sont très élevées — une influence beaucoup moins nette que la fumure azotée, qui a très régulièrement pour effet d'augmenter la concentration en azote des feuilles à certaines époques de l'année.

C'est en mai et novembre que les parcelles recevant des engrais potassiques présentent généralement des teneurs en potassium foliaire plus fortes que les autres : la parcelle K qui reçoit la plus forte dose d'engrais potassique est la plus riche, la parcelle N la plus pauvre. Le graphique X montre que les deux courbes qui leur correspondent s'écartent l'une de l'autre à partir de 1959.

L'analyse statistique des concentrations en K dans les feuilles aux mois de mai 1960-1961-1962 et 1963 montre que :

1) Il y a des différences significatives entre les traitements

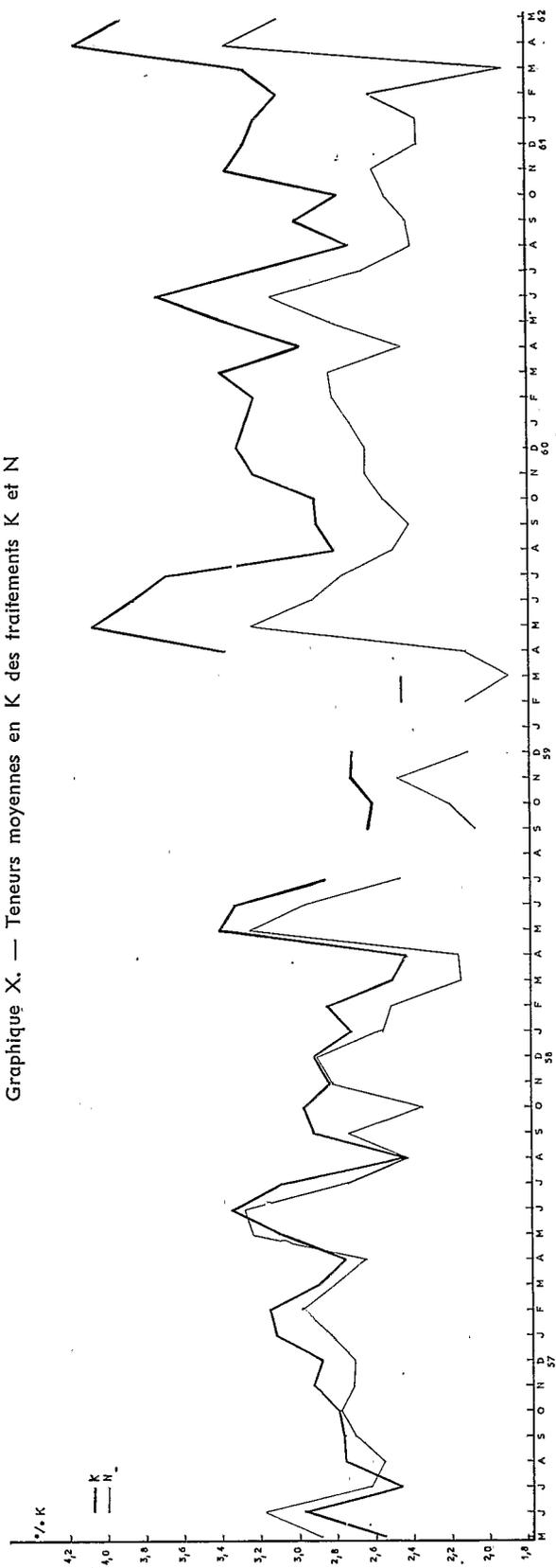


Tous les traitements apportant de l'engrais potassique sont significativement plus riches en K que les traitements N et NP.

Les parcelles K, NK et PK qui reçoivent respectivement 200, 100 et 100 g d'unités de K par pied et par an sont significativement plus riches en potassium foliaire que N, NP, P et T.

La moyenne des parcelles N (calculée pour les quatre années au mois de mai) est de 3,074 % de K, celle des parcelles K est de 3,880.

Graphique X. — Teneurs moyennes en K des traitements K et N



2) Il y a des différences significatives entre les blocs

Les moyennes des quatre années sont respectivement de : 3,757 pour le bloc III,
3,666 pour le bloc I,
3,330 pour le bloc II.

Or les analyses pédologiques portées dans le tableau II de la première partie de cette étude indiquent que le bloc II est le plus riche en K échangeable, avec en moyenne 1,58 milliéquivalent pour 100 g de terre sèche, les blocs I et III étant nettement plus pauvres, avec 0,71 et 0,50. C'est encore le bloc II qui est le plus riche en K total avec 5,37 m. é., les blocs I et III n'en contenant que 3,72 et 0,73. Les données de l'analyse pédologique ne concordent pas par conséquent avec celles de l'analyse foliaire.

3) Il y a des différences significatives entre les années

Ainsi la moyenne des vingt-sept parcelles au mois de mai est de :

3,669 en 1960,
3,259 en 1961,
3,594 en 1962,
3,815 en 1963.

4) Il y a une forte interaction année-bloc

Pour les teneurs en K, comme pour les teneurs en N et pour les rendements, l'influence propre à chaque année s'exerce différemment sur chaque bloc. Ainsi dans le bloc I, c'est en mai 1960 que se rencontre pour les neuf parcelles d'essai la teneur moyenne en K la plus forte, tandis qu'elle est justement la plus faible dans le bloc II.

5) Il n'y a aucune interaction année-traitement

Quelle que soit l'année, l'influence des traitements sur les teneurs en K des feuilles étudiées s'exerce toujours dans le même sens.

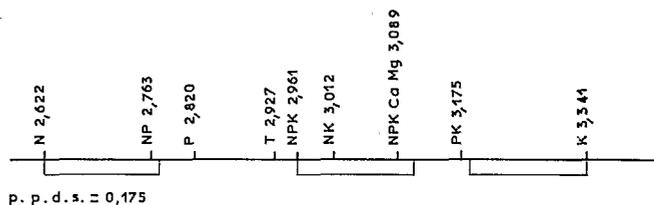
De l'analyse des teneurs en K en novembre 1960-1961-1962, on tire à peu près les mêmes conclusions que pour le mois de mai :

— fortes différences significatives entre les années avec les moyennes suivantes :

2,929 en 1960,
2,917 en 1961,
3,058 en 1962 ;

— forte interaction bloc-année, pas d'interaction traitement-année ;

— les feuilles des parcelles K sont significativement plus riches en K que toutes les autres, sauf PK ; celles des parcelles N en sont significativement



plus pauvres, à l'exception des parcelles NP (voir graphique ci-dessous) ;

— il n'y a pas en novembre de différences significatives entre les blocs dont les teneurs moyennes sont de :

2,951 pour le bloc I,
2,997 pour le bloc II,
2,955 pour le bloc III.

L'analyse des teneurs en K en décembre 1959-1960-1961-1962 conduit à des conclusions très voisines de celles qu'on a tirées de l'étude des mois de mai et novembre.

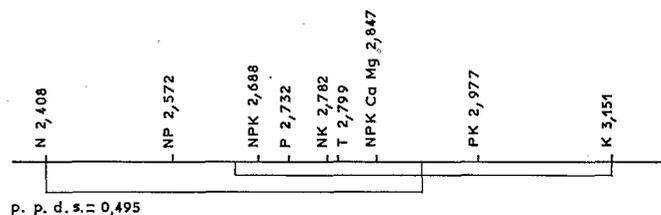
S'il se manifeste des différences significatives entre les blocs et entre les années avec des moyennes de :

2,448 pour 1959,
2,999 pour 1960,
2,803 pour 1961,
2,843 pour 1962,

et de :

2,981 pour le bloc I,
2,712 pour le bloc II,
2,626 pour le bloc III ;

si l'on trouve une interaction année-bloc marquée et aucune interaction année-traitement, les traitements ne se classent pas, pour les teneurs en K, dans le même ordre qu'en mai et novembre. Les parcelles K et PK sont les plus riches, mais T est plus riche en K que NK et P que NPK.



Le calcul montre qu'il n'y a aucune corrélation entre les teneurs en N et les teneurs en K des feuilles au mois de décembre.

5° Comparaison avec les données de la bibliographie

1) Variations saisonnières des teneurs en potassium

On note entre les divers pays des différences marquées dans l'évolution saisonnière de l'azote et du phosphore. Il n'en est pas ainsi pour le potassium, dont les variations tout au long du cycle végétatif sont à peu près les mêmes partout : on trouve peu de K dans les feuilles de janvier à avril, puis les niveaux montent brusquement après les floraisons, en mai-juin, diminuent assez sensiblement de juillet à octobre pendant la période de grossissement des grains et remontent plus ou moins en novembre et décembre.

Ainsi, sur Robusta, dans différentes régions de Côte d'Ivoire, LOUÉ (V 21-V 26) observe de fortes concentrations en K dans les feuilles en avril et de faibles concentrations en septembre. Mais les variations saisonnières de cet élément sont assez désordonnées et ne se reproduisent pas de façon identique d'une année à l'autre.

BUSH (V 2), en République Centrafricaine, rapporte que les teneurs foliaires en K sont faibles d'octobre à mars et très fortes de mars à septembre, avec un maximum en mai-juin et un minimum en janvier.

Sur Arabica au Kenya, ROBINSON (V 39) enregistre comme nous une montée très brusque des teneurs en K dans les feuilles jusqu'au maximum de mai-juin et une chute très brusque jusqu'en septembre, avec une remontée assez faible en décembre.

Au Salvador (ESPINOZA V 9-10), les niveaux de K dans les feuilles sont bas en août-septembre et février-mars et hauts en juin-juillet. Ils remontent en janvier beaucoup plus nettement que chez nous, puisqu'ils atteignent presque ceux de juin-juillet.

De même COOIL (V 6) aux Hawaï enregistre une brusque augmentation des teneurs en K en juin et une aussi brusque chute aussitôt après, avec une remontée en octobre-novembre, plus ou moins accusée suivant les lieux et les années.

Au Brésil, compte tenu du changement d'hémisphère, MEDCALF (V 30-IV 40), LOTT (V 20) enregistrent des variations saisonnières des teneurs en K semblables aux nôtres.

La plupart des auteurs observent que l'évolution du potassium suit celle des pluies de moins près que l'azote (par exemple ESPINOZA au Salvador V 10). BUSH (V 2) en République Centrafricaine signale que les teneurs en K diminuent dans les feuilles bien avant la fin des pluies et remontent deux mois après les premières pluies ; la petite saison sèche n'a pas d'effet sur les niveaux de K, on observe un palier et non une diminution.

LOUÉ (V 24-26), en Côte d'Ivoire, note cependant que si les teneurs en K augmentent dans la feuille bien avant la saison des pluies, dès février, l'absorption de K par la plante est sous la dépendance étroite de la pluviométrie, avec les points bas pendant la saison sèche et les points hauts pendant la saison des pluies, baisse en décembre-janvier — saison sèche —, hausse en octobre-novembre — petite saison des pluies. Il note que, de juin à septembre 1950, de mai à septembre 1951 et de juin à septembre 1952, la courbe de K épouse la décroissance des pluies.

Pour la plupart des auteurs aussi, les hauts niveaux de K se manifestent après la période des floraisons. Il en est ainsi dans la région que nous avons étudiée, où les floraisons ont lieu généralement en mars-avril et où le maximum des teneurs des feuilles en K se produit en mai-juin. LOUÉ (V 21), en Côte d'Ivoire, sur Robusta, trouve de hautes valeurs de K de novembre à juin au cours des floraisons successives ; ROBINSON (V 39), au Kenya, au moment de la floraison et au début de la période de maturation ; quand ensuite commence la récolte et arrivent les grandes pluies, les niveaux de K diminuent fortement et remontent quand la récolte est faite, surtout s'il y a de petites pluies. Au Salvador, ESPINOZA (V 10) observe de fortes concentrations en K dans les feuilles lors de la formation et du développement des boutons floraux : la dépression d'avril correspond à leur ouverture.

Comme ici, MEDCALF (V 30) et LOTT (V 20) au Brésil enregistrent une montée des niveaux du potassium après la floraison, puis une chute brusque suivie d'un palier pendant la récolte jusqu'à la prochaine montée, après le début des pluies et la floraison ; il y a diminution des teneurs en K des feuilles pendant les fortes pluies et augmentation de ces teneurs en fin de saison sèche. Aux Hawaï, COOIL (V 6) note que les niveaux de K dans les feuilles sont bas entre juillet et septembre, époque où cet élément s'accumule dans les fruits.

Si LOUÉ (V 24) signale sur Robusta, en Côte d'Ivoire, que les courbes de variations de N et K sont assez semblables et que le maximum se produit en même temps pour les deux éléments, en mai-juin, BUSH (V 2) en République Centrafricaine observe, comme nous, que le maximum des teneurs en K se produit un mois après celui de N. ESPINOZA (V 10) au Salvador, sur Arabica, montre au contraire que les courbes de N et K s'opposent assez souvent.

2) Valeurs des niveaux du potassium dans les feuilles

Dans nos essais, les teneurs moyennes en K sont de 2,53 en mars-avril (période de concentration minimum) et de 3,60 en mai-juin (période de concentration maximum), soit un écart de 42 % entre ces

deux moyennes, avec un écart de 212 % entre les deux valeurs extrêmes 1,71 % (avril 60, parcelles N) et 5,34 % (avril 62, parcelles K).

Les valeurs rapportées dans la bibliographie sont généralement beaucoup plus faibles.

Sur Robusta, en région de sables tertiaires à Akandjé (Côte d'Ivoire), LOUÉ (V 21-22-24-26) trouve des teneurs en K faibles : 0,439 % de moyenne en septembre 1950, 0,742 % en avril 1951 ; avec comme valeurs extrêmes 0,170 % sur parcelles NP en janvier 1951, 1,171 % dans des parcelles avec fumier en avril 1951 ; sur parcelles témoins, 0,55 % en décembre 1953 et 0,94 % en octobre 1953. Sur des sols semblables, à Daloa, les valeurs sont un peu plus fortes : 1,88 % fin novembre 1953, 2,69 % fin octobre de la même année.

Sur sols granito-gneissiques, il trouve 1,40 % en octobre 1956 et 2,22 % fin octobre 1955.

BUSH (V 2) en République Centrafricaine, sur Robusta également, relève des niveaux en K faibles avec une moyenne de 0,90 % en période de teneurs minima (janvier) et de 1,48 % en période de concentration maximum (mai-juin). Dans le même pays, FORESTIER (V II) obtient dans d'autres régions des teneurs plus élevées, de l'ordre de 2 %.

Sur Robusta également, CULOT (V 7), au Congo, trouve des concentrations de 1,75 à 2,18 %, FRANKART (V 13) dans une région différente obtient en fin de saison des pluies et début de saison sèche des concentrations en K allant de 0,15 à 3,4 %, les plus nombreux échantillons contenant de 1,4 à 2,8 % de K.

Sur Arabica, JAMMAR (V 15), au Kivu, relève des valeurs extrêmes de 0,332 et 3,319 % avec une moyenne de 2,74, la plupart étant comprises entre 1,80 et 2,20 % ; les valeurs extrêmes trouvées par CULOT (V 8) sont de 1 à 3,4 % avec une moyenne de 2,35.

Les valeurs annuelles moyennes rapportées par ROBINSON (IV 58-V 39) sur Arabica au Kenya sont très voisines des nôtres : 2,8 %, alors que nous obtenons de mai 1957 à mai 1963 2,92 %, avec des extrêmes de 2,00 à 3,46 %. Au Tanganyika, WARDEN (V 41) relève en janvier des valeurs moyennes de 2,43 à 2,70 % (dans nos essais, à la même époque : 2,90). ROBINSON trouve des concentrations en K de 3,90 % sur Robusta dont les feuilles présentent des déficiences en magnésium.

Au Costa-Rica, CHAVERRI (V 5) trouve tout au long de l'année des valeurs allant de 1,00 à 4,10 %, avec 82 % des données comprises entre 2 et 2,7 %. MULLER (V 32), dans le même pays, signale que les teneurs en K étant normalement situées entre 2 et 3 %, entre 2,2 et 2,8 % quand les premiers fruits commencent à mûrir, les déficiences en K sont très rares.

A Porto-Rico, ABRUNA (V I) rapporte des valeurs plus faibles (1,14 à 1,55 %) après la récolte. Au Salvador, les teneurs en K sont également assez élevées, 2 % et plus en fin de saison sèche (ESPINOZA V 10-20-21) ; de décembre 1960 à décembre 1961, la moyenne de six échantillons varie de 2,64 à 2,96 %.

En Colombie, CATANI (V 4) relève des valeurs plus faibles, 1,09 % en moyenne en juillet 1951 (époque des teneurs minima), 2,15 % en janvier 1953 (époque des teneurs maxima), HUERTA (V 14) 0,74 à 1,56 en septembre, 0,97 à 1,47 % en avril.

Au Brésil, LOTT (V 19) trouve dans l'Etat de São Paulo des valeurs extrêmes de 0,92 à 3,16 %, dans celui de Parana de 0,92 à 2,79. En plantations de bonne production, LAINS E SILVA (V 16) trouve des teneurs moyennes en potassium foliaire de 2,24 % ; MACHADO (IV 38) estime que des valeurs de 2,58 %, qu'il juge élevées, peuvent être toxiques en provoquant une carence en manganèse.

Les variations des teneurs en K à une même époque d'une année à l'autre, ou entre les divers mois d'une même année, sont généralement importantes : 42 % entre les moyennes dans notre essai, 60 % en Côte d'Ivoire (Loué V 22-26), 65 % en République Centrafricaine (Bush V 2).

A Akandjé (Côte d'Ivoire), LOUÉ (V 22) relève d'une année à l'autre des différences importantes :

	Valeurs des minima	Valeurs des maxima
1950	0,479	0,742
1951	0,439	1,092
1952	0,339	0,839

ainsi que CATANI (V 4) en Colombie :

	Valeur des minima (juillet)	Valeur des maxima (janvier)
1950	2,182	—
1951	1,095	2,473
1952	—	—
1953	1,535	2,656
1954	1,538	2,606

3) Influence des traitements sur les teneurs en potassium

Nous avons trouvé qu'à certaines époques de l'année l'apport d'engrais potassiques augmentait de façon significative les teneurs en K des feuilles. La plupart des auteurs font la même observation.

Ainsi à Akandjé (Côte d'Ivoire), LOUÉ (V 24-26) sur Robusta a des valeurs très basses en février, de l'ordre de 0,35 % pour les traitements T, N, P et NP et de 0,90 à 1,00 % pour NK, PK, NPK et NPK₂, qui reçoivent 50 à 60 g de K₂O par pied et par an, 1,6 à 1,9 % pour K et NPK₃ qui en

reçoivent 100 g. A Gagnoa, où les teneurs en K sont plus élevées, l'apport d'engrais potassiques a sur ces teneurs un effet beaucoup moins marqué.

BUSH (V 2) sur Robusta, en République Centrafricaine, relève entre parcelles à fumure potassique et parcelles sans fumure potassique des différences de 69 % en faveur des premières. Il indique que les différences entre les teneurs foliaires en K ne deviennent significatives qu'un an après le premier épandage d'engrais potassiques. De même, PRÉVOT (II 15) au Dahomey, sur palmier à huile, indique que la fumure potassique manifeste son effet environ un an après son application et a une rémanence de trois ans.

En Colombie, HUERTA (V 14) rapporte également que le potassium augmente dans les feuilles avec les quantités d'engrais potassiques appliquées au sol. Ainsi en décembre 1960 :

K ₀ contient	0,59 % de K
K ₁₀₀ (100 g K ₂ O par pied et par an) ..	0,99 —
K ₂₀₀ (200 g — —) ..	1,66 —
K ₃₀₀ (300 g — —) ..	2,07 —

De même au Salvador, ESPINOZA (V 10) indique que les teneurs moyennes annuelles augmentent avec l'apport d'engrais potassiques : 2,39 pour K₀, 2,47 pour 125 kg/ha d'engrais potassiques, 2,58 pour 500 kg. A Porto-Rico, ABRUNA (IV 9) rapporte qu'au moment de la maturité de la récolte on trouve dans les feuilles 0,98 % de K pour les traitements K₀, 1,67 pour 170 kg/ha de potasse, 2,18 pour 340 kg. En Colombie, URHAN (V 40) relève en fin de récolte, en décembre, 0,79 % dans les témoins, 1,13 dans les parcelles recevant de la potasse. PARRA (V 39) enregistre 0,46 % de K dans les témoins et 2 % dans les parcelles recevant une forte fumure NPK ; HUERTA (V 14), dans les parcelles témoins et dans celles qui reçoivent des engrais potassiques, trouve respectivement : 0,75 et 1,35 % en septembre 1960, 0,97 et 1,47 en avril 1961, 0,84 et 1,56 en septembre 1961.

Au Brésil, MALAVOLTA (V 29) obtient en avril 1957 une moyenne de 1,62 % de K dans les parcelles recevant des engrais potassiques et 1,07 dans les autres. MEDCALF (V 30) relève en hiver (où les teneurs en K sont minima) des valeurs très basses, 0,4 à 0,6 % sur arbres sans engrais, 1,3 % sur ceux qui reçoivent des doses moyennes, 1,6 % sur ceux qui reçoivent de fortes doses d'engrais potassiques. Sur certains sols, on atteint 2,5 %.

LOTT (V 20) signale que les feuilles des parcelles témoins s'appauvrissent chaque année en K : 0,85 % en mai 1956 contre 2,37 dans les parcelles à fumure potassique. Cela ne s'est pas produit dans nos essais, qui ont pourtant duré sept ans.

Voici en effet les concentrations respectives des parcelles T et K au moment du maximum :

	T	K
Juin 1957	3,105	2,973
Juin 1958	3,412	3,345
Mai 1959	3,531	3,402
Mai 1960	3,387	4,067
Juin 1961	3,567	3,732
Mai 1962	3,612	3,912
Mai 1963	4,012	4,170

Toujours au Brésil, MENARD (IV 42) a obtenu des relèvements spectaculaires des teneurs des feuilles en K par pulvérisation de sels de potassium sur le feuillage : 2,92 % pour les témoins, 3,29, 3,34 et 3,47 % dans les parcelles recevant des doses croissantes.

Dans nos essais, nous avons trouvé généralement que les traitements N et NP étaient les plus pauvres en K. C'est ce qu'observe également LOUÉ (V 26) à Gagnoa (Côte d'Ivoire) sur sols granito-gneissiques. Au Kivu sur Arabica, JAMMAR (V 15) rapporte qu'une augmentation des teneurs en N s'accompagne d'une diminution des teneurs en K. MALAVOLTA (V 29) au Brésil trouve également que les traitements N et NP sont les plus pauvres en K (0,75 % en avril 1957) et les traitements K les plus riches (1,92 % à la même date).

Sur cocotier au Dahomey, PRÉVOT (III 18) signale l'effet dépressif des engrais azotés sur les teneurs en K des feuilles et au Sénégal sur arachide le même auteur constate que l'apport de potasse diminue les teneurs en N des feuilles, tandis que l'apport d'azote n'a généralement pas d'action sur le potassium foliaire ou aurait par endroits tendance à l'augmenter.

En Colombie, HUERTA (V 14) montre qu'une fumure phosphatée augmente l'absorption de K. De même URHAN (V 40), en fin de récolte en décembre, trouve 0,79 % de K dans les parcelles témoins, 0,85 dans celles qui reçoivent de la poudre d'os, 1,13 dans celles qui reçoivent à la fois poudre d'os et potasse. GILLIER (III 3) et PRÉVOT (III 19) sur arachide au Sénégal montrent qu'une quantité d'engrais phosphatés supérieure aux besoins provoque une diminution de K dans les feuilles.

6° Conclusions pratiques

1) Dates d'épandage des engrais potassiques

D'après les résultats exposés dans la première partie de cette étude (réponse des caféiers aux traitements fertilisants) et l'examen des analyses foliaires, il ne semble pas utile de faire des épandages réguliers d'engrais potassiques. En effet, comme nous venons de l'exposer, les teneurs en K de nos feuilles, quelle que soit la saison, sont élevées, même dans les traitements ne recevant plus d'engrais potassiques depuis la fin de l'année 1956. C'est ainsi qu'en 1963, c'est-à-dire sept ans après le dernier apport de

potasse, les teneurs les plus faibles sont 2,514 pour le bloc I (parcelle P en avril 1963), 3,166 pour le bloc II (parcelle N en mai 1963), 2,392 pour le bloc III (parcelle N en janvier 1963).

Dans les parcelles N qui ont eu depuis sept ans les meilleures récoltes, les teneurs en K au moment du maximum n'ont pas baissé et sont les suivantes :

Juin 1957	3,178
Juin 1958	3,277
Mai 1959	3,266
Mai 1960	3,185
Juin 1961	3,121
Mai 1962	3,095
Mai 1963	3,206

Quoi qu'il en soit, un apport d'engrais potassique doit se faire au moment où le caféier absorbe une grande quantité de K (voir graphique VIII), c'est-à-dire principalement en mars-avril, avant la forte montée des niveaux de K dans les feuilles en mai-juin, et secondairement en octobre, puisqu'on observe une légère remontée des niveaux du potassium dans les feuilles au moment de la récolte.

2) Dates de prélèvement des feuilles en vue d'effectuer un diagnostic foliaire

Nous avons vu que, pour N et P, deux époques peuvent être retenues, mai et décembre, car il se manifeste à ce moment-là entre les traitements des différences significatives. Ces deux époques paraissent convenir également à l'étude des besoins en K de la plante étudiée; cependant les différences significatives sont plus nettes en mai et novembre qu'en décembre.

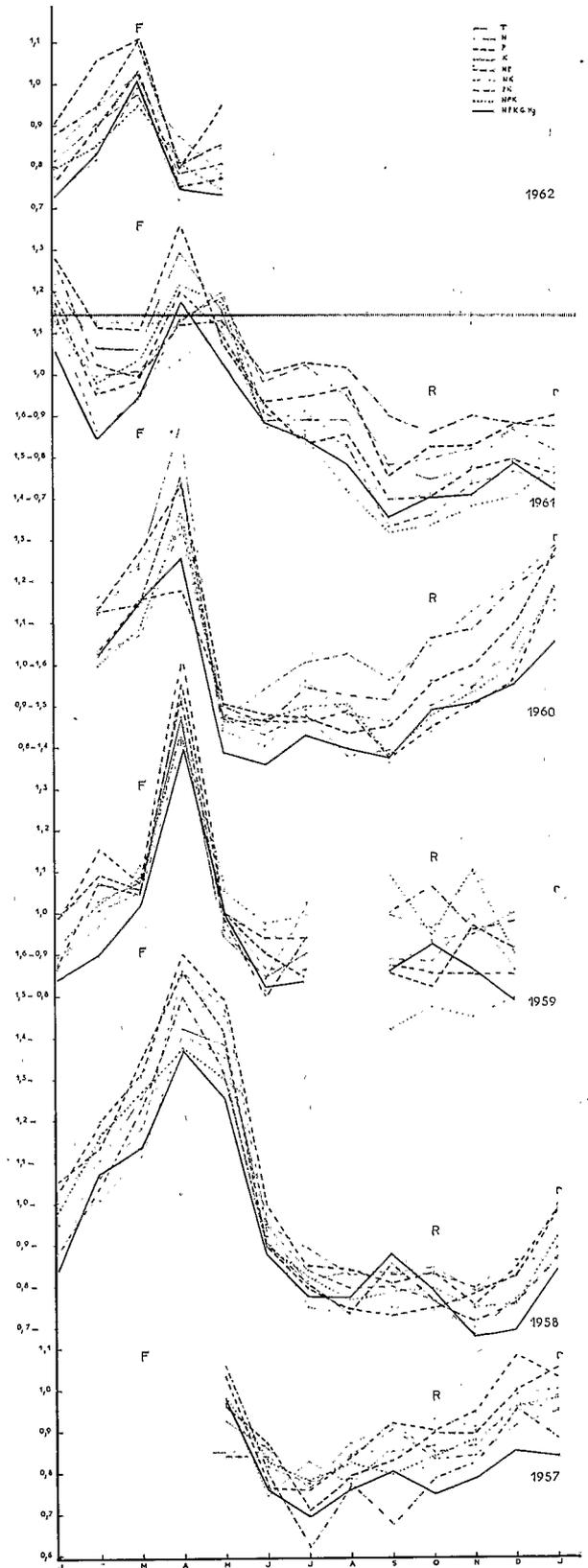
Comme nous l'avons déjà dit, c'est l'étude des corrélations entre rendements obtenus et teneurs des feuilles en éléments minéraux qui nous permettra de faire ce choix.

D. — ÉTUDE DES TENEURS EN CALCIUM

1° Variations saisonnières en relation avec le cycle végétatif et le régime des pluies

L'examen du graphique XI, où sont portés en abscisses les mois de l'année et en ordonnées les teneurs en Ca exprimées en grammes pour cent de matière sèche, montre que les variations mensuelles des concentrations en Ca dans les feuilles analysées se reproduisent de façon régulière d'une année à l'autre. C'est une courbe à un seul maximum qui se manifeste en avril.

De janvier à avril, c'est-à-dire de la fin de la saison sèche au début de la saison de pluies, de la fin de la récolte aux floraisons, les teneurs en Ca augmentent régulièrement dans les feuilles, puis diminuent brusquement après les floraisons et restent basses durant



Graphique XI. — Variations annuelles des teneurs en calcium
F = floraison, R = début de récolte, r = fin de récolte

la saison des pluies, pendant que grossissent les fruits formés; elles remontent légèrement pendant la récolte et plus nettement après la fin de celle-ci.

Par conséquent, les courbes de variations saisonnières du calcium ne suivent pas plus celles des pluies que ne le faisaient N, P et K. C'est seulement au début de la saison des pluies que les deux courbes ont la même allure (voir graphique XII où les teneurs moyennes en Ca sont représentées en trait plein et les pluies en grisé).

Le calcium est l'élément qui présente d'une époque à l'autre les plus grandes variations de concentration, puisque la moyenne au moment du maximum (avril) est de 1,309 % et de 0,785 au moment du minimum (juin à novembre), soit une différence de 67 % (voir tableau 6, p. 52). La teneur la plus basse, trouvée en septembre 1961 dans la parcelle K du bloc II, est 0,502 % et la plus forte, trouvée en avril 1960 dans la parcelle PK du bloc I, 1,935 %, ce qui fait une variation de 285 %.

2° Variations des teneurs en calcium d'une année à l'autre

Comme le montre le graphique XI, les courbes de variations des teneurs en Ca se reproduisent

assez fidèlement d'une année à l'autre et les différences entre elles sont assez légères.

Ainsi, la chute des concentrations en calcium d'avril à mai est brusque et accusée en 1959 et 1960, moins brusque en 1958 et 1961 où les teneurs en Ca en mai restent assez élevées.

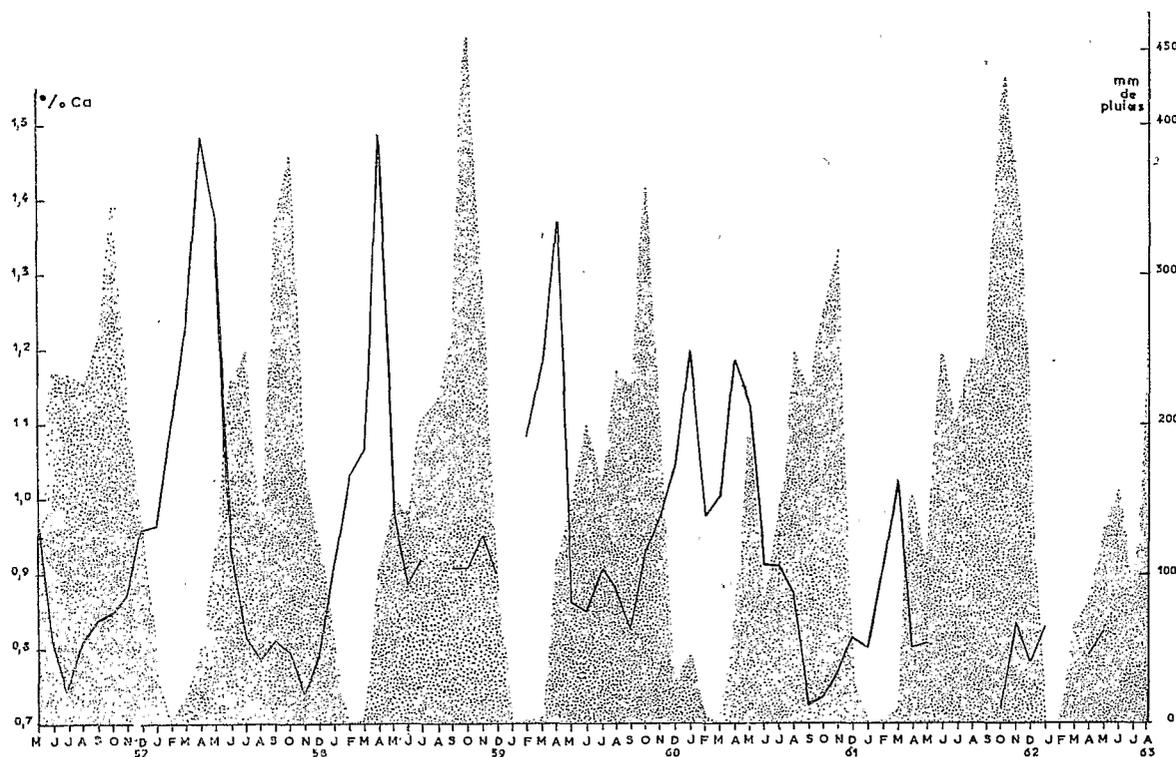
En janvier 1961, l'augmentation des niveaux de Ca dans les feuilles est relativement plus forte que les autres années, puisque ces niveaux sont alors voisins de ceux d'avril 1961.

En 1957 et 1960, les valeurs de Ca remontent régulièrement à partir de juillet-août, en 1961 elles diminuent progressivement d'avril à septembre.

Comme on l'a observé pour N, P et K, en 1962 le maximum se produit un mois plus tôt que les autres années, c'est-à-dire en mars; les mois de janvier-février-mars avaient été particulièrement pluvieux.

L'examen du tableau 6 montre que les niveaux de Ca dans les feuilles diminuent de 1957 à 1963, la moyenne des parcelles témoins passant au moment du maximum (avril) de 1,384 % en 1958 à 0,841 % en 1963; pour N, P et K, nous avons indiqué au contraire que les niveaux se maintiennent au long de ces sept années et ont même tendance à augmenter légèrement (voir tableau 8, p. 52).

Graphique XII. — Hauteurs des pluies et teneurs moyennes en calcium
— teneurs en Ca, ::: pluies en mm



Ceci s'explique en partie par l'influence des pluies sur les teneurs des feuilles en Ca. Si nous avons trouvé des corrélations positives assez fortes entre les teneurs en N, P et K au mois d'avril et les pluies des trois premiers mois de l'année, les concentrations en Ca dans les feuilles à ce même moment sont négativement reliées aux chutes de pluies de janvier-février-mars : $r = -0,64$.

3° Comparaison avec les variations annuelles de l'azote, du phosphore et du potassium

Le maximum des teneurs en calcium se situe généralement un mois avant celui de l'azote et coïncide avec le minimum des teneurs en potassium. A ce moment-là, c'est-à-dire au mois d'avril, il y

TABLEAU 6

Teneurs mensuelles moyennes en calcium

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957	—	—	—	—	0,975	0,809	<i>0,745</i>	0,807	0,839	0,849	0,872	0,960
1958	0,964	1,104	1,224	1,483	1,376	0,936	0,814	0,786	0,810	0,793	0,740	0,789
1959	0,914	1,028	1,065	1,484	0,981	<i>0,885</i>	0,918	—	0,907	0,908	0,950	0,900
1960	—	1,084	1,155	1,370	0,863	0,852	0,905	0,881	<i>0,832</i>	0,932	0,976	1,044
1961	1,197	0,979	1,003	1,182	1,127	0,911	0,912	0,873	<i>0,724</i>	0,739	0,773	0,816
1962	0,803	0,903	1,024	0,801	0,808	—	—	—	—	0,723	0,834	0,782
1963	0,830	—	—	0,792	0,824	—	—	—	—	—	—	—
Moyennes	0,942	1,020	1,094	1,185	0,993	0,879	0,859	0,836	<i>0,822</i>	0,824	0,857	0,882

moyenne des maxima (5 chiffres) 1,309
 moyenne des minima (5 chiffres) 0,785
 moyenne générale (65 chiffres) 0,936.

en gras : maxima
 en italiques : minima

TABLEAU 8

Minima et maxima de 1957 à 1962
 N P K Ca Mg
 (parcelles T, moyenne des trois blocs)

Années	N		P		K		Ca		Mg	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
1957	3,025	2,200	0,221	0,154	3,690	—	—	0,789	—	0,436
1958	2,924	2,105	0,211	0,151	3,412	2,888	1,384	0,835	0,630	0,348
1959	2,952	2,226	0,206	0,184	3,531	2,399	1,470	0,858	0,697	0,394
1960	3,282	2,127	0,210	0,184	3,387	2,200	1,578	0,878	0,595	0,428
1961	2,731	2,420	0,232	0,199	3,567	2,654	1,292	0,748	0,602	0,296
1962	3,794	2,715	0,254	—	3,612	2,460	1,025	0,682	0,442	0,306
1963	3,137	—	—	—	4,012	—	0,841	—	0,414	—

a une corrélation négative entre les concentrations en Ca et les concentrations en K : $r = -0,66$. La valeur de r aux autres époques de l'année est très faible.

Les valeurs de Ca à cette date sont également reliées négativement aux valeurs de N : $r = -0,57$; à celles de P : $r = -0,67$.

4° Influence des traitements sur les teneurs en calcium

Il apparaît des différences significatives entre les traitements à partir de septembre 1960 (voir graphique XIII où sont représentées les teneurs moyennes en Ca des traitements P et K). Contrairement à ce qui se passait pour les teneurs en N et K, ces différences se manifestent le plus fortement quand les niveaux de Ca dans les feuilles sont bas et non lorsqu'ils sont voisins du maximum, c'est-à-dire à la fin de la grande saison des pluies et au début de la saison sèche, pendant la période de récolte. En effet, l'analyse des teneurs en Ca pour les années 1961-1962-1963 au mois d'avril et au mois de mai révèle entre les traitements des différences significatives (à $P = 0,05$), celles d'octobre et décembre des différences hautement significatives (à $P = 0,001$).

Comme pour les rendements et les teneurs en N, P et K, il existe des différences significatives entre les traitements, entre les blocs, entre les années, et une forte interaction année-bloc.

Ainsi pour les mois de décembre 1960, 1961 et 1962 :

1) Il y a des différences significatives entre les blocs, avec des moyennes générales de :

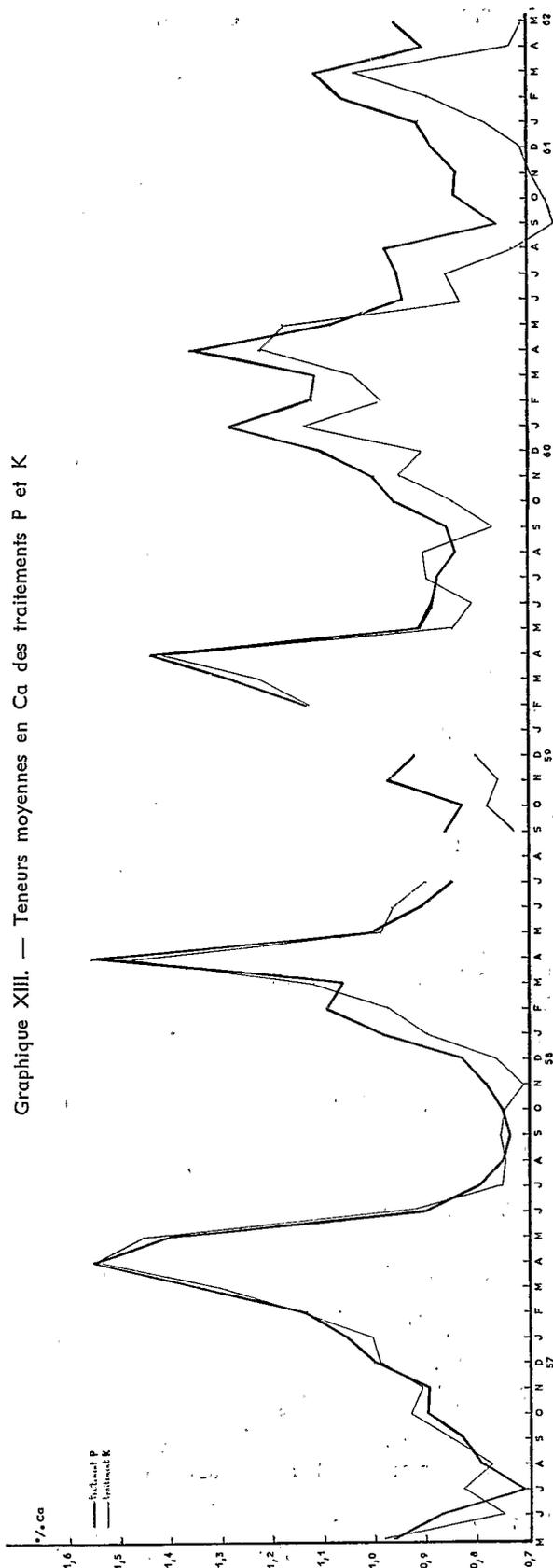
- 0,993 pour le bloc I,
- 0,856 pour le bloc II,
- 0,780 pour le bloc III.

Les analyses pédologiques rapportées dans le tableau II de la première partie de cette étude vont pour cet élément dans le même sens que les analyses foliaires, les moyennes en milliéquivalents pour 100 g de terre sèche étant de :

	9,94	pour le bloc	I	} (Ca assimilable)
	15,89	—	II	
	2,17	—	III	
et de :	38,54	—	I	} (Ca total)
	36,52	—	II	
	4,31	—	III	

2) Il y a des différences significatives entre les années, les teneurs moyennes des vingt-sept parcelles étant :

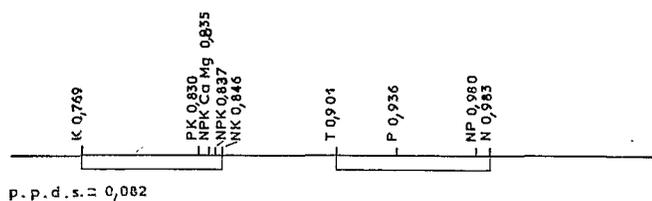
- 1,041 en décembre 1960,
- 0,816 en décembre 1961,
- 0,790 en décembre 1962.



3) L'interaction année-bloc est significative

4) Il y a des différences significatives entre les traitements

Les parcelles les plus riches en Ca (N, NP et P) ne sont pas significativement différentes de T, ne sont pas significativement différentes les unes des autres, mais le sont de toutes celles qui reçoivent des engrais potassiques, comme l'illustre le schéma ci-dessous. La parcelle K, la moins riche en Ca, est significativement différente de toutes celles qui ne reçoivent pas d'engrais potassiques, N, NP, P et T.



5) Il n'y a pas d'interaction traitement-année

Quelle que soit l'année, les traitements ont toujours le même effet sur les teneurs des feuilles en Ca. Les parcelles sans engrais potassique fournissent les feuilles les plus riches en Ca.

Les traitements comprenant P dans leur formule apportent à la fois phosphore et calcium puisque l'engrais utilisé est le phosphate bicalcique ; NPKCa Mg y ajoute de la dolomie. Quand l'apport de calcium est joint à un apport de potassium, il n'a aucun effet sur les teneurs des feuilles en Ca et c'est ainsi que PK, NPK et NPKCa Mg ne sont pas significativement différents de ce point de vue de K et NK.

5° Comparaisons avec les données de la bibliographie

1) Variations saisonnières du calcium dans les feuilles

Contrairement à ce que nous avons observé en pays Bamoun, CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica signale que les courbes de variations du calcium ne sont pas semblables chaque année : celles de 1956 diffèrent fortement de celles de 1954 et 1955, mais elles sont identiques sous des climats différents. Il pense que les variations du calcium sont soumises à un cycle biennal. Comme dans nos essais, les niveaux tendent à s'élever pendant les mois de faibles pluies, mais ils présentent deux pointes d'égale importance, l'une en avril, l'autre en septembre.

Au Brésil, LOTT (V 19) signale que les teneurs en Ca ont tendance à croître tout au long du cycle végétatif.

Au Kenya, d'après ROBINSON (V 39), les courbes de variations annuelles du calcium présentent une série de pointes successives. Cet auteur utilise d'ailleurs les moyennes annuelles obtenues le plus souvent sur six prélèvements faits au cours de l'année.

Sur Robusta en République Centrafricaine, BUSH (V 2) constate comme nous que les teneurs en Ca augmentent au cours de la saison sèche, d'octobre jusqu'au maximum de mars, et diminuent fortement fin avril jusqu'en août.

Par contre LOUÉ en Côte d'Ivoire, que ce soit à Bingerville (V 22) ou Gagnoa (V 26), trace des courbes descendantes de février à juin, ascendantes de juillet à janvier, avec un maximum en janvier-février et un minimum en avril-mai-juin. A Akandjé, les teneurs en Ca croissent d'avril-mai à novembre et décroissent de novembre à avril avec le maximum en novembre-décembre au moment de la récolte.

2) Teneurs des feuilles en calcium

Les valeurs moyennes trouvées dans nos essais varient de 0,785 entre juillet et septembre (moyenne des teneurs minima) et 1,309 en avril (moyenne des teneurs maxima), avec 0,502 et 1,935 comme chiffres extrêmes.

Contrairement à ce qui se passait pour les teneurs en P et en K, les valeurs rapportées par la bibliographie sont généralement supérieures aux nôtres.

Au Kivu, sur Arabica, celles que rapportent JAMMAR (V 15) et CULOT (V 8) sont voisines des nôtres : 0,665 à 1,465 avec une moyenne de 1,072 pour le premier, 0,8 à 1,4 avec une moyenne de 1,1 pour le deuxième.

Au Kenya, ROBINSON (V 37-V 39) donne une moyenne générale de 0,94 (nous obtenons dans nos essais la même valeur) avec des moyennes saisonnières de 0,74 à 1,07. Rappelons que les teneurs des feuilles en K y sont comme chez nous très élevées.

Au Brésil, LOTT (V 19), en prélevant des échantillons dans un grand nombre de plantations de São Paulo et du Parana, obtient des valeurs un peu plus fortes : 1,07 en hiver, 1,12 en automne, 0,93 au printemps, avec des extrêmes de 0,41 et 1,76, dans l'Etat de São Paulo ; 1,08 en hiver, 1,19 en automne, 1,23 au printemps, avec des extrêmes de 0,55 et 1,98, dans le Parana.

Généralement, les concentrations en calcium des feuilles étudiées sont nettement plus élevées.

Ainsi au Brésil, LOTT (V 20), en station expérimentale, relève des concentrations de 0,5 à 2 %, LAINS E SILVA (V 16), une moyenne annuelle de 1,45 % sur feuilles prélevées comme dans nos essais

au début de la matinée, 2,12 sur celles prélevées l'après-midi. MACHADO (IV 38) obtient en mars 1955, 1,59 à 2,18 %, en avril 1956, 1,30 à 1,94, en août de la même année 2,57 à 2,68 %.

En Colombie, CATANI (V 4) a des teneurs moyennes de 1,558 en juillet, 1,572 en janvier.

Les chiffres obtenus en Amérique centrale sont aussi élevés : au Salvador, ESPINOZA (V 10) a des teneurs annuelles moyennes de 1,43 %, avec 1,51 en mai et 1,87 en décembre. Au Costa-Rica, MULLER (V 32) relève des teneurs de 1,5 % sur caféiers sains et de 0,6 sur arbres déficients. CHAVERRI (V 5), sur un grand nombre de plantations de ce pays, recueille des teneurs en Ca de 0,80 à 2,50 %, avec 17 % des échantillons compris entre 0,8 et 1,10, 69 % entre 1,10 et 1,70, 14 % au-dessus de 1,70. Les moyennes saisonnières sont de 1,08 en janvier, 1,37 en avril, 1,58 en juillet, 0,86 en octobre.

A Porto-Rico, ABRUNA (IV 9-V 1) donne des valeurs moyennes annuelles de 1,14 à 1,55 ; 0,90 à 1,20 % au moment où la récolte est mûre.

Sur Robusta également, les valeurs recueillies sont plus élevées :

Au Congo, FRANKART (V 13) trouve une moyenne de 1,5 %, CULOT (V 7), dans une autre région, 1,6 à 2,2 %.

En République Centrafricaine, BUSH (V 2) relève des teneurs moyennes minima de 1,744 (en juillet), des teneurs moyennes maxima de 2,816 (en mars). Dans le même pays quelques années plus tard, FORESTIER (V 11 — V 12) obtient fin juillet des teneurs de 1,41 à 2,30 %, en décembre de 1,03 à 1,94 % ; BORGET (IV 14) rapporte pour le mois de décembre, de 1956 à 1960, les teneurs moyennes suivantes : 0,85 ; 0,95 ; 1,31 ; 1,52 %.

En Côte d'Ivoire également, LOUÉ (V 21-22) remarque que malgré des sols très pauvres en calcium, les feuilles en sont très riches : ainsi à Bingerville 2,10 % de moyenne en août, 2,24 en décembre 1950 ; 1,56 en mai, 2,91 en décembre l'année suivante. A Daloa 1,80 en avril, 1,14 en mars, à Akan-djé 1,40 en mars, 2,00 en juin, à Gagnoa 0,91 en mai, 1,72 en octobre. Rappelons que les teneurs en K sont très faibles, sauf justement à Gagnoa.

3) Influence des traitements sur les teneurs en calcium

LOUÉ (V 26), sur Robusta en Côte d'Ivoire, rapporte que les feuilles sont plus riches en Ca sous ombrage que sans ombrage : 1,42 contre 1,32 %.

FORESTIER (V 12) en République Centrafricaine, sur Robusta, a des teneurs plus fortes sur arbres non irrigués que sur arbres irrigués : 1,22 et 1,06. C'est ce qu'observe aussi WARDEN (V 41) au Tanganyika sur Arabica. Sur sol sec, les feuilles étudiées contiennent 1,99 % de calcium, 1,45 sur sol sec humidifié,

1,44 sur sol humide. Dans nos essais, nous avons trouvé une corrélation négative entre les teneurs en Ca au mois d'avril et les pluies des trois premiers mois précédents.

ROBINSON (V 39) au Kenya insiste sur l'influence de la production sur les teneurs en Ca des feuilles ; elles sont plus faibles après une forte production qu'après une faible : 1,23 et 1,39. Au contraire CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica ne trouve aucune différence entre les teneurs en Ca de lots ayant beaucoup ou peu produit. Mais LAINS E SILVA (V 16) au Brésil trouve dans les feuilles prises sur des rameaux sans fruits moins de calcium que sur les autres.

Au Kenya, le « mulch » diminue les teneurs en Ca des feuilles : 1,29 à 1,09 % (ROBINSON V 39) ; on sait qu'il apporte au sol beaucoup de potasse.

ABRUNA (IV 9) à Porto-Rico signale que les teneurs en calcium des feuilles augmentent quand on apporte de l'engrais azoté. Dans nos essais, si au mois d'avril les teneurs en N et Ca sont reliées négativement ($r = -0,67$), pour l'ensemble de la période étudiée (mai 1957 à mai 1963), N et Ca sont reliées positivement ($r = 0,55$).

En Colombie, PARRA (V 39) constate que les parcelles témoins contiennent en fin de récolte 1,76 % de Ca, contre 1,75 dans celles qui ont reçu de la poudre d'os. URHAN (V 40) dans le même pays signale que celles qui reçoivent à la fois poudre d'os et potasse ont en moyenne 1,79 % de Ca.

Mais pour la plupart des observateurs, c'est manifestement l'apport d'engrais potassiques qui exerce sur les teneurs en Ca des feuilles la plus grande influence.

Sur Arabica en Colombie, d'après HUERTA (V 14), les teneurs en Ca tombent de 1,44 à 1,22 en septembre 1960, de 1,27 à 1,08 en avril 1961, de 1,18 à 1,00 en septembre 1961 par apport d'engrais potassiques. Dans un autre essai, on a en septembre 1960 1,70 % de Ca dans les parcelles K_0 , 1,21 pour K_{20} , 1,07 pour K_{30} .

Au Brésil pourtant, MACHADO (IV 38) relève en mars 1956 des teneurs en Ca de 2,20 % dans les parcelles témoins et de 2,61 % dans les parcelles NPK.

Au contraire, ESPINOZA (V 10) au Salvador rapporte que les concentrations en Ca passent de 1,41 dans les témoins à 1,12 dans les parcelles NPK. Elle trouve une corrélation négative entre les courbes annuelles de K et Ca ; cette corrélation n'apparaît pas dans nos essais ($r = -0,02$), mais au mois d'avril, et au mois d'avril seulement, les teneurs en K et Ca sont reliées négativement les unes aux autres : $r = -0,66$ (au mois de mai, $r = -0,39$, en juin, novembre et décembre, r est inférieur à $-0,10$).

Au Kenya, ROBINSON (V 39) signale que les concentrations en Ca ont tendance à rester hautes et même à augmenter quand celles de K diminuent.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) observe un antagonisme marqué entre K et Ca.

Sur Robusta, au Congo, CULOT (V 7) signale que les teneurs en Ca varient peu et que l'antagonisme K-Mg est beaucoup plus marqué.

En Côte d'Ivoire, LOUÉ (V 21-22-26) à Bingerville et Akandjé constate aussi un antagonisme K-Ca. Les niveaux de l'un augmentent quand ceux de l'autre baissent. Les courbes suivent à certains moments de l'année une évolution parallèle, à d'autres moments elles sont en opposition. Les feuilles des parcelles P, NP, T et N sont plus riches en Ca que celles des parcelles NK, PK, NPK et K. L'antagonisme est plus marqué à Gagnoa. L'auteur relève en juin une teneur moyenne de 0,95 % de Ca dans les feuilles des parcelles NK et en octobre de 2 % dans les parcelles P : l'apport d'engrais potassiques diminue dans une grande proportion les teneurs en Ca des feuilles étudiées.

FORESTIER (V 12) travaillant sur Robusta en solution nutritive obtient des concentrations foliaires en calcium de 2,40 % en solution sans potassium, de 1,50 en solution complète et de 0,50 en solution sans calcium.

L'antagonisme K-Ca est un phénomène très général. Pour ne citer qu'un exemple, au Dahomey, SCHEIDECKER (III 25) observe sur palmier à huile que les teneurs des feuilles en Ca sont très basses en avril alors que les teneurs en K sont très hautes.

Sur arachide au Sénégal, l'apport d'engrais azotés fait diminuer les teneurs en calcium des feuilles (PRÉVOT III 19).

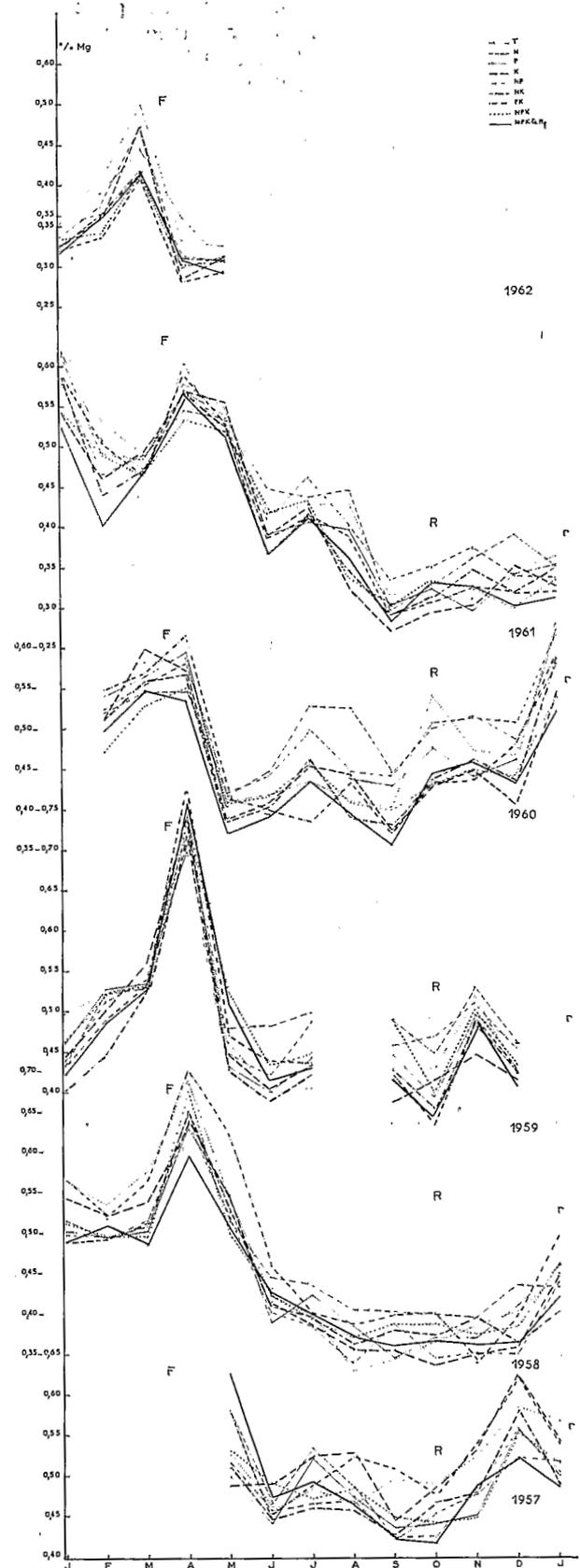
6° Conséquences pratiques

1) Dates des épandages d'engrais

Les teneurs des feuilles en calcium augmentent en fin de saison des pluies jusqu'au maximum d'avril et diminuent ensuite. On devrait donc apporter du calcium à la plante en fin d'année, en novembre par exemple, en même temps que le dernier épandage d'azote, et début mars, avant le maximum d'avril, en même temps que le premier épandage d'azote.

Graphique XIV. — Variations annuelles des teneurs en magnésium

F = floraison, R = début de récolte, r = fin de récolte



Mais nous ne savons pas actuellement s'il est opportun de fournir de tels engrais au caféier. Les analyses foliaires montrent que nos teneurs en Ca sont généralement plus basses que celles des autres pays. Outre que le calcium, comme le potassium, est susceptible d'être stocké en grande quantité dans la feuille, nous n'avons jusqu'ici observé aucun symptôme de carence. Notre étude a montré l'action prépondérante des engrais azotés sur la production. Seul le traitement NPKCaMg apportait des engrais calciques, mais aussi des engrais potassiques et l'effet des premiers n'a pu se manifester dans ces conditions. C'est seulement d'après les résultats des nouveaux essais mis en place cette année que nous pourrions établir si un apport de calcium ajouté à l'azote a une influence sur la production du caféier.

2) Dates des prélèvements foliaires

Comme pour les éléments déjà cités, deux époques peuvent être retenues pour l'étude de l'alimentation en calcium du caféier : avril-mai et décembre.

E. — ÉTUDE DES TENEURS EN MAGNÉSIUM

1° Variations saisonnières en relation avec le cycle végétatif et le régime des pluies

L'examen du graphique XIV (p. 56), où sont portés en abscisses les mois de l'année et en ordonnées les teneurs en Mg, montre que les variations mensuelles de cet élément dans les feuilles se reproduisent de façon régulière d'année en année. Cette courbe est très semblable à celle du calcium et présente elle aussi un seul maximum en avril. Après ce maximum d'avril, les niveaux de Mg décroissent très brusquement et remontent à partir de septembre.

Les variations saisonnières du magnésium ne suivent pas plus celles des pluies que ne le faisait le calcium (voir graphique XV).

La teneur moyenne des feuilles au moment du maximum (avril) est de 0,593 %, de 0,384 au moment du minimum (septembre, octobre ou novembre — voir tableau 7, p. 58), ce qui fait une

Graphique XV. — Hauteurs des pluies et teneurs moyennes en magnésium
— teneurs en Mg, ::: pluies en mm

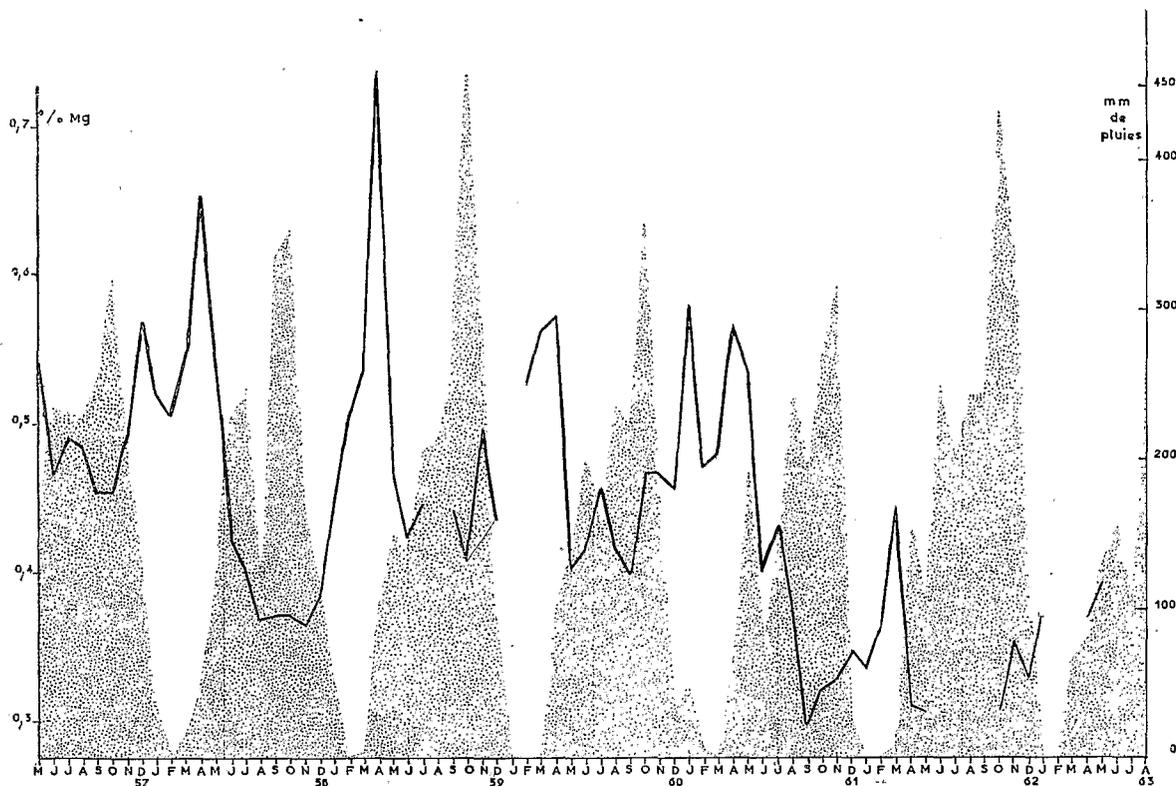


TABLEAU 7

Teneurs mensuelles moyennes en magnésium

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957	—	—	—	—	0,539	0,464	0,491	0,483	<i>0,453</i>	0,454	0,492	0,568
1958	0,520	0,506	0,521	0,651	0,536	0,422	0,403	0,367	0,370	0,370	<i>0,365</i>	0,385
1959	0,450	0,507	0,535	0,733	0,466	0,421	0,445	—	0,440	<i>0,407</i>	0,495	0,434
1960	—	0,526	0,561	0,571	0,401	0,415	0,455	0,416	0,399	0,465	0,465	0,456
1961	0,579	0,471	0,478	0,568	0,532	0,400	0,430	0,380	<i>0,298</i>	0,320	0,327	0,347
1962	0,334	0,362	0,442	0,309	0,306	—	—	—	—	0,307	0,353	0,329
1963	0,370	—	—	0,369	0,392	—	—	—	—	—	—	—
Moyennes	0,450	0,474	0,507	0,533	0,453	0,424	0,445	0,411	0,392	0,387	0,416	0,420

moyenne des maxima (5 chiffres) 0,593
 moyenne des minima (5 chiffres) 0,384
 moyenne générale (65 chiffres) 0,443.

en gras : maxima
 en italiques : minima

variation de 54 %. La valeur la plus basse, 0,231 % a été relevée dans la parcelle K du bloc III au mois d'octobre 1962, la plus haute, 0,875, dans la parcelle PK du bloc I au mois d'avril 1959. Entre ces deux valeurs extrêmes, la variation est de 279 % : le magnésium varie à peu près dans les mêmes proportions que le calcium ; ce sont les deux éléments les plus fluctuants.

2° Variations des teneurs en magnésium d'une année à l'autre

Les différences entre les courbes annuelles du graphique XIV sont légères ; leur allure reste la même.

En décembre 1957, on observe une augmentation des niveaux de magnésium avec une chute en janvier ; en novembre 1959, elle est moins marquée et les concentrations diminuent en décembre ; c'est en janvier 1961 que ce mouvement est le plus accusé, les teneurs en Mg augmentent fortement à partir de décembre 1960 et diminuent beaucoup de janvier à février 1961. Les niveaux de janvier 1961 sont aussi hauts que ceux d'avril.

Les maxima sont très accusés en 1958 et surtout en 1959. En 1961, la diminution des teneurs en Mg à partir du mois de juin est particulièrement nette.

Comme on l'a observé pour les autres éléments, le maximum se produit en 1962 un mois plus tôt, en mars.

Le magnésium comme le calcium a tendance à baisser dans les parcelles témoins et passe de 0,65

en avril 1958 à 0,37 en avril 1963. Ceci s'explique en partie par la pluviométrie et nous trouvons aussi pour le magnésium une corrélation négative assez forte entre les chutes de pluies en janvier-février-mars et les teneurs en Mg en avril : $r = -0,75$.

3° Comparaison avec les courbes de variations de l'azote, du phosphore, du potassium et du calcium

Le maximum du magnésium se produit chaque année un mois avant celui de l'azote. Il coïncide tous les ans avec le minimum de K, puis les teneurs en K augmentent brusquement pour atteindre le maximum de mai-juin tandis que les concentrations en Mg tombent fortement.

Les courbes saisonnières de Ca et de Mg sont très semblables (comparer les graphiques XI et XIV) et les concentrations de ces deux éléments présentent une amplitude de variations du même ordre de grandeur.

Les teneurs en Mg en avril sont fortement reliées aux concentrations des autres éléments à la même période. Elles le sont négativement avec les teneurs en N ($r = -0,61$), les teneurs en P ($r = -0,73$), les teneurs en K ($r = -0,76$) ; elles le sont positivement avec les teneurs en Ca ($r = 0,88$).

Les teneurs en Ca et Mg sont liées positivement tout le long de l'année (en décembre, $r = 0,69$, en mai, $r = 0,65$). Pendant la période étudiée, c'est-à-

dire de mai 1957 à mai 1963, les teneurs en Ca et en Mg sont fortement reliées entre elles : $r = 0,94$.

Elles le sont aussi, mais beaucoup plus faiblement, avec les teneurs en N ($r = 0,50$) ; nous avons observé la même chose pour le calcium.

4° Influence des traitements sur les teneurs en magnésium

Pour le magnésium, on trouve des différences significatives entre les traitements beaucoup plus rarement que pour les autres éléments. Elles se manifestent seulement à partir de septembre 1960 : de septembre à décembre 1960, en octobre et décembre 1962, en avril 1962 et 1963.

Les traitements les plus riches sont le plus souvent ceux qui ne reçoivent pas d'engrais potassiques, mais ce n'est pas aussi constant que pour le calcium. Le graphique XVI représente les teneurs moyennes en magnésium des traitements P (théoriquement le plus riche) et K (théoriquement le plus pauvre). On voit que les deux courbes ne commencent à se séparer qu'en septembre 1960 et qu'elles demeurent constamment très voisines l'une de l'autre.

En analysant ensemble les teneurs en Mg aux mois d'avril 1962 et 1963, on trouve :

1) Des différences hautement significatives entre les blocs.

En moyenne, 0,369 pour le bloc I,
0,350 pour le bloc II,
0,315 pour le bloc III.

Les analyses pédologiques rapportées dans la première partie de cette étude montrent aussi que le bloc III est beaucoup moins riche en Mg que les autres puisqu'ils contiennent :

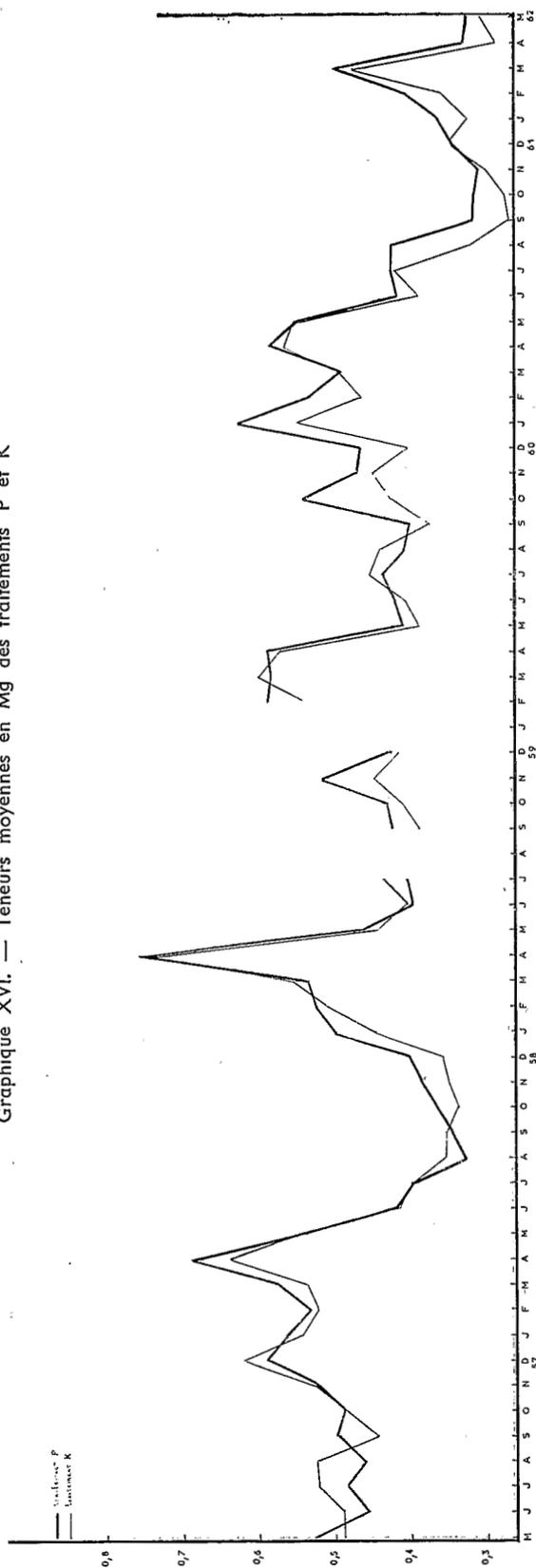
bloc I	2,09	milliéquiv. %	} (Mg échangeable)
bloc II	2,93	—	
bloc III	0,82	—	
bloc I	100,75	—	} (Mg total)
bloc II	119,73	—	
bloc III	3,90	—	

Les différences entre concentrations foliaires sont cependant moins accusées.

2) Des différences hautement significatives entre les années. La moyenne générale des vingt-sept parcelles en avril est égale à 0,310 en 1962 et 0,380 en 1963.

3) Une interaction année-bloc assez marquée. En avril 1962, la teneur moyenne en Mg de chaque

Graphique XVI. — Teneurs moyennes en Mg des traitements P et K

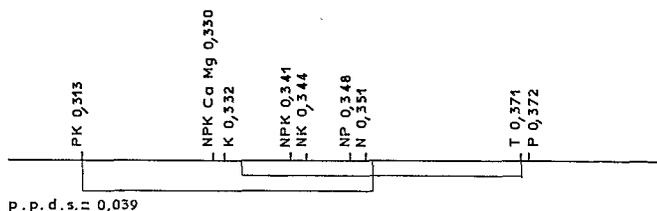


bloc est plus basse qu'en 1963, celle de 1963 étant plus élevée d'environ 20 % pour le bloc I, 33 % pour le bloc II, 16 % pour le bloc III.

4) Aucune interaction année-traitement.

5) Des différences significatives entre les traitements.

Comme le montre le graphique ci-dessous, les parcelles T et P sont les plus riches en Mg et sont significativement différentes des parcelles K, NPKCaMg et PK qui sont les plus pauvres.



Quand on analyse les teneurs en Mg des mois de décembre 1960, 1961, 1962, on trouve également :

1) Des différences significatives entre les blocs.

0,418 % pour le bloc I,
0,349 % pour le bloc II,
0,365 % pour le bloc III.

Le classement n'est pas le même qu'au mois d'avril, le bloc I est toujours le plus riche, mais c'est le bloc II le plus pauvre.

2) Des différences significatives entre les années.

Les teneurs en Mg ont tendance à baisser, puisque la moyenne des vingt-sept parcelles est de :

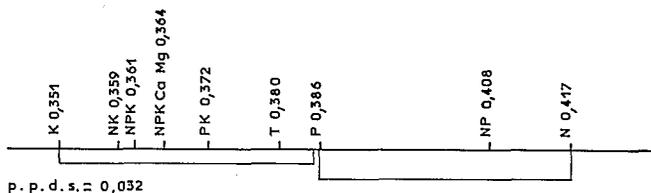
0,456 en 1960,
0,347 en 1961,
0,329 en 1962.

3) Une interaction année-bloc plus marquée qu'au mois d'avril.

4) Aucune interaction traitement-année.

5) Des différences significatives entre les traitements.

Comme le montre le graphique ci-dessous, les traitements sans K et avec K forment deux groupes plus séparés qu'en avril : P, N et NP sont significativement différents du traitement K qui est le moins riche en Mg.



5° Comparaison avec les données de la bibliographie

1) Variations annuelles des teneurs en magnésium

La plupart des auteurs rapportent que les courbes de variations du magnésium sont semblables à celles du calcium.

COOIL (V 6) aux Hawaï indique que les teneurs en Mg et en Ca ont tendance à monter pendant les mois de faibles pluies. Au Costa-Rica, CHAVERRI (V 5) obtient comme pour le calcium une courbe avec deux pointes en avril et septembre, mais moins accentuées ; MULLER (V 33) indique que les variations annuelles du magnésium ne sont pas bien nettes. ESPINOZA (V 10) au Salvador rapporte que les courbes du calcium et du magnésium ont la même allure.

Au Kenya, ROBINSON (V 39) constate comme nous que le magnésium diminue dans la feuille après la période de végétation active, avec un minimum en juillet-août, mais les variations sont peu nettes.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) observe des fluctuations plus marquées pour le calcium que pour le magnésium, ces deux éléments évoluant ensemble.

BUSH (V 2) sur Robusta, en République Centrafricaine, constate que les teneurs en Mg sont élevées pendant la saison sèche : à ce moment-là, les teneurs en Ca sont également élevées, les teneurs en K faibles. Le minimum est en juillet, les teneurs sont faibles d'avril à octobre.

2) Teneurs des feuilles en magnésium

Les teneurs en calcium rapportées dans la bibliographie étaient généralement plus élevées que les nôtres.

Pour le magnésium au contraire, elles sont souvent plus basses.

MACHADO (IV 38) relève au Brésil des teneurs élevées : 0,38 à 0,68 en mars 1955, 0,54 à 0,77 en août 1956. Il estime que 0,35 % est une concentration suffisante. Dans le même pays, LAINS E SILVA (V 16) considère 0,40 comme un bon niveau. LOTT (V 19 - V 20), en prélevant des feuilles dans de nombreuses plantations, obtient comme chiffres extrêmes 0,08 et 1,30 %. Il trouve en moyenne dans l'Etat de São Paulo des teneurs de 0,37 en hiver, 0,36 en automne, 0,30 au printemps, et aux mêmes saisons dans le Parana, 0,36, 0,37 et 0,34.

En Colombie, CATANI (V 4) relève en juillet (minimum) une moyenne de 0,338, en janvier (maximum) de 0,519. ABRUNA (IV 9 - V I) à Porto-Rico trouve en période minimum des teneurs de 0,21 à 0,30, en période maximum quand la récolte est mûre 0,35 à 0,59, les niveaux les plus bas de magnésium

sium correspondant aux niveaux les plus hauts de potassium.

Au Costa-Rica, CHAVERRI (V 5), en prélevant des échantillons dans l'ensemble des plantations, obtient des valeurs extrêmes de 0,13 à 0,71 avec

13 % des chiffres compris entre 0,13 et 0,20,
69 % entre 0,20 et 0,35
et 18 % au-dessus de 0,35 %.

ESPINOZA (V 10) au Salvador trouve 0,294 % en octobre et 0,354 en mars sur des parcelles sans engrais. Au Kenya, ROBINSON (V 39) relève des teneurs en Mg allant de 0,07 à 0,41 %, WARDEN (V 41) au Tanganyika, de 0,25 à 0,35.

JAMMAR (V 15) au Kivu trouve sur des échantillons prélevés en fin de saison sèche une moyenne de 0,392 avec 0,332 et 0,488 comme valeurs extrêmes; nous avons en janvier dans nos essais une moyenne de 0,450 avec 0,334 et 0,520 comme valeurs extrêmes (voir tableau 7).

CULOT (V 8) sur Arabica au Kivu trouve en fin de saison sèche des valeurs de 0,1 à 0,8 %, la plupart étant comprises entre 0,30 et 0,35.

Le même auteur, sur Robusta, au Congo (V 7), obtient 0,130 % de Mg sur des arbres déficients et 0,230 sur des arbres sains. FRANKART (V 13) dans le même pays estime que 0,35 % est un bon niveau en fin de saison sèche.

Sur Robusta en République Centrafricaine, BUSH (V 2) signale que les teneurs en Mg des feuilles dans ses essais varient de 0,422 à 0,561; quelques années plus tard FORESTIER (V 11) relève :

en décembre 1958	des teneurs de	0,18 à 0,26,
— 1959	—	0,22 à 0,30,
— 1960	—	0,25 à 0,43,
fin juillet 1960	—	0,26 à 0,35,

et BORGET (IV 14), des valeurs assez basses :

décembre 1956	: 0,11,
— 1957	: 0,13,
— 1958	: 0,15,
— 1959	: 0,21,
— 1960	: 0,25.

LOUÉ (V 24-26), sur Robusta, en Côte d'Ivoire, trouve des valeurs plus élevées :

A Daloa, 0,46 en avril, 0,64 en mars ;
A Akandjé, 0,84 en mars, 0,90 en juin.

3) Influence des traitements sur les teneurs en magnésium.

MACHADO (IV 38) au Brésil indique que des apports de poudre d'os augmentent les teneurs en Mg des feuilles : en avril 1956, 0,54 % dans les parcelles

témoins, 0,64 dans les parcelles traitées. En Colombie au contraire, PARRA (V 38), URHAN (V 40) constatent que la poudre d'os n'a aucun effet sur les teneurs des feuilles en Mg, mais qu'un apport de poudre d'os et de potasse les font diminuer de 0,47 à 0,39 %.

Au Kenya, ROBINSON (V 39) relève des teneurs de 0,38 % dans les parcelles avec « mulch » et de 0,44 dans les parcelles sans « mulch ». On sait que ce traitement apporte au sol beaucoup de potasse et la plupart des auteurs ont souligné l'existence de l'antagonisme K-Mg.

HUERTA (V 14) en Colombie a étudié l'influence de divers engrais sur les teneurs en Mg des feuilles, analysées à trois périodes différentes : septembre 1960, avril 1961, septembre 1961. Il constate qu'un apport d'engrais azoté diminue les teneurs en Mg des feuilles aux trois dates considérées :

N ₀ : 0,70	0,64	0,64
N : 0,66	0,56	0,60

[OLLAGNIER (III 14) en Haute-Volta sur arachide a constaté que des apports d'engrais magnésiens augmentaient la concentration en N des feuilles.]

Les engrais phosphatés seuls ont peu d'effet, joints à la potasse, ils font chuter les niveaux du magnésium dans les feuilles :

Témoins : 0,74	0,69	0,70
PK : 0,57	0,52	0,55

Les engrais magnésiens les relèvent :

Mg ₀ : 0,63	0,54	0,56
Mg : 0,73	0,66	0,68

[MULLER (V 33) au Costa-Rica a constaté la même chose, les niveaux passant de 0,310 à 0,362 % par apport au sol de sulfate de magnésie.]

HUERTA (V 14) montre encore que la potasse a pour effet de diminuer les teneurs en Mg des feuilles et d'autant plus qu'elle est apportée en plus grandes quantités: K₀ 0,31 % de Mg,

K₁₀ 0,30 de Mg,
K₂₀ 0,27 de Mg,
K₃₀ 0,24 de Mg.

ESPINOZA (V 10) au Salvador obtient 0,245 % dans les parcelles témoins, 0,201 dans les parcelles NPK.

Au Kenya, ROBINSON (IV 58) constate que des excès de potasse provoquent des déficiences en Mg; il estime qu'au-dessus de 0,30 % il n'y a pas déficience.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) signale qu'il se manifeste un fort antagonisme K-Ca et K-Mg.

Les mêmes constatations sont faites sur Robusta. CULOT (V 7) au Congo relève des teneurs de 0,240 %

sur arbres sains, 0,610 sur arbres déficients en N et en K, 0,530 sur arbres déficients en K.

BUSH (V 2) en République Centrafricaine observe que l'antagonisme K-Mg est plus marqué que l'antagonisme K-Ca. Alors que des apports de potasse ne diminuent pas les teneurs des feuilles en Ca, les niveaux de Mg sont significativement abaissés.

LOUÉ (V 26) rapporte que des niveaux élevés en Mg, de 0,90 à 1,0 %, dans des zones déficientes en K sont abaissés jusqu'à 0,45-0,63 par des apports de potasse.

En solution nutritive, FORESTIER (V 12) sur Robusta obtient les chiffres suivants :

0,07	en solution sans Mg,
0,29	— complète,
0,40	— sans Ca,
1,10	— sans K.

PRÉVOT (III 19) sur arachide au Sénégal indique également que des apports de potasse font diminuer les teneurs des feuilles en Ca et Mg.

BACHY (II 26) sur cocotier a particulièrement étudié les relations K-Ca-Mg. Il constate que K-Ca et K-Mg sont reliés positivement pour de faibles valeurs de K (inférieures à 0,6 %) et reliés négativement pour des valeurs de K plus fortes (supérieures à 0,6 %). Pour de fortes valeurs de K, il observe que l'antagonisme K-Mg est général.

6° Conséquences pratiques

1) Dates d'épandage des engrais magnésiens

Nous ne savons pas plus que pour les engrais calciques s'il est ou non opportun d'en employer. Le caféier a besoin de magnésium aux mêmes moments que de calcium ; les apports devraient par conséquent se faire début mars avec le premier épandage d'azote et début novembre avec le dernier épandage d'azote.

2) Dates de prélèvement des feuilles en vue d'effectuer un diagnostic foliaire

Pour l'étude de l'alimentation en magnésium du caféier, avril et décembre peuvent être retenus.

F. — CONCLUSION

Dans ce chapitre II, où nous avons étudié tout au long de l'année les niveaux de N-P-K-Ca-Mg dans les feuilles échantillonnées, nous avons montré qu'à certaines époques la fumure appliquée n'avait aucune influence sur la composition des feuilles : il ne se manifeste entre les divers lots aucune diffé-

rence significative. Il en est généralement ainsi en février, mars, juillet, août, où les niveaux sont bas. A d'autres époques au contraire, on trouve des chiffres significativement différents suivant les parcelles d'où provient le matériel végétal analysé : c'est principalement en avril-mai, au moment des premières pluies, quand reprend la poussée végétative et que se produisent les floraisons ; et aussi en fin de récolte, en décembre et janvier.

Mais c'est le début du mois d'avril qui constitue l'époque la plus remarquable. A ce moment-là en effet, où ont lieu le plus souvent les floraisons, on observe pour les cinq éléments étudiés des différences significatives de concentration entre les lots de feuilles issues de parcelles différemment fumées.

Ainsi les échantillons N et NP avec 3,230 et 3,160 % sont significativement plus riches en N que les autres, PK, K et P avec 2,991, 3,015 et 3,025, significativement moins riches que les traitements à fumure azotée.

P, avec 0,208 %, est significativement plus riche en phosphore que tous les traitements recevant des engrais azotés, à l'exception de NP. NK, avec 0,190 %, est le plus pauvre.

Les parcelles K fournissent les feuilles les plus riches en cet élément, avec 3,327 %. N et NP avec 2,612 et 2,768 ont des teneurs significativement plus basses que tous les traitements recevant une fumure potassique.

P, avec 1,068 % de Ca, est plus riche que les autres, NPK le moins riche avec 0,870.

Les différences déjà moins marquées pour Ca que pour N, P et K, le sont moins encore pour Mg. Cependant P et T avec 0,372 et 0,371 % sont significativement plus riches que K, NPK, CaMg et PK (0,313 %).

Mais il est d'autres époques de l'année où les différences de concentrations foliaires entre traitements sont plus accusées : en mai pour N, en décembre pour P, en décembre pour K, en octobre et décembre pour Ca, en octobre pour Mg.

Ce n'est donc pas à ce titre que le mois d'avril est remarquable : il nous paraît plus intéressant de constater que les teneurs des feuilles en N-P-K-Ca-Mg sont fortement liées aux pluies tombées en janvier-février-mars. Nous avons déjà signalé qu'il y a une corrélation positive hautement significative entre les pluies de cette période et les productions des arbres quelques mois plus tard : $r = + 0,93$.

On trouve aussi entre les teneurs en éléments minéraux au mois d'avril et les hauteurs des pluies des trois mois précédents de fortes corrélations :

Pluies de janv.-fév.-mars — Teneurs en N en avril :
 $r = + 0,82$

Pluies de janv.-fév.-mars — Teneurs en P en avril :
 $r = + 0,76$

Pluies de janv.-fév.-mars — Teneurs en K en avril :

$$r = + 0,80$$

Pluies de janv.-fév.-mars — Teneurs en Ca en avril :

$$r = - 0,64$$

Pluies de janv.-fév.-mars — Teneurs en Mg en avril :

$$r = - 0,75$$

(r est significatif à $P = 0,05$ à partir de $\pm 0,42$).

Les teneurs en N, P et K sont liées positivement aux chutes de pluies, les teneurs en Ca et Mg négativement : on retrouve l'antagonisme K-CaMg.

Il s'ensuit que les teneurs en N, P, K, Ca, Mg sont fortement liées entre elles à cette époque, comme le montre le tableau ci-dessous.

	P	K	Ca	Mg
N	+ 0,84	+ 0,67	- 0,54	- 0,61
P		+ 0,75	- 0,67	- 0,73
K			- 0,66	- 0,76
Ca				+ 0,88

(r est significatif à $P = 0,05$ à partir de la valeur $\pm 0,20$).

Les corrélations sont positives entre N, P et K, Ca et Mg d'une part, négatives entre CaMg et les trois autres éléments d'autre part.

L'antagonisme K-Ca et K-Mg et le synergisme Ca-Mg sont nettement marqués.

Mais ces corrélations très fortes au mois d'avril deviennent plus faibles et même disparaissent à d'autres époques de l'année.

Ainsi au mois de mai, où se forment les jeunes fruits, il n'y a plus de liaisons significatives entre N et P, N et K, N et Mg. Il reste une corrélation plus faible entre :

$$N \text{ et Ca : } r = - 0,49,$$

$$P \text{ et Ca : } r = - 0,47,$$

$$P \text{ et Mg : } r = - 0,38,$$

$$Ca \text{ et Mg : } r = + 0,65.$$

L'antagonisme K-Ca et K-Mg est moins marqué qu'au mois d'avril, puisque r est égal dans les deux cas à $- 0,39$. Il ne se manifeste plus en décembre, où il ne reste de liaison significative qu'entre :

$$N \text{ et Ca : } r = - 0,32,$$

$$N \text{ et Mg : } r = - 0,43,$$

$$P \text{ et K : } r = + 0,36,$$

$$Ca \text{ et Mg : } r = + 0,69.$$

Le synergisme Ca-Mg reste très marqué tout au long de l'année.

Le mois d'avril constitue donc une période remarquable pour l'étude des teneurs de la feuille en éléments minéraux. L'examen des corrélations entre ces teneurs et les rendements (objet de la troisième partie de cette étude) montrera si cette époque peut être retenue pour l'application d'un diagnostic foliaire.

III. — RAPPORTS DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS ENTRE EUX

Au cours des pages précédentes, nous avons étudié dans les feuilles échantillonnées les teneurs en N-P-K-Ca-Mg indépendamment les unes des autres.

Or, s'il est intéressant de connaître le niveau d'un élément dans les feuilles, sa concentration par rapport aux autres est aussi très importante et nous citerons seulement parmi de nombreux exemples les conclusions des chercheurs de l'IRHO travaillant sur arachide au Sénégal, selon lesquels : « Pour le P... on a pu constater que la teneur suffisante des feuilles en P n'était pas fixe et variait selon les teneurs en N » (GILLIER III 3).

On examine le plus souvent les teneurs relatives de N-P-K et K-Ca-Mg. Nous allons rapidement confronter nos chiffres avec ceux de la bibliographie.

A. — TENEURS RELATIVES EN AZOTE PHOSPHORE ET POTASSIUM

Dans nos essais, le rapport N/P varie de 10 à 20 au cours de la période étudiée (mai 1957-mai 1963) ; les valeurs les plus fréquentes sont comprises entre 12,6 et 16,5.

On trouve des chiffres de cet ordre dans la bibliographie : ainsi CULOT (V 8) au Kivu estime qu'il y a déficience en phosphore lorsque ce rapport dépasse 18 ; sur Arabica, CATANI (V 4), LOTT (V 19-20). MALAVOLTA (V 29) au Brésil, PARRA (V 35) en Colombie, ESPINOZA (V 10) au Salvador, et sur Robusta, LOUÉ (V 26) en Côte d'Ivoire trouvent

des valeurs voisines de 20, ROBINSON (V 39) au Kenya, MULLER (V 33) au Costa-Rica, ABRUNA (V 1) à Porto-Rico, des valeurs voisines de 15.

La somme N + P + K n'a pas grande signification physiologique. Elle est calculée non pour elle-même, mais pour connaître les pourcentages respectifs de N, P et K.

Elle varie dans nos essais de 4,75 à 8,50, avec le plus grand nombre des valeurs comprises entre 5,70 et 6,50. CATANI (V 4) et LOTT (V 20) au Brésil rapportent des chiffres très voisins, mais tant en Amérique centrale qu'en Afrique, d'après les auteurs déjà cités, N + P + K égale 3 à 5.

Le pourcentage de phosphore dans cette somme varie dans nos essais de 2,4 à 4 %, le plus souvent de 2,9 à 3,5. Les mêmes valeurs sont trouvées en Amérique centrale, au Brésil, tandis que ROBINSON (V 39) au Kenya donne une moyenne de 2,3 %. Sur Robusta, en Côte d'Ivoire, LOUÉ (V 24) obtient des pourcentages en P de 2,8 à 4,1 % en zone pauvre en potasse (Akandjé), de 2,0 à 2,6 en zone plus riche (Daloa).

JAMMAR (V 15) au Kivu fait ces calculs à deux époques de l'année : au moment de la récolte au début de la saison sèche — il obtient alors 3 à 3,6 (dans nos parcelles en décembre, 3 à 3,9) — et en saison des pluies au moment de la poussée végétative ; les valeurs qu'il rapporte sont alors plus élevées que dans nos essais : 3,2 à 3,8 % contre 2,6 à 3,4 %.

Les différences cependant sont beaucoup plus accusées pour les pourcentages de N et de K. Nous avons déjà signalé en effet que les concentrations en potassium de nos feuilles étaient beaucoup plus élevées qu'ailleurs, comparables seulement à celles que trouve au Kenya ROBINSON (V 39).

Il en résulte que le pourcentage d'azote à l'inférieur de la somme N + P + K sera dans nos essais généralement plus faible et celui de K généralement plus élevé que dans la bibliographie.

N varie de 39,2 à 58 %, le plus souvent de 43,7 à 51 %. ROBINSON (V 39) donne 41,8 de moyenne. LOUÉ (V 24) en Côte d'Ivoire sur Robusta trouve en région riche en potasse (Daloa) 44,9 à 56,1 %, mais par contre 67,4 à 77,2 en zone pauvre (Akandjé). En Colombie, PARRA (V 35), qui travaille lui aussi sur des sols déficients en potasse, signale une moyenne de 71,4 % de N foliaire dans la somme N + P + K.

Sans être aussi élevées, les valeurs rapportées par CATANI (V 4), LOTT (V 19-20), MACHADO (IV 38), MALAVOLTA (V 29) au Brésil, par ESPINOZA (V 10), MULLER (V 33), CHAVERRI (V 5) en Amérique centrale dépassent les nôtres, puisqu'elles sont respectivement de 50 à 63 % et de 50 à 55 %.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) trouve en saison des pluies 57 à 59,5 % d'azote et 55 à 58 % en saison

sèche, contre 42,2 à 53,3 % et 44,9 à 51,5 % dans nos essais.

Le pourcentage de potassium dans la somme N + P + K varie dans nos feuilles de 39 à 57,5 %, dans la plupart des cas de 46 à 53. C'est ce que trouve LOUÉ (V 26) dans la région de Daloa : 41,3 à 53 %. ROBINSON (V 39) au Kenya donne une moyenne annuelle de 55,4 % : les teneurs en K sont du même ordre de grandeur que dans nos essais, mais les teneurs en N y sont plus faibles.

ESPINOZA (V 10) au Salvador, MULLER (V 33) au Costa-Rica trouvent environ 46 %.

Généralement les chiffres rapportés sont plus bas : entre 35 et 45 % au Brésil (CATANI V 4, LOTT V 19-20, MACHADO IV 38, MALAVOLTA V 29), à Porto-Rico (ABRUNA V 1), 25,2 % en Colombie (PARRA V 35), 19,4 à 28,5 % en Basse Côte d'Ivoire sur terrains pauvres en potasse (LOUÉ V 24, Akandjé).

Au Kivu, JAMMAR (V 15) au moment du développement végétatif trouve de 37,5 à 39,5 % de potassium dans les feuilles, et pendant la récolte de 38,5 à 41,5 %. Nous avons dans nos essais aux mêmes époques 43,5 à 54,9 et 45 à 51,6 %.

Naturellement, le rapport N/K est lui aussi beaucoup plus faible, puisqu'il varie dans nos parcelles de 0,62 à 1,52 %, compris le plus souvent entre 0,83 et 1,08. C'est dire que les teneurs en K sont à quelques exceptions près plus élevées que les teneurs en N. Il en est de même au Kenya où ROBINSON (V 39) donne une valeur moyenne de 0,75.

Ce rapport est voisin de 1 en Amérique centrale (ESPINOZA V 10, MULLER V 33) ; il varie de 1,5 à 3 au Brésil (CATANI V 4, LOTT V 19, MACHADO IV 38, MALAVOLTA V 29, MEDCALF IV 40). A Akandjé (Basse Côte d'Ivoire), où les teneurs des feuilles en potassium sont très faibles, LOUÉ (V 21-26) obtient des chiffres élevés : 3,2 à 7,9 %.

B. — TENEURS RELATIVES EN POTASSIUM, CALCIUM ET MAGNÉSIUM

La somme K + Ca + Mg est souvent calculée comme « indice de minéralisation » des feuilles.

Elle a dans nos essais une valeur assez élevée, toujours à cause des fortes teneurs en K que nous avons signalées : comprise le plus souvent entre 4 et 4,5, elle varie de 3,3 à 5,6.

Les chiffres de la bibliographie sont généralement plus faibles : 3 à 4 au Brésil (MACHADO IV 38), en Colombie (PARRA V 35), au Costa-Rica (CHAVERRI V 5, MULLER V 33) ; 2,8 à 3,5 sur Robusta en Côte d'Ivoire dans la région pauvre en potasse d'Akandjé (LOUÉ V 21-26), mais 3 à 4,9 à Daloa où les sols sont plus riches. Au Salvador, ESPINOZA (V 10) donne une moyenne de 4,6, ROBINSON (V 39) au Kenya de 4,24.

Mais il est plus intéressant de considérer les rapports K, Ca et Mg.

Ca/K est toujours dans nos essais très inférieur à 1, puisqu'il varie entre 0,17 et 0,90, le plus souvent entre 0,26 et 0,37. Il est également plus petit que 1 au Kenya, où ROBINSON (V 39) donne 0,45 comme valeur moyenne, au Salvador et au Costa-Rica, où il est voisin de 0,60 (CHAVERRI V 5, ESPINOZA V 10). Au Brésil, il atteint en moyenne 1,2 (MACHADO IV 38), 2 en Colombie (PARRA V 35). LOUÉ (V 21-26), en Côte d'Ivoire, sur Robusta, trouve des chiffres très élevés pour la région d'Akandjé, jusqu'à 8,9.

Il semble donc que les teneurs en calcium dans nos essais soient faibles par rapport aux teneurs en potassium.

K/Mg, le plus souvent compris entre 5,75 et 8,05, varie de 3 à 14,7. Au Kenya, ROBINSON (V 39) trouve 6,4 sur caféiers sains, 10 sur arbres déficients en Mg et jusqu'à 32 sur plants carencés à la fois en Fe et Mg. MULLER (V 33) au Costa-Rica donne 11,9 comme moyenne, ESPINOZA (V 10) 8,5 au Salvador, ABRUNA (V 1) 6,5 à Porto-Rico. Au Brésil K/Mg a une valeur plus faible; il varie le plus souvent entre 2 et 3, mais peut aller de 1,2 à 6,6 (MACHADO IV 38). PARRA (V 35) en Colombie trouve 2,1.

$\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$ a dans nos essais des valeurs comprises entre 1,01 et 0,26; les plus nombreuses allant de 0,39 à 0,54. Elles sont faibles par rapport aux chiffres de la bibliographie, puisque même au Kenya où les teneurs en K sont élevées, ce rapport vaut en moyenne 0,60 (ROBINSON V 39). Il varie de 0,55 à 0,75 au Costa-Rica (CHAVERRI V 5), autour de 0,75 au Salvador (ESPINOZA V 10). A Porto-Rico (ABRUNA V 1), il se rapproche de l'unité: 0,98; au Brésil, il est compris le plus souvent entre 1,5 et 2, mais peut atteindre 0,65 et 3,44 (MACHADO IV 38). PARRA (V 35) en Colombie trouve 2,43.

Sur Robusta, FORESTIER (V 11) en R. C. A. obtient en décembre des valeurs variables:

1958 : 0,65 à 0,86
1959 : 0,48 à 0,81
1960 : 1,11 à 1,29

plus élevées que les nôtres, puisqu'en moyenne sur les cinq années étudiées $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$ varie au mois de décembre de 0,37 à 0,55.

Il est intéressant de considérer les concentrations relatives des trois cations K, Ca, Mg.

Naturellement, le pourcentage de K dans la somme K + Ca + Mg est élevé dans nos essais: 49,3 à 79,5 %, le plus grand nombre des valeurs étant compris entre 59,7 et 73,6 %.

Les chiffres rapportés par LOUÉ (V 24-26) en quelques points de la région de Daloa en Côte d'Ivoire s'en rapprochent: 60 à 73 %, ainsi que

ceux de ROBINSON (V 39) au Kenya: 62,3 %; en quelques points du Brésil, où les caféiers reçoivent de fortes fumures potassiques, MACHADO (IV 38) trouve 60,6 %; CHAVERRI (V 5) 57 à 64 % au Costa-Rica, ESPINOZA (V 10) 58 % au Salvador.

Mais les valeurs rapportées sont généralement plus faibles: 10 à 70 % au Kivu, avec le plus grand nombre compris entre 30 et 50 % (CULOT V 8). Au Congo, le même auteur (V 7) trouve 44 % de K sur caféiers Robusta déficients en Mg, 38 % sur arbres sains, 12 % sur les sujets déficients en K. FRANKART (V 13) sur le même matériel végétal estime qu'il y a déséquilibre quand le pourcentage de K dans la somme K + Ca + Mg est inférieur à 20 %.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) trouve en saison des pluies 54 à 58 %, 59 à 63 en saison sèche: nous avons pour les mêmes périodes 59,7 à 73,6 % et 63,4 à 72,8 % de K.

A Porto-Rico, ABRUNA (V 1) donne une moyenne de 47,3 %, PARRA (V 35) en Colombie de 29 %.

Sur les sols pauvres en potasse de la région d'Akandjé, LOUÉ (V 21-26) en Côte d'Ivoire trouve de 19,3 à 26,6 % de K.

Par contre, les pourcentages de Ca dans la somme K + Ca + Mg sont faibles dans nos essais: 13,5 à 34,2 %, le plus souvent entre 18 et 25.

LOUÉ (V 24-26) à Daloa en trouve 22 à 30 %, ROBINSON (V 39) au Kenya 28 %, CHAVERRI (V 5) au Costa-Rica 27 à 36 %, ESPINOZA (V 10) au Salvador 35 %, ABRUNA (V 1) à Porto-Rico 40 %, LOUÉ (V 24-26) à Akandjé 47,5 à 51 %, PARRA (V 35) en Colombie 57 %, MACHADO (IV 38) au Brésil 30 à 58 %.

Au Kivu, CULOT (V 8) relève des valeurs allant de 10 à 70 %, le plus grand nombre étant compris entre 30 et 50. Ce même auteur (V 7) trouve 48 % de Ca sur Robusta déficients en Mg, 47 % sur arbres sains, 51 % sur plants déficients en K. FRANKART (V 13), toujours sur Robusta au Congo, estime qu'il y a déséquilibre lorsque le pourcentage en Ca dans la somme K + Ca + Mg est inférieur à 38 et supérieur à 64 %.

Au Kivu, JAMMAR (V 15) a en saison des pluies 31 à 34 % de Ca, en saison sèche 27 à 31; nous relevons aux mêmes époques dans nos essais 18 à 28 % et 18 à 25 %.

Le taux de magnésium dans la somme K + Ca + Mg varie dans nos parcelles de 5,4 à 16,8 %, le plus grand nombre des valeurs étant compris entre 8,3 et 12,4 %.

On trouve dans la bibliographie quelques chiffres plus faibles: 4 % au Costa-Rica (MULLER V 33), 6,7 au Salvador (ESPINOZA V 10), 7,3 à Porto-Rico (ABRUNA V 1).

Au Kenya, ROBINSON (V 39) obtient en moyenne 9,7, PARRA (V 35) en Colombie 13,9, CULOT (V 8) au Kivu 10 à 50 %, le plus souvent 15 à 30 %. Cet auteur (V 7) a relevé sur Robusta 8 % de Mg sur

arbres déficients en cet élément, 15 % sur sujets sains, 37 % sur plants déficients en K. FRANKART (V 13) estime qu'il y a déséquilibre quand le pourcentage de Mg dans la somme K + Ca + Mg est inférieur à 9 %. C'est aussi l'avis de LOUÉ (V 24-26), qui dans la région de Daloa en Côte d'Ivoire trouve de 5 à 10 % de Mg sur arbres déficients en cet élément.

JAMMAR (V 15) au Kivu obtient des chiffres très voisins des nôtres : 9,5 à 11,5 % en saison des pluies (8 à 12,4 dans nos essais), 9 à 11 % en saison sèche (9,1 à 11,6 dans nos parcelles).

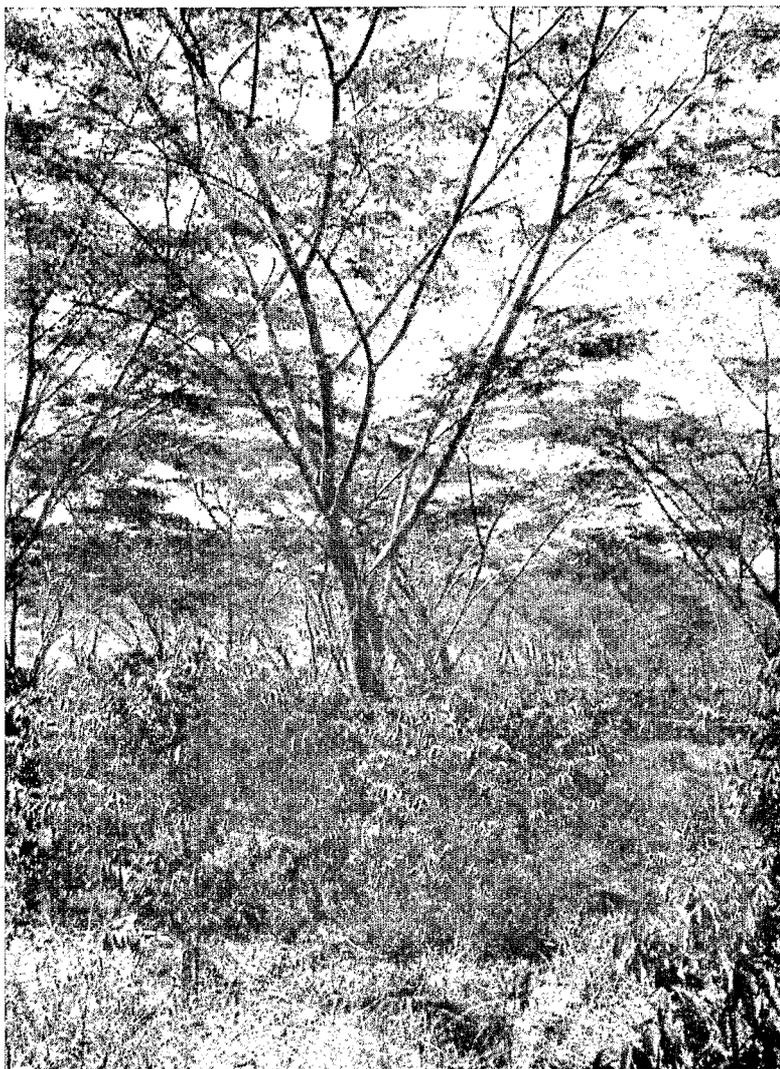
Ainsi l'examen rapide de ces différentes sommes

ou rapports confirme ce qu'indiquait déjà l'étude des teneurs en N, P, K, Ca, Mg considérées indépendamment les unes des autres. **Les teneurs en potassium sont élevées, surtout si on les compare aux teneurs en calcium qui sont assez faibles.**

Y a-t-il vraiment déséquilibre ?

Les concentrations relatives en potassium et calcium trouvées dans les feuilles ont-elles une influence sur la production des arbres ?

La troisième partie de cette étude, consacrée à l'examen des corrélations totales et partielles qui existent entre teneurs en éléments minéraux et rendements a pour but de nous éclairer sur ce point.



C. arabica au Cameroun

Cl. Coste

Troisième partie

Rendements et analyses foliaires

Cette troisième partie doit être l'aboutissement des deux précédentes, la première exposant l'influence des traitements fertilisants sur la production, la deuxième les résultats des analyses foliaires. L'essai a pour but en effet, par l'étude des corrélations qui existent entre rendements et teneurs en N, P, K, Ca, Mg et éventuellement la détermination de leurs niveaux critiques, de jeter les bases d'un diagnostic foliaire qui devrait permettre d'apprécier l'état nutritif d'une plante, d'après l'analyse de ses feuilles.

Dans ce but, nous avons :

1. Calculé les coefficients de corrélation qui unissent rendements et teneurs des feuilles en éléments minéraux tout au long de l'année.
2. Étudié, en fonction des quantités de fruits produits, les concentrations absolues et relatives des cinq éléments déjà cités.

Ces deux points vont être développés dans les deux chapitres qui suivent.

I. — ÉTUDE DES CORRÉLATIONS TOTALES ET PARTIELLES ENTRE RENDEMENTS ET TENEURS EN N, P, K, Ca, Mg

Pour le calcul de ces corrélations, nous disposons d'une part des chiffres de production de vingt-sept parcelles pendant sept ans, d'autre part des concentrations en N, P, K, Ca, Mg des feuilles prises dans chacune d'elles à chaque début de mois, de mai 1957 à mai 1962 inclus, et aussi en octobre, novembre, décembre 1962, janvier, avril et mai 1963.

Pour les cinq éléments cités, nous avons calculé, mois par mois, le coefficient r qui unit la teneur des feuilles au poids de récolte obtenu dans la même parcelle l'année correspondant au prélèvement foliaire. Comme le caféier Arabica produit des fruits sur le bois formé l'année précédente et que la récolte se fait de septembre à janvier, nous avons aussi calculé r en prenant les teneurs en éléments et les productions des mêmes parcelles l'année suivante, ceci pour les mois de mai, août, septembre, octobre, novembre, décembre (indiqués « a. p. » dans les tableaux).

Aussi ces coefficients sont-ils, suivant le mois, calculés à partir de 135 à 189 données : 135 pour le mois de juillet par exemple, où les analyses ont été faites en 1958, 59, 60 et 61, 189 pour le mois de mai, où nous disposons aussi des chiffres de 1957 et 1963.

A. — ÉTUDE DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION TOTALE

1° Entre rendements et teneurs en azote

Les résultats exposés dans la première partie de cette étude laissent supposer que rendements et teneurs en N des feuilles doivent présenter des corrélations positives et significatives. Le tableau 1, p. 68, réunit les valeurs de r ; nous avons noté en gras les plus fortes et marqué d'un astérisque celles qui sont significatives à $P = 0,05$ (r le devient à partir de 0,20 lorsqu'il est calculé sur plus de 100 données élémentaires).

L'examen de ce tableau montre qu'à deux exceptions près, d'ailleurs non significatives, rendements et teneurs en azote sont toujours liés positivement. La liaison est toujours significative de mai à décembre précédant la récolte (« a. p. » dans le tableau), en janvier, avril et mai, juillet et août.

Le coefficient r a les plus fortes valeurs en novembre et décembre de l'année précédente, ce qui montre l'importance d'une bonne alimentation au

TABLEAU 1

Corrélations entre azote foliaire et production

Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
mai a. p.	0,20*	janv.	0,38*	mai	0,47*
juin a. p.	0,28*	févr.	0,04	juin	0,05
juil. a. p.	0,27*	mars	0,03	juil.	0,24*
août a. p.	0,34*	avril	0,57*	août	0,22*
sept. a. p.	0,35*			sept.	— 0,06
oct. a. p.	0,34*			oct.	0,12
nov. a. p.	0,51*			nov.	— 0,05
déc. a. p.	0,51*			déc.	0,09

début de la grande saison sèche pour la récolte à venir (r est encore assez élevé en janvier) et confirme la nécessité d'un apport d'engrais azoté en octobre-novembre, déjà suggéré par l'étude de la courbe des teneurs en azote des feuilles au cours de l'année. En fin de saison sèche, au moment du repos végétatif (février-mars), il n'y a pas de liaison entre les rendements et le niveau de l'azote dans les feuilles. Le coefficient r prend de fortes valeurs au début de la saison des pluies, en particulier à l'époque des floraisons : + 0,57 en avril, + 0,47 en mai. On trouve encore une liaison positive significative, mais beaucoup plus faible entre rendements et teneurs en N des feuilles pendant la petite saison sèche qui précède la récolte, c'est-à-dire en juillet-août. A partir de septembre, quand commence la cueillette, et jusqu'en décembre, aucune liaison ne se manifeste entre teneurs en N et poids de fruits.

On peut remarquer que les valeurs de r sont les plus élevées aux dates où les teneurs en azote des feuilles sont justement les plus élevées, avril-mai, novembre à janvier, et où apparaissent aussi entre les traitements les plus fortes différences significatives entre concentrations des feuilles en N.

Ces deux périodes, floraison et début de saison sèche, sont par conséquent celles qu'il faut choisir pour prélever des feuilles en vue d'un diagnostic foliaire.

Etant donné l'importance de l'élément azoté vis-à-vis des rendements, nous avons également calculé r en prenant les données d'un mois pour chacune des années (soit 27, et r à P = 0,05 est alors significatif à partir de 0,38), en prenant les données d'un mois année par année et bloc par bloc (soit 9, et r à P = 0,05 n'est significatif qu'à partir de 0,63). Nous avons constaté aussi que les corrélations les plus fortes sont obtenues au moment des floraisons (avril) et au début de la saison sèche, décembre de l'année précédant la récolte.

L'analyse statistique des poids de fruits récoltés montrait, outre des différences significatives entre traitements, des différences entre années et blocs. Le calcul de r, bloc par bloc (soit 45 à 63 données sui-

vant le mois considéré), indique que pour le bloc I dont le sol est le plus perméable, les valeurs de r significatives sont les plus hautes et les plus nombreuses ; pourtant, si on ne considère que les deux périodes retenues pour appliquer un diagnostic foliaire, r est significatif tout autant pour les blocs II et III.

2° Entre rendements et teneurs en phosphore

TABLEAU 2

Corrélations entre phosphore foliaire et production

Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
mai a. p.	—	janv.	— 0,14*	mai	0,15
juin a. p.	—	févr.	— 0,48*	juin	0,12
juil. a. p.	—	mars	— 0,39*	juil.	— 0,03
août a. p.	0,15	avril	0,40*	août	0,14
sept. a. p.	0,18			sept.	— 0,12
oct. a. p.	0,09			oct.	0,01
nov. a. p.	0,03			nov.	0,08
déc. a. p.	— 0,21*			déc.	— 0,33*

L'examen du tableau 2 montre qu'entre teneurs en P et rendements, les valeurs significatives de r sont beaucoup moins fréquentes qu'entre teneurs en N et rendements. Elles sont significatives en février, au cœur de la saison sèche, r = — 0,48, et en décembre où la liaison est plus faible, que ce soit avec les rendements de l'année même, — 0,33, ou de l'année suivante, — 0,21. En février, il n'y a aucune liaison entre rendements et teneurs en azote, r = 0,04, ni par voie de conséquence entre N et P, r = 0,18.

Par contre, en avril, rendements et teneurs en P des feuilles sont positivement liés entre eux, r = 0,40. Nous avons signalé, dans la deuxième partie de cette étude, qu'à ce moment-là tous les éléments étudiés présentaient entre eux des liaisons significatives, soit positives, entre N-P et K, entre Ca et Mg, soit négatives, entre les trois premiers éléments et les deux derniers. N et P sont très fortement liés entre eux, r = 0,78. La forte valeur de r qui existe au mois d'avril entre rendements et teneurs en phosphore traduit certainement beaucoup plus l'effet de la liaison N-P qu'une véritable liaison P-rendements.

3° Entre rendements et teneurs en potassium

L'examen du tableau 3 montre qu'il y a peu de fortes liaisons entre teneurs des feuilles en potassium et rendements ; ceci n'est pas surprenant puisque nous sommes en présence de fortes concentrations de K. Elles sont même généralement négatives,

mais faibles, sauf en mars, fin de la saison sèche où r atteint la valeur de — 0,44 ; il en est ainsi en février, juin, juillet, puis pendant la récolte en septembre, octobre et décembre, ce qui s'explique certainement par l'appel de K des feuilles vers les fruits, qui se produit à cette époque. Les teneurs en K en octobre sont également reliées de façon négative mais faible avec les rendements de l'année suivante.

C'est seulement en avril qu'on relève entre production et teneurs en potassium une liaison positive encore faible, $r = 0,25$. Comme pour le phosphore, il semble surtout qu'elle s'explique par la forte corrélation qui existe à ce moment-là entre N et K, $r = 0,67$, car rendements et teneurs en avril sont liés par $r = 0,57$.

TABLEAU 3

Corrélations entre potassium foliaire et production

Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
mai a. p.	—	janv.	— 0,09	mai	0,10
juin a. p.	—	févr.	— 0,31*	juin	— 0,20*
juil. a. p.	—	mars	— 0,44*	juil.	— 0,31*
août a. p.	— 0,03	avril	0,25*	août	— 0,15
sept. a. p.	0,09			sept.	— 0,31*
oct. a. p.	— 0,24*			oct.	— 0,24*
nov. a. p.	0,13			nov.	— 0,15
déc. a. p.	— 0,09			déc.	— 0,22*

4° Entre rendements et teneurs en calcium et en magnésium

Comme ces deux éléments sont fortement reliés l'un à l'autre de façon positive toute l'année — r varie de 0,52 à 0,85 sauf en juin et juillet où $r = 0,20$ et 0,25 — il est intéressant de les étudier ensemble dans leurs relations avec les rendements. L'examen des tableaux 4 et 5 montre que les valeurs de r significatives sont nombreuses : elles le sont toutes en ce qui concerne le magnésium, il n'y a que deux exceptions pour le calcium. Mais les choses sont moins simples que pour les autres éléments.

En effet, les teneurs en calcium et les teneurs en magnésium sont liées négativement aux rendements de janvier à mai, de façon assez forte (r varie de — 0,34 à — 0,50 pour Ca, de — 0,36 à — 0,46 pour Mg). C'est le moment où les concentrations en ces éléments augmentent dans les feuilles, le maximum étant en avril. A cette date, Ca et N, Mg et N sont fortement liés par $r = -0,57$ et $-0,67$; Ca et Mg sont également fortement reliés aux teneurs en K, $r = -0,66$ et $-0,78$ et c'est le seul moment où K et les rendements sont reliés positivement de façon faible mais significative, $r = 0,25$.

Deux mois avant et pendant la récolte, c'est-à-dire de juin à décembre, rendements et teneurs en

Ca et Mg sont reliés positivement, souvent de façon assez étroite, tandis que les teneurs en K sont négativement reliées aux productions quoique de façon faible : r varie de 0,29 à 0,59 pour Ca, de 0,32 à 0,59 pour Mg, de — 0,22 à — 0,31 pour K ; K et Ca, K et Mg sont aussi négativement reliés pendant cette période, $r = -0,22$ à — 0,32 pour le premier groupe, — 0,35 à — 0,98 pour le deuxième : l'antagonisme K-Mg est à cette période plus marqué que l'antagonisme K-Ca.

Mais si on calcule les liaisons qui existent entre les teneurs en Ca et Mg de septembre à décembre et les productions de l'année suivante, on trouve des valeurs de r négatives et, surtout en ce qui concerne le magnésium, assez fortes : r variant de — 0,21 à — 0,42 et de — 0,31 à — 0,60.

Cette apparente contradiction : teneurs en Ca et Mg positivement reliées à la production en cours et négativement à la production de l'année suivante, pourrait s'expliquer par une alternance régulière de bonnes et mauvaises récoltes, ce qui n'est pas exactement réalisé, mais s'observe pourtant assez fréquemment. Ainsi, nous avons relevé au mois de décembre, d'une part les teneurs en Ca et les teneurs en Mg correspondant à des parcelles dont la production a été faible cette année-là et forte l'année suivante et, d'autre part, les teneurs en Ca et Mg cor-

TABLEAU 4

Corrélations entre calcium foliaire et production

Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
mai a. p. ...	—	janv.	— 0,34*	mai	— 0,42*
juin a. p. ...	—	févr.	— 0,40*	juin	0,02
juil. a. p. ...	—	mars	— 0,38*	juil.	0,29*
août a. p. ...	— 0,03	avril	— 0,51*	août	0,41*
sept. a. p. ...	— 0,21*			sept.	0,45*
oct. a. p. ...	— 0,33*			oct.	0,46*
nov. a. p. ...	— 0,24*			nov.	0,59*
déc. a. p. ...	— 0,42*			déc.	0,43*

TABLEAU 5

Corrélations entre magnésium foliaire et production

Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
mai a. p. ...	—	janv.	— 0,42*	mai	— 0,25*
juin a. p. ...	—	févr.	— 0,39*	juin	0,32*
juil. a. p. ...	—	mars	— 0,36*	juil.	0,40
août a. p. ...	— 0,20*	avril	— 0,46*	août	0,59*
sept. a. p. ...	— 0,31*			sept.	0,46*
oct. a. p. ...	— 0,52*			oct.	0,39*
nov. a. p. ...	— 0,43*			nov.	0,36*
déc. a. p. ...	— 0,60*			déc.	0,34*

respondant à des parcelles dont la production a été forte cette année-là et faible l'année suivante. Les moyennes obtenues, 0,829 pour Ca, 0,370 pour Mg dans le premier cas, 1,006 pour Ca, 0,494 pour Mg dans le second sont très significativement différentes.

L'examen du tableau 6 montre qu'entre K-Ca et K-Mg les corrélations sont négatives et peuvent être très fortes, entre K et Mg en particulier, surtout au cours de la période qui va des floraisons à la fin du grossissement des fruits. En décembre, par contre, il n'y a aucune liaison et en janvier seulement elles sont positives.

L'antagonisme ainsi manifesté pendant la plus grande partie de l'année entre Ca-Mg et K nous pousse à essayer d'expliquer les liaisons entre rendements, Ca et Mg par les mouvements de K : une forte récolte appauvrissant les feuilles en K, par le fort appel qui se fait alors de cet élément vers les fruits, favorise la concentration en Ca et Mg dans les feuilles, mais cet appauvrissement en K compromettrait la récolte suivante.

En fait, si on calcule les moyennes d'une part des teneurs en K en décembre des parcelles qui ont une faible production cette année-là et une forte l'année suivante, d'autre part des teneurs en K en décembre des parcelles qui ont une forte production cette année-là et une faible l'année suivante, les deux valeurs trouvées, 2,922 et 2,739 sont significativement différentes. On observe aussi entre rendements et teneurs en K pendant la période de récolte des liaisons négatives, quoique faibles (r varie de $-0,22$ à $-0,31$), mais entre teneurs en K et rendements de l'année suivante, il n'y a de liaison qu'au mois d'octobre et elle est faible : $r = -0,25$.

Aussi est-il difficile de penser que les liaisons rendements-Ca et rendements-Mg ne sont qu'une

conséquence des liaisons K-Ca et K-Mg et on doit considérer que les teneurs en Ca et en Mg ont une importance en elles-mêmes.

Nous savons que les blocs présentent entre eux des différences significatives, que ce soit pour les rendements ou pour les teneurs en éléments. Comme pour l'azote, étant donné l'importance des corrélations trouvées entre rendements et teneurs en Ca et en Mg, nous avons fait le calcul des coefficients r , bloc par bloc. Si les valeurs significatives de r négatives et positives sont dans les trois blocs nombreuses et assez fortes, c'est le bloc II qui présente les liaisons les plus fortes et les plus nombreuses entre rendements et teneurs en Ca et le bloc III entre rendements et Mg.

B. — ÉTUDE DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION PARTIELLE

En raison de l'importance de l'élément N, nous avons calculé les coefficients de corrélation partielle entre rendements et teneurs en N en faisant intervenir successivement les teneurs en P, K, Ca et Mg.

Généralement, les coefficients de corrélation totale sont plus élevés que les coefficients de corrélation partielle. C'est le cas pour rendements-teneurs en N, en faisant intervenir P, puis K, puis Ca. C'est seulement en faisant intervenir Mg ou la somme Ca + Mg (dans ces deux cas les résultats sont très comparables) que le coefficient de corrélation partielle est significativement plus élevé que le coefficient de corrélation totale correspondant. Ainsi, en novembre, teneurs en N-rendements de la même année = $-0,05$, tandis que teneurs en N-rendements, teneurs en Mg (ou en Ca + Mg) = $0,22$; en décembre, il passe de $0,09$ à $0,34$. Teneurs en Mg et rendements sont reliés à ces deux dates par des valeurs de r égales respectivement à $0,36$ et $0,34$.

Il n'est pas étonnant que le calcul des coefficients de corrélation partielle n'apporte guère d'amélioration aux coefficients de corrélation totale entre rendements et teneurs en N, car ou bien N et l'élément considéré présentent une liaison étroite (c'est le cas en avril), ou bien il n'y a aucune corrélation entre élément et rendements (ce qui est généralement le cas en dehors de décembre et avril). Pour qu'il y ait une différence sensible entre coefficient rendement-N et coefficient rendement-N, élément, il faudrait que l'élément considéré soit à la fois relié aux rendements et pas à l'azote.

En résumé, l'examen des coefficients de corrélation partielle et totale confirme ce que la réponse des caféiers aux engrais avait déjà indiqué : c'est l'azote qui est l'élément le plus important dans la

TABLEAU 6

Corrélations entre K-Ca et K-Mg

K-Ca		K-Mg	
Dates	Valeurs de r	Dates	Valeurs de r
janvier	0,52*	janvier	0,31*
février	0,03	février	0,10
mars	0,00	mars	— 0,07
avril	— 0,66*	avril	— 0,78*
mai	— 0,39	mai	— 0,41*
juin	— 0,04	juin	— 0,98*
juillet	— 0,07	juillet	— 0,44*
août	— 0,22*	août	— 0,16*
septembre	— 0,32*	septembre	— 0,17
octobre	— 0,26*	octobre	— 0,35*
novembre	— 0,26*	novembre	— 0,52*
décembre	— 0,05	décembre	— 0,08

fertilisation du caféier ; c'est celui dont les teneurs sont reliées positivement aux rendements de façon presque constante.

Les teneurs en P semblent avoir une plus faible importance puisqu'elles ne sont reliées aux rendements qu'en février, de façon négative.

Les teneurs en K sont négativement reliées aux rendements presque tout au long de l'année, mais les coefficients ont une faible valeur sauf en mars et en avril où r a, seulement ces mois-là, une valeur positive.

Bien que les teneurs des feuilles en Ca soient dans cet essai faibles par rapport à celles que rapporte la bibliographie (voir deuxième partie de cette étude), elles ne constituent pas un facteur limitant de la production puisqu'elles lui sont négativement liées une grande partie de l'année.

Mais c'est bien pour ces deux éléments, Ca et Mg, que les liaisons avec les rendements sont les plus nombreuses et les plus fortes : négatives de septembre de l'année précédant la récolte à mai de l'année même, positives de septembre à décembre.

Ils sont avec l'azote les éléments les plus intéressants et nous sommes conduits à examiner les relations qui existent entre les rendements et un certain nombre de rapports.

C. — ÉTUDE DES CORRÉLATIONS TOTALES ENTRE LES RENDEMENTS ET CERTAINS RAPPORTS EXISTANT ENTRE LES CINQ ÉLÉMENTS ÉTUDIÉS

L'étude des liaisons entre rendements et teneurs en N, P, K, Ca et Mg nous ayant montré que les époques les plus intéressantes pour examiner les corrélations entre rendements et composition chimique des feuilles étaient avril, mai et décembre, nous n'avons calculé les coefficients de corrélation qui unissent les rendements et les rapports N/P, N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca, K/Mg, K/(Ca + Mg), Ca/Mg et N/(K + Ca + Mg), qu'à ces moments-là.

N/P est assez fortement relié en décembre aux rendements de l'année suivante : $r = 0,52$; ceci s'explique par les liaisons qui existent à ce moment-là entre N et rendements = 0,47 et entre N et P = -0,34.

N/K est relié très faiblement aux rendements en avril et mai, $r = 0,26$ et 0,22.

Comme on pouvait s'y attendre, N/Ca est fortement relié aux rendements, que ce soit en avril, en mai, $r = 0,57$ et 0,53, ou en décembre de l'année précédente, $r = 0,56$. Ces liaisons s'expliquent par la valeur des coefficients rendements-teneurs en N qui sont respectivement de 0,57, 0,47 et 0,47 et celle des coefficients Ca-rendements : -0,51, -0,42 et

-0,45. Il en est certainement de même pour N/Mg qui n'a pas été calculé.

Les valeurs du rapport N/(K + Ca + Mg) sont aussi fortement reliées aux rendements : 0,58 en décembre de l'année précédant la récolte, 0,63 en avril, 0,43 en mai ; elles s'expliquent encore par celles des coefficients rendements-teneurs en N, et en décembre par le fait aussi que la somme K + Ca + Mg est négativement reliée aux rendements de l'année suivante.

K/Ca, K/Mg, K/(Ca + Mg) sont positivement reliés avec les rendements aux trois époques étudiées, ce qui semble indiquer que K doit dominer par rapport à Ca et Ca par rapport à Mg dans l'équilibre K + Ca + Mg.

D. — ÉTUDE DES CORRÉLATIONS ENTRE RENDEMENTS ET VALEURS RELATIVES DE K, Ca, Mg

Nous avons vu que les corrélations entre rendements et teneurs des feuilles en Ca et Mg sont élevées et complexes puisqu'en fin d'année elles sont à la fois positivement reliées à la production qui se trouve sur les arbres et négativement reliées à celle de l'année suivante : ceci doit pouvoir s'expliquer, comme nous l'avons dit, par une certaine alternance de bonnes et mauvaises productions et aussi par les migrations de K qui se font des feuilles vers les fruits en période de production : ce dernier point sera précisé par l'analyse des prélèvements de feuilles et de fruits qui ont été faits en région Bamoun de mai 1965 à mai 1966.

Quoi qu'il en soit, nous avons pensé qu'il pourrait être intéressant d'étudier les relations qui existent entre les rendements et non plus les valeurs absolues de K, Ca et Mg, mais leurs valeurs relatives, c'est-à-dire les pourcentages de K, Ca et Mg trouvés dans la somme K + Ca + Mg égalée à 100.

Le tableau 7 (p. 72) réunit les valeurs des coefficients r calculés aux diverses époques de l'année. Comme dans les autres tableaux, nous avons marqué d'un astérisque les valeurs significatives et indiqué en gras les plus élevées.

On peut tout d'abord remarquer que les valeurs se rapportant aux pourcentages de K sont sans exception de signe inverse de celles qui se rapportent à Ca et Mg, soulignant à nouveau l'antagonisme qui se manifeste entre K-Ca et K-Mg et le synergisme Ca-Mg. En comparant ce tableau aux tableaux 3, 4 et 5, on peut aussi se rendre compte que les r significatifs gardent à peu près les mêmes valeurs, qu'ils soient calculés avec les valeurs absolues ou les valeurs relatives de Ca et Mg. Pour le potassium au contraire, le calcul effectué avec les valeurs relatives

fait apparaître entre K et rendements des liaisons beaucoup plus fortes. C'est ainsi que de juillet à décembre, r varie de 0,43 à 0,49 (contre 0,15 à 0,31 avec les valeurs absolues); en avril aussi, r passe de 0,25 à 0,41, tandis que pour décembre et janvier précédant la récolte, il passe de — 0,09 à 0,38 et 0,42. Cela s'explique par le fait que nous sommes en présence de fortes teneurs en K dans les feuilles; comme l'ont observé de nombreux chercheurs (voir plus loin, chapitre IV), on ne trouve de fortes corrélations entre teneurs en un élément et rendements que lorsque celui-ci approche du seuil de déficience. Mais cette augmentation de la valeur de r , quand on la calcule avec les valeurs relatives, indique que pour avoir une bonne production, il faut qu'à la fin de l'année précédente et aussi au moment de l'intense activité métabolique qu'est la période des floraisons, la proportion du potassium assimilé par la plante soit dominante par rapport à celle du calcium et du magnésium. Nous étudierons dans quelle proportion dans le chapitre suivant.

TABLEAU 7

Corrélations entre rendements et % de K, Ca, Mg dans la somme $K+Ca+Mg=100$

Dates	% de K	% de Ca	% de Mg
	Valeurs de r	Valeurs de r	Valeurs de r
août a. p.	0,08	— 0,02	— 0,19
sept. a. p.	0,14	— 0,08	— 0,21*
oct. a. p.	0,23*	— 0,12	— 0,33*
nov. a. p.	0,31*	— 0,20*	— 0,39*
déc. a. p.	0,38*	— 0,25*	— 0,48*
janvier	0,42*	— 0,33*	— 0,45*
février	0,15	— 0,12	— 0,18
mars	— 0,04	0,00	0,13
avril	0,41*	— 0,42*	— 0,36*
mai	0,31*	— 0,35*	— 0,15
juin	— 0,26	0,13	0,35*
juillet	— 0,49*	0,40*	0,40*
août	— 0,49*	0,35*	0,57*
sept.	— 0,49*	0,44*	0,46*
oct.	— 0,47*	0,46*	0,38*
nov.	— 0,49*	0,54*	0,25*
déc.	— 0,43*	0,44*	0,32*

II. — ÉTABLISSEMENT DES NIVEAUX CRITIQUES

Nous avons obtenu entre nos parcelles d'essai des différences significatives de rendements en fonction des traitements fertilisants appliqués : ces résultats ont été exposés dans la première partie de cette étude.

Dans les mêmes parcelles, nous avons mis en évidence des différences significatives entre les teneurs en N, P, K, Ca et Mg des échantillons foliaires prélevés à diverses époques de l'année : c'est l'objet de la deuxième partie.

Nous venons d'exposer qu'entre les teneurs en N, Ca et Mg surtout et dans une plus faible mesure en P et les rendements, il y avait à certaines dates des corrélations significatives.

Nous avons donc les éléments indispensables à l'établissement des « niveaux critiques ».

On désigne ainsi, nous le rappelons, les concentrations exprimées en grammes pour cent de matière sèche au-dessus desquelles un apport de cet élément à la plante sous forme d'engrais, s'il est encore susceptible d'augmenter la teneur de la feuille, n'a plus de chance de provoquer un accroissement sensible de production.

Cette définition, on le voit, est extrêmement « anthropomorphique », mais on en connaît la valeur pratique en agronomie.

Pour établir les niveaux critiques de chacun des éléments étudiés, nous avons classé par ordre crois-

sant les chiffres de production dont nous disposons (189 en tout, chiffres de vingt-sept parcelles pendant sept ans). Après les avoir groupés en une dizaine de classes, nous avons examiné comment variaient les teneurs correspondantes en N, P, K, Ca et Mg, cherchant si les moyennes obtenues pour ces classes successives étaient entre elles significativement différentes. Nous avons de la même façon étudié les valeurs de différents rapports et celles des pourcentages de K, Ca et Mg dans la somme $K+Ca+Mg$.

Si nous avons pu en tirer un certain nombre d'indications, utilisables pour la conduite de la fertilisation du caféier Arabica dans le pays Bamoun, le nombre relativement petit de données numériques et surtout le trop petit nombre de fortes productions ne nous ont pas permis de fixer avec précision le niveau critique de tous les éléments.

A. — ÉTUDE DU NIVEAU CRITIQUE DE L'AZOTE

La production étant groupée en six classes, les teneurs moyennes en N des échantillons foliaires prélevés au début d'avril sont données dans le tableau 8. Leurs valeurs croissent de la classe 1 à la classe 6 et elles sont significativement différentes entre les classes 2 et 3, 3 et 5, 5 et 6. Ceci montre que

nous n'avons pas encore atteint le seuil critique de l'azote, puisque sa concentration dans les feuilles continue à augmenter avec les rendements. Nous pouvons en déduire qu'on a toutes chances d'accroître les rendements par l'apport d'engrais azotés tant que la teneur moyenne des échantillons foliaires recueillis sera au début d'avril inférieure à 4 %. Si nos observations ne nous permettent pas d'en dire davantage, on peut penser pourtant que le seuil critique pour la teneur en N en avril est supérieur à 4 %, car le plus fort rendement, 9,845 kg de cerises fraîches, soit 1,969 kg de café marchand par pied obtenu dans la parcelle N du bloc I en 1962 sur un ensemble de 30 arbres correspond à une teneur en N de 4,32 %.

Quand on examine les teneurs en N au mois de mai, on voit que les différences entre bonnes et mauvaises productions sont moins marquées qu'en avril, mais qu'il y a augmentation des niveaux d'azote avec l'augmentation de production. La valeur 3,33 % trouvée pour la classe 6 (7 kg et plus de cerises fraîches par arbre) est certainement au-dessous du niveau critique. 3,82 est la concentration la plus élevée que nous ayons trouvée et elle correspond aussi au rendement le plus élevé.

Nous avons exposé qu'il existait une corrélation positive entre teneurs des feuilles en N en décembre et rendements de l'année suivante, c'est-à-dire que teneurs en N et rendements croissent ensemble et l'examen de ces chiffres permet de conclure que dans les cas où la concentration en N est inférieure à 3 % en décembre, un apport d'engrais azoté augmentera la production. Pour cette époque non plus, nos données ne nous permettent pas d'établir le niveau critique, mais elles nous permettent toutefois d'affirmer qu'il est au moins égal et sans doute supérieur à 3 %. Les données de janvier nous conduisent aux mêmes conclusions.

C'est le début du mois de mai qui est le plus favorable à l'étude de la nutrition azotée. Quand l'analyse foliaire révèle moins de 4 % d'azote à ce moment-là, on peut être certain d'accroître les rendements par apport d'engrais azoté.

TABLEAU 8

Teneurs moyennes en azote par productions croissantes

Classes	Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Production (poids de café marchand par arbre)	Nombre d'observations dans la classe	Teneurs moyennes en N
1.....	0 à 0,500	0 à 100 g	42	2,730
2.....	0,500 à 1,000	100 à 200 g	21	2,853
3.....	1,000 à 3,000	200 à 600 g	40	3,150
4.....	3,000 à 5,000	600 à 1 kg	31	3,258
5.....	5,000 à 7,000	1 kg à 1,400	21	3,387
6.....	plus de 7,000	plus de 1,400	7	3,993

B. — ÉTUDE DU NIVEAU CRITIQUE DU PHOSPHORE

Nous avons en avril une corrélation positive entre rendements et teneurs en P, par conséquent les concentrations de P dans la feuille augmentent avec les rendements.

Les valeurs des classes 0 à 0,500 et 0,500 à 1,000 (voir tableau 9), respectivement 0,178 et 0,173, sont significativement différentes des valeurs 0,206 et 0,216 ; 0,201 et 0,245 qui correspondent aux fortes productions ne le sont pas entre elles. Il semble donc qu'une teneur en P = 0,200 % soit convenable à cette époque-là.

Au mois de mai, les teneurs en P pour les productions les plus faibles (0 à 2 kg) sont significativement plus basses que celles qui accompagnent les productions de 2 à 4 kg. Mais les rendements les plus élevés (4 à 9 kg) sont accompagnés de valeurs de P égales à celles des classes 0 à 3 kg. Tout ce qu'on peut en conclure est encore que des teneurs de 0,200 % sont à ce moment-là suffisantes, peut-être trop fortes.

Au mois de décembre, les teneurs moyennes en P varient de 0,183 à 0,209 sans qu'il y ait de différences significatives entre ces chiffres. Il en est de même en janvier (teneurs en P de 0,179 à 0,211). Il n'est pas possible de fixer le seuil critique, mais 0,180 paraît être une teneur suffisante.

L'étude du rapport N/P ne donne pas d'indications plus précises. En avril et en mai, où il varie de 15,11 à 17,11 et de 13,43 à 17,92, les valeurs fortes ou faibles de ce rapport accompagnent indifféremment les valeurs fortes et faibles de production. En décembre seulement, les différences significatives trouvées entre les valeurs qui vont de 12,65 à 16,65 permettent de conclure qu'une valeur de 16 en décembre est favorable à une bonne production l'année suivante tandis qu'une valeur inférieure à 14 ne l'est pas.

TABLEAU 9

Teneurs en phosphore en avril par production croissante

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations dans la classe	Teneurs en P	Valeurs de N/P
0,000 à 0,500	42	0,178	15,33
0,500 à 1,000	21	0,173	16,62
1,000 à 2,000	20	0,206	15,96
2,000 à 3,000	20	0,206	15,11
3,000 à 4,000	18	0,216	15,58
4,000 à 5,000	13	0,203	16,20
5,000 à 6,000	14	0,214	16,15
6,000 à 7,000	7	0,201	17,11
7,000 et plus	7	0,245	16,88

C. — ÉTUDE DU NIVEAU CRITIQUE DU POTASSIUM

Au mois d'avril, on trouve suivant les classes de production des teneurs en K variables allant de 2,668 (pour 0,5 à 1,0) à 3,530 (7 kg et plus) significativement différentes. Mais on trouve aussi de fortes teneurs en K accompagnant de faibles productions, 3,228 pour la classe 1 à 2 kg et de faibles teneurs accompagnant de fortes productions, 2,856 pour la classe 6 à 7 kg. Il semble par conséquent qu'une teneur de 2,8 %, qui est déjà élevée par rapport aux données de la bibliographie (voir deuxième partie de cette étude), soit suffisante pour obtenir une bonne production. Mais nous ne pouvons pas savoir par l'étude de nos chiffres si cette valeur est égale au seuil critique ou le dépasse.

Au mois de mai, les valeurs de K varient de 3,131 à 3,749 sans suivre la production. Une teneur de 3,1 % est par conséquent suffisante à ce moment-là et dépasse peut-être le seuil critique.

Au mois de décembre (voir tableau 10), les fortes productions sont accompagnées de valeurs de K significativement plus faibles que les autres, et cela permet d'établir qu'une valeur de K = 2,5 % est à ce moment-là suffisante pour permettre une bonne production l'année suivante.

Le rapport N/K varie de 0,99 à 1,24 en avril, de 0,83 à 1,08 en mai, sans qu'il y ait entre ces valeurs de différences significatives. En décembre, les productions les plus faibles sont accompagnées d'un rapport N/K significativement plus faible, ce qui permet de dire qu'à cette époque-là une valeur dépassant 1,10 est plus favorable qu'une valeur égale ou inférieure à 1,0.

TABLEAU 10

Teneurs en potassium en décembre par production croissante

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations par classe	Teneurs en K	Valeurs de N/K
0,000 à 0,500	42	2,818	0,92
0,500 à 1,000	21	2,697	0,99
1,000 à 2,000	20	2,761	1,04
2,000 à 3,000	20	2,936	0,98
3,000 à 4,000	18	2,930	1,39
4,000 à 5,000	13	2,780	1,04
5,000 à 6,000	14	2,814	1,11
6,000 à 7,000	7	2,673	1,13
7,000 et plus	7	2,471	1,21

D. — ÉTUDE DU NIVEAU CRITIQUE DU CALCIUM

En avril, les teneurs en Ca (voir tableau 11) ont tendance à baisser quand croissent les productions, ce qui n'est pas étonnant puisqu'à ce moment-là a été mise en lumière une corrélation négative entre teneurs en Ca et rendements. Les concentrations en Ca accompagnant les classes de production de 0 à 1 kg, respectivement 1,448 et 1,389 %, sont significativement différentes de celles qui accompagnent les classes de 1 à 5 kg et qui varient de 1,023 à 1,105. Ces données ne diffèrent pas des valeurs 0,958 et 0,959 qui sont les teneurs en Ca des classes de 5 à 9 kg. On peut donc conclure seulement que des teneurs supérieures à 1,3 % sont trop élevées, mais que des teneurs voisines de 1 % sont encore compatibles avec de fortes récoltes.

En mai, les teneurs en Ca correspondant aux rendements les plus faibles (1,167 et 1,119 pour 0 à 0,500 et 0,500 à 1,000) sont significativement plus fortes que celles qui correspondent aux productions de 2 à 9 kg. On peut en déduire qu'il est souhaitable d'avoir à ce moment-là des teneurs en Ca inférieures à 1 % et que des concentrations voisines de 0,9 % semblent compatibles avec de forts rendements.

En décembre, les teneurs les plus fortes, 0,982, 0,933 et 0,917, sont relevées dans les parcelles qui auront l'année suivante les rendements les plus bas (de 0 à 2 kg), les teneurs significativement plus faibles (0,788 et 0,792) correspondant aux rendements les plus élevés. C'est-à-dire que des teneurs en Ca supérieures à 0,9 % sont trop élevées et que des teneurs égales ou inférieures à 0,8 % sont plus favorables à l'obtention de bonnes récoltes l'année suivante.

L'étude du rapport K/Ca qui varie en avril de 2,02, pour les productions faibles, à 4,20, pour les plus fortes, montre que les valeurs les plus favorables à cette époque-là sont comprises entre 3 et 4, 2 étant insuffisant.

TABLEAU 11

Teneurs en calcium en avril par production croissante

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations dans la classe	Teneurs en Ca	Valeurs de K/Ca
0,000 à 0,500	42	1,448	2,02
0,500 à 1,000	21	1,389	2,07
1,000 à 2,000	20	1,097	3,45
2,000 à 3,000	20	1,105	2,85
3,000 à 4,000	18	1,023	3,57
4,000 à 5,000	13	1,072	3,06
5,000 à 6,000	14	0,958	3,86
6,000 à 7,000	7	1,024	3,37
7,000 et plus	7	0,895	4,20

En mai également, les hauts rendements sont accompagnés de valeurs de K/Ca voisines de 4, les mauvais de 3.

En décembre, K/Ca varie de 2,94 à 3,82 et paraît sans influence sur les rendements.

E. — ÉTUDE DU NIVEAU CRITIQUE DU MAGNÉSIUM

En avril, comme le montre le tableau 12, les teneurs en Mg décroissent de façon assez régulière quand augmente la production. Les teneurs en Mg des classes de production les plus faibles sont significativement plus élevées que les teneurs en Mg des classes de 3 kg et plus. C'est-à-dire que des teneurs en Mg de 0,60 % sont trop fortes, tandis que 0,50 % est une concentration suffisante. En mai, les teneurs en Mg varient de 0,405 à 0,503, mais il n'y a pas entre ces valeurs de différences significatives.

En décembre, les teneurs en Mg les plus fortes (0,508 et 0,491) correspondant aux parcelles qui ont l'année suivante les productions les plus faibles (de 0 à 1 kg), celles qui accompagnent les productions supérieures à 2 kg sont significativement plus basses et on peut en déduire que des teneurs en Mg voisines de 0,35 % sont favorables à de bonnes productions.

Le rapport K/Mg en avril a des valeurs significativement plus faibles (4,77 et 4,52) dans les classes de production les plus faibles (0 à 1 kg). Il est voisin de 8 dans les classes de production les meilleures et on peut dire qu'il n'est pas bon d'avoir au mois d'avril un rapport K/Mg inférieur à 7.

En mai, ce rapport varie de 7,08 à 9,46 suivant les classes de production, mais il n'y a pas de différences significatives entre les diverses valeurs.

En décembre, les valeurs accompagnant les rendements de 0 à 1 kg (5,64 et 5,57) sont significativement plus basses que les autres. Le rapport K/Mg ne doit pas en décembre descendre au-dessous de 7 si l'on veut obtenir l'année suivante de fortes productions.

TABLEAU 12

Teneurs en magnésium en avril par production croissante

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations par classe	Teneurs en Mg	Rapport K/Mg	Rapport Ca/Mg
0,000 à 0,500 ..	42	0,613	4,77	2,37
0,500 à 1,000 ..	21	0,623	4,52	2,23
1,000 à 2,000 ..	20	0,501	8,21	2,35
2,000 à 3,000 ..	20	0,547	5,73	2,08
3,000 à 4,000 ..	18	0,464	8,25	2,25
4,000 à 5,000 ..	13	0,516	6,65	2,12
5,000 à 6,000 ..	14	0,407	8,35	2,35
6,000 à 7,000 ..	7	0,463	7,08	2,17
7,000 et plus ..	7	0,345	11,25	2,63

L'examen du rapport Ca/Mg montre qu'en avril il varie de 2,08 à 2,40 et en mai de 1,98 à 2,41 sans qu'il y ait entre ces valeurs de différences significatives. En décembre, ce rapport est égal à 1,95 et 1,92 pour les classes de production de 0 à 1 kg. Les valeurs sont significativement plus faibles que celles qui accompagnent les autres classes, mais entre la classe 1 à 2 kg et 7 et plus, il n'y a pas de différences significatives ; on peut seulement en déduire qu'il est préférable pour assurer une bonne récolte l'année suivante que le rapport Ca/Mg ne descende pas au-dessous de 2.

La somme Ca + Mg (voir tableau 13) en avril varie de 2,068 à 1,240 ; les valeurs significativement les plus fortes accompagnent les productions les plus faibles et on peut en conclure que Ca + Mg = 2 % est trop élevé tandis que 1,35 % est favorable à de fortes productions. Cette somme ne doit pas dépasser 1,3 en mai et 1,2 en décembre.

La somme K + Ca + Mg ne présente de valeurs significativement différentes ni en avril ni en mai. En décembre, les valeurs de 4 à 5 sont trop élevées et les bonnes productions de l'année suivante sont annoncées par des valeurs voisines de 3,5.

Le rapport K/(Ca + Mg) qui varie en avril de 1,41 à 2,66, en mai de 2,10 à 3,08, en décembre de 1,94 à 2,63, ne présente pas de valeurs significativement différentes suivant les classes de production.

TABLEAU 13

Valeurs de Ca+Mg, K+Ca+Mg, K/(Ca+Mg), en avril par production croissante

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations dans la classe	Ca + Mg	K + Ca + Mg	K/(Ca + Mg)
0,000 à 0,500	42	2,068	4,820	0,55
0,500 à 1,000	21	2,012	4,680	0,59
1,000 à 2,000	20	1,599	5,620	0,65
2,000 à 3,000	20	1,653	4,439	0,65
3,000 à 4,000	18	1,454	4,661	0,67
4,000 à 5,000	13	1,493	4,553	0,68
5,000 à 6,000	14	1,365	4,792	0,72
6,000 à 7,000	7	1,488	4,344	0,76
7,000 et plus	7	1,240	4,771	0,84

F. — ÉTUDE DES POURCENTAGES DE K, Ca ET Mg DANS LA SOMME K + Ca + Mg

En avril, les pourcentages de K varient de 57,1 à 70,8 (voir tableau 14) et les différences significatives que l'on découvre indiquent qu'un pourcen-

tage inférieur à 69 % n'est pas favorable à une bonne production. Le pourcentage de Ca varie de 20,5 à 30 % et le calcul montre que 22 % est un meilleur pourcentage que 29 et 30. Il en est de même pour Mg qui varie de 8,7 à 13,3 : un pourcentage de 10 est plus favorable à une bonne récolte que 12 et plus.

En décembre, le pourcentage de K varie de 65,4 à 71,8, mais ces valeurs ne sont pas significativement différentes ; il en est de même pour Ca qui varie de 19,4 à 22,8. Seuls les pourcentages de Mg qui varient de 11,9 à 8,8 présentent des différences qui permettent d'établir qu'un pourcentage de Mg supérieur à 10 est défavorable à une bonne production l'année suivante.

En janvier, on ne trouve pas suivant les classes de production de différences significatives entre les pourcentages de K qui varient de 64,3 à 70,8 (mêmes valeurs qu'en décembre), ni entre ceux de Ca (20 à 24 %), mais on en trouve entre les pourcentages de Mg qui varient de 9,2 à 11,8. A cette période aussi, un pourcentage supérieur à 10 n'est pas favorable à une bonne production.

On peut s'étonner des conclusions que l'on est amené à tirer de l'étude de ces pourcentages. En effet, l'analyse foliaire et les comparaisons faites entre nos chiffres et ceux de la bibliographie montraient (que l'on considère K, Ca et Mg en valeur absolue, ou encore la valeur de rapports tels que K/Ca, K/Mg, K/(Ca + Mg) que les teneurs en K étaient très élevées tandis que celles en Mg paraissaient moyennes et celles en Ca faibles (voir deuxième partie de cette étude) ; de même, les pourcentages de K paraissaient élevés par rapport à ceux de Mg et surtout de Ca. Or l'étude de nos chiffres montre qu'aux périodes intéressantes pour appliquer un diagnostic foliaire, c'est-à-dire en décembre-

janvier et en avril-mai, les rendements ne sont pas reliés ou peu aux teneurs en K, mais le sont négativement aux teneurs en Ca et Mg, ce qui montre que les teneurs en K qui sont très fortes ne sont pas toxiques, mais que les teneurs en Ca et Mg sont trop élevées.

G. — ÉTUDE DES RAPPORTS N/(K + Ca + Mg), N/Ca ET N/Mg

Nous avons trouvé entre N/(K + Ca + Mg) et rendements et N/Ca et rendements des coefficients de corrélation positifs et de valeur élevée : + 0,57 et + 0,63 en avril ; + 0,56 et + 0,58 en mai.

N/(K + Ca + Mg) varie suivant les classes de production de 0,55 à 0,84 en avril, mais il n'y a pas de différences significatives entre ces valeurs, tandis que 0,70 accompagne les bons rendements. En décembre, ce rapport varie de 0,60 à 0,82 et les différences significatives qui se manifestent indiquent qu'une valeur de 0,80 est à ce moment-là convenable.

Le rapport N/Ca varie en avril de 1,98 pour les faibles productions (0 à 0,500 kg de cerises fraîches par arbre) à 4,68 pour les productions de 7 kg et plus. Le calcul des différences significatives indique que ce rapport doit avoir à ce moment-là une valeur voisine de 4. En décembre, N/Ca varie de 2,69 à 3,95 sans qu'il y ait entre ces valeurs de différences significatives.

N/Mg en avril prend les valeurs moyennes de 4,65 à 12,35 et les bonnes productions sont accompagnées de N/Mg voisin de 10. En décembre, on ne relève pas entre les classes de rendements de différences significatives, N/Mg varie de 5,20 à 8,92.

L'étude des teneurs moyennes en N, P, K, Ca et Mg et des valeurs de différents rapports par classes de rendements confirme que les éléments qui influencent le plus la production sont, dans les conditions de sol et de climat qui caractérisent le pays Bamoun, N, Ca et Mg.

L'importance de l'azote a été montrée par l'effet des engrais azotés sur la production (voir la première partie de cette étude). Le caféier a de gros besoins en azote, élément qui constitue le principal facteur limitant de la production. Le niveau à corriger est en tout premier lieu le niveau de N qu'il faut hausser par des apports fréquents d'engrais azotés. Jusqu'ici, le niveau de K est très suffisant et les niveaux de Ca et Mg sont, contre toute attente, trop élevés, surtout par rapport à N, comme le suggère l'étude des rapports N/Ca, N/Mg et N/(K + Ca + Mg).

TABLEAU 14

Pourcentages de K, Ca et Mg en avril dans la somme K + Ca + Mg

Production (kg de cerises fraîches par arbre)	Nombre d'observations dans la classe	% de K	% de Ca	% de Mg
0,000 à 0,500	42	57,3	30,0	12,7
0,500 à 1,000	21	57,1	29,6	13,3
1,000 à 2,000	20	66,3	23,1	10,6
2,000 à 3,000	20	62,8	24,9	12,3
3,000 à 4,000	18	67,3	22,4	10,3
4,000 à 5,000	13	64,3	24,1	11,7
5,000 à 6,000	14	70,8	20,5	8,7
6,000 et plus	14	68,9	21,8	9,3

III. — ÉTABLISSEMENT DES PREMIÈRES BASES D'UN DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Nous avons montré que les deux époques les plus intéressantes pour étudier les relations entre rendements et analyses foliaires étaient celles des floraisons et le début de la grande saison sèche, plus précisément le début d'avril et de décembre.

Il est intéressant de connaître les teneurs en N, P, K, Ca et Mg des prélèvements foliaires faits en décembre, car on peut alors en déduire qualitativement la fumure à appliquer au caféier début mars; début avril. L'analyse des échantillons pris au mois d'avril permet ensuite de suivre l'effet des engrais, en particulier des engrais azotés. Il nous paraît utile par conséquent de faire ces deux prélèvements par an.

Les données rassemblées ne nous ont pas permis d'établir avec précision les niveaux critiques des cinq éléments étudiés, mais nous pouvons cependant établir les premières bases d'un diagnostic foliaire destiné à guider la fertilisation du caféier Arabica en pays Bamoun.

A. — AZOTE

Il est nécessaire d'apporter des engrais azotés tant que les concentrations en N dans les feuilles n'atteignent pas 3 % en décembre et 4 % en avril. Il est possible que ce soit encore utile au-delà de ces valeurs.

B. — PHOSPHORE

0,18 % de P en décembre et 0,20 % en avril sont des concentrations suffisantes et peut-être trop élevées. L'apport d'engrais phosphaté n'est pas alors utile.

En décembre, N/P doit être voisin de 16 ; 14 est une valeur trop faible.

C. — POTASSIUM

Il est inutile d'apporter des engrais potassiques quand les feuilles contiennent 2,5 % de K en décembre et 2,8 % en avril. Ces valeurs sont peut-être encore trop élevées.

N/K en décembre doit être au moins égal à 1,1.

D. — CALCIUM

Des teneurs en Ca de 0,8 % en décembre et de 1,0 % en avril sont suffisantes et peut-être encore trop élevées.

K/Ca en avril doit avoir une valeur voisine de 3.

E. — MAGNÉSIUM

Les teneurs en Mg sont suffisantes lorsqu'elles atteignent 0,35 en décembre et 0,50 en avril. Peut-être peuvent-elles être plus basses.

En décembre, K/Mg ne doit pas être inférieur à 7 et Ca/Mg à 2.

F. — N/(K + Ca + Mg)

Le rapport N/(K+Ca+Mg) doit être voisin de 0,8 en décembre. N/Ca ne doit pas être inférieur à 4 en avril et N/Mg à 8 à la même époque.

G. — POURCENTAGES DE K, Ca ET Mg DANS LA SOMME K + Ca + Mg

En avril, le pourcentage respectif des trois éléments peut atteindre 69 %, 21 % et 10 % et ne doit pas descendre au-dessous de 65 % pour le premier ni dépasser 23 % et 12 % pour les seconds. En décembre, Mg ne doit pas dépasser 10 %.

Des essais ont été mis en place en septembre 1965 pour compléter nos résultats et préciser les seuils critiques : il s'agit d'essais de doses croissantes d'engrais azotés et d'engrais potassiques, calciques et magnésiens ajoutés ensemble ou séparément à une même dose forte d'engrais azotés. L'étude des teneurs en N, P, K, Ca et Mg des prélèvements foliaires effectués en décembre et en avril nous permettra de fixer plus précisément les niveaux critiques de ces éléments, en particulier ceux de N, Ca et Mg.

IV. — COMPARAISON AVEC LES DONNÉES DE LA BIBLIOGRAPHIE

Depuis une vingtaine d'années, les études visant à établir les besoins en engrais d'après l'analyse foliaire se sont multipliées en milieu tropical, tendant presque toutes à déterminer pour les lieux considérés les « niveaux critiques » de N, P, K le plus souvent, parfois de Ca et Mg, plus rarement des oligo-éléments. De nombreuses analyses foliaires ont été jointes aux essais de fumure et suivant les plantes, les conditions de sol et de climat, les résultats obtenus n'ont pas présenté toujours un égal intérêt : ceci a amené quelques chercheurs à souligner les limites de la méthode qui a pourtant permis d'acquérir des indications agronomiques très précieuses — ne citons pour exemple que les travaux de l'I. R. H. O. dans ce domaine —.

C'est ainsi que GOUNY (II 27) dans un article général sur le diagnostic foliaire explique que lorsqu'on demande à l'analyse de servir de base à l'établissement d'une fumure rationnelle, il est nécessaire de connaître la relation éventuelle existant entre composition minérale de la plante et rendement, c'est-à-dire d'étudier les coefficients de corrélation. Il indique le caractère empirique de l'hypothèse d'une telle relation et insiste sur le fait que des facteurs tels que température, lumière, approvisionnement en eau influent sur les niveaux de N et K surtout, moins sur ceux de P Ca et Mg. Cette relation est donc complexe.

GOUNY (II 27) remarque encore que dans de nombreux essais de fertilisation on observe d'importantes différences de rendements sans relation avec la composition minérale et aussi des rendements voisins correspondant à des compositions minérales foliaires différentes. Cet auteur explique que la corrélation ne se trouve établie entre les indications données par l'analyse et le rendement que lorsqu'on approche du niveau de carence, lorsqu'on est par conséquent au-dessous du niveau critique ; quand un seul élément est dans ce cas, le rendement est proportionnel au taux de l'élément considéré (GOUNY II 27). C'est précisément le cas qui se présente en pays Bamoun où le seul facteur limitant est pour le moment l'azote. MARTIN-PRÉVEL (II 28) fait remarquer que les choses se compliquent quand plusieurs éléments se trouvent au-dessous du niveau critique ; il faut alors étudier aussi les rapports des éléments entre eux, car ces niveaux ne sont pas indépendants les uns des autres.

FORESTIER (V 12) en R. C. A. pense lui aussi qu'il n'est pas utile de chercher une relation linéaire entre l'analyse foliaire et le rendement pour plusieurs raisons : tout d'abord parce que la loi du minimum n'est valable que lorsqu'un seul élément n'est pas assimilé à un taux convenable, ensuite parce que les éléments minéraux ne sont pas sans liaison les uns avec les autres, enfin parce qu'on ne dose pas tous les éléments qui agissent sur le rendement. Aussi cet auteur propose-t-il de définir non pas les « niveaux critiques », mais une zone de nutrition optimum favorable à une production maximum. C'est d'ailleurs à cela seulement que nous sommes arrivés dans notre étude.

Ces considérations devaient être rappelées avant d'insister sur le fait que dans de nombreux cas, il a été possible d'établir entre rendements et analyses chimiques des relations d'un intérêt agronomique certain.

PRÉVOT (II 21) remarque à partir de nombreux essais conduits par l'I. R. H. O. sur plantes oléagineuses que l'action des engrais s'exerce dans le même sens sur les rendements et sur le contenu des feuilles en éléments chimiques. Nous l'avons constaté pour l'azote dans nos essais, l'application d'engrais azotés augmentant à la fois les rendements et les teneurs en N des feuilles. Sur olivier en Tunisie, BUCHMANN (III 3) trouve une corrélation positive entre rendements et teneurs en N des feuilles et en conclut qu'il y a carence en cet élément. PRÉVOT (III 19) sur arachide indique que les feuilles prélevées à la floraison ne montrent une corrélation positive avec les rendements que pour l'élément qui dans l'analyse statistique des rendements s'est révélé actif. Nous pouvons, à partir de nos observations, faire la même remarque.

ESPINOZA (V 9) met l'accent sur le fait que si un grand nombre de niveaux critiques ont été publiés pour le caféier, beaucoup ont été recueillis dans des conditions douteuses, car il faut pour les établir avoir obligatoirement obtenu des différences significatives entre les productions et entre les teneurs des feuilles en éléments minéraux. Bien que nous sachions, comme le rappelle PRÉVOT, que « les niveaux critiques ne sont valables que pour les conditions dans lesquelles ils ont été déterminés », nous allons examiner ce que d'autres chercheurs ont conclu de leurs analyses de rendements et de compositions minérales.

AZOTE ET RENDEMENT

Aux Hawaï où sont obtenues en exploitation les productions les plus élevées du monde par unité de surface, COOIL (VI 3) observe comme nous que la corrélation la plus significative entre rendements et teneurs en N se place en avril au moment de la plus grande floraison. CARVAJAL (V 3) au Costa-Rica fait la même constatation. Cette corrélation est encore forte aux Hawaï entre les teneurs en azote en janvier et les rendements de la fin de l'année. D'après COOIL, l'élément limitant est l'azote dont le manque gêne le développement des boutons floraux et la nouaison. Il ne fixe pas le niveau critique, mais estime que les teneurs qu'il observe au mois d'avril et qui varient de 2,57 à 2,97 sont insuffisantes : d'après nos essais, l'apport d'engrais azotés est nécessaire tant que les concentrations des feuilles ne sont pas au moins égales à 4 % en avril.

Au Brésil, MALAVOLTA (V 29) estime qu'à l'époque des floraisons, la teneur en N doit être au moins de 2,79 % pour permettre une bonne production.

ESPINOZA (V 9) au Salvador estime que moins de 3 % en mai indique une déficience et que le niveau d'azote dans les feuilles ne doit jamais descendre au-dessous de 2,69 %, quelle que soit la saison.

CULOT (V 8) au Kivu pense qu'il y a déficience au-dessous de 2,6 % en mai-juin et que 3 % est alors un bon niveau.

Sur Robusta, FORESTIER (V 12) en R. C. A. estime qu'en décembre les concentrations en azote doivent dépasser 2,65 % et même atteindre 3,05, qui est un bon niveau pour le mois d'avril.

LOUÉ (V 21) en Côte d'Ivoire juge que des teneurs de 1,8 à 2,5 % sont suffisantes en décembre. Des niveaux de 2,8 à 3,3 en juin correspondent aux bons et très bons rendements. Plus de 3 % constitue un excès.

FRANKART (V 13) en Uele, au Congo, donne comme niveau optimum en fin de saison sèche-début de saison des pluies 2,7 %.

La valeur de 4 % de N en avril que nous proposons comme valeur minimum du seuil critique en pays Bamoun est donc plus élevée que celle qui est retenue dans les autres régions étudiées.

PHOSPHORE ET RENDEMENT

Nous avons indiqué pour le phosphore que 0,18 en décembre et 0,20 % en avril étaient des concentrations suffisantes, peut-être plus élevées que les niveaux critiques.

Au Brésil, MEDCALF (V 30) trouve une corrélation positive entre teneurs en P à la floraison et production, qui lui permet de donner comme limite inférieure d'une teneur suffisante 0,105 %.

Au Salvador, ESPINOZA (V 9) n'observe pas de corrélation positive entre production et teneurs en P qui sont supérieures à 0,175 % en mai, ce qu'elle juge excessif par rapport aux teneurs en N.

CULOT (V 8) au Kivu estime qu'il y a déficience quand le niveau de P est inférieur à 0,16 en mai et que 0,20 est une valeur convenable.

Sur Robusta, FORESTIER (V 12) en R. C. A. observe que le niveau de P n'est pas important quand il dépasse 0,11 % en avril ; des teneurs de 0,13 à 0,14 lui paraissent pourtant meilleures.

LOUÉ (V 21) en Côte d'Ivoire trouve que des valeurs de 0,12 à 0,15 % sont suffisantes en avril et qu'il y a excès dès qu'on dépasse 0,15 %.

FRANKART (V 13) au Congo donne 0,10 % comme valeur optimum en mars-avril.

Tous ces chiffres confirment que la valeur 0,18 % que nous proposons comme niveau critique est certainement trop élevée.

POTASSIUM ET RENDEMENT

Nous avons fait remarquer à plusieurs reprises déjà que nos teneurs en K étaient élevées par rapport à celles que l'on recueille dans la plupart des autres pays et nous avons fixé à 2,5 % en décembre et 2,8 % en avril les teneurs suffisantes, probablement encore au-dessus du niveau critique.

Or au Brésil, LOTT (V 19-20) indique que moins de 1 % de K en fin de récolte entraîne une faible production l'année suivante ; qu'une teneur de 2,2 % est souhaitable en été, 1,8 % en automne étant à la limite de la déficience. MEDCALF (V 30) au Brésil également pose 2,5 % comme valeur optimum en hiver ; au moment des floraisons, les teneurs en K les plus fortes accompagnent les meilleures productions : 2,3 % caractérisent les fortes, 1,9 % les moyennes, 0,8 % les faibles. Au Brésil également, MALAVOLTA (V 29) observe qu'une concentration en K égale à 1,6 % en avril est compatible avec de bonnes productions, MACHADO (IV 38) que 2,58 % de K en cours de récolte est trop élevé et a un effet toxique par induction d'une carence en Mn.

CULOT (V 8) au Kivu estime qu'en avril, moins de 1,80 % de K est insuffisant.

Sur Robusta, FORESTIER (V 12) trouve qu'en avril des teneurs de 1,80 à 2 % sont convenables, FRANKART (V 13) au Congo donne 2 % comme valeur optimum en mars-avril. Pour LOUÉ (V 21),

les bons niveaux varient de 1,5 à 2,5 à cette même époque, plus de 2,5 % constituant un excès.

Ceci confirme que les valeurs que nous avons proposées comme seuil critique sont certainement un peu fortes.

CALCIUM, MAGNÉSIUM ET RENDEMENT

Pour le Ca et Mg, nous avons donné comme suffisants, et probablement plus élevés que le seuil critique, les niveaux de 0,80 et 0,35 en décembre, 1 % et 0,50 % en avril.

CULOT (V 8) au Kivu estime qu'il y a déficience en Ca au-dessous de 0,80 %, 1,10 % étant un bon niveau. Pour Mg, il y a déficience au-dessous de 0,20, excès au-dessus de 0,35 ; on peut alors avoir déficience en K et même en Ca.

Sur Robusta, les chiffres proposés pour Ca sont beaucoup plus élevés que les nôtres. FORESTIER (V 12) en R. C. A. trouve qu'en avril il faut de 2 à 2,4 % de Ca, 0,29 à 0,35 de Mg. FRANKART (V 13) propose 1,6 comme niveau optimum de Ca, 0,35 pour Mg. LOUÉ (V 21) en Côte d'Ivoire constate que l'optimum nutritif présente une zone assez étroite pour N et P, beaucoup plus large pour K, Ca et Mg.

CONCLUSION

De cette étude ressort de façon très nette que l'élément le plus important dans l'alimentation minérale du caféier Arabica est en pays Bamoun l'azote.

— L'apport d'engrais azoté augmente les rendements (voir première partie « réponse des caféiers aux traitements fertilisants »).

— L'apport d'engrais azoté augmente la teneur des feuilles en N (deuxième partie « analyses foliaires »).

Il s'ensuit qu'il existe des corrélations entre teneurs des feuilles et rendements, qui se manifestent tout au long de l'année, mais sont plus remarquables à deux périodes bien définies : en décembre au début de la saison sèche, peu avant la fin de la récolte, en avril au début de la saison des pluies à l'époque des floraisons. C'est à ces moments-là également que les teneurs des feuilles en azote présentent entre les traitements les plus fortes différences significatives.

Aussi est-il possible de pratiquer un diagnostic foliaire de l'alimentation azotée du caféier Arabica en pays Bamoun. Par l'étude des teneurs en azote des feuilles tout au long de l'année (voir deuxième partie « analyses foliaires »), on a montré que les épandages d'engrais azotés devaient se faire début mars avant les premières pluies, puis en avril, ensuite début octobre quand les grandes pluies de septembre commencent à diminuer et en novembre au moment où s'installe la saison sèche. En faisant un prélèvement de feuilles début décembre (date de fortes corrélations teneurs en N-rendements), on peut juger d'après le résultat des ana-

lyses tout d'abord si l'apport d'engrais azoté a été suffisant en octobre et novembre, ensuite estimer la quantité à apporter au début de mars. Elle doit être d'autant plus forte que la concentration en azote des feuilles prélevées est inférieure à 3 % ; des essais en cours montreront si au-dessus de cette valeur on peut fortement réduire ou même supprimer cet épandage.

D'autres feuilles seront ensuite prélevées début avril (autre période de fortes corrélations teneurs en N-rendements). L'analyse montrera si l'épandage de mars a été suffisant et de quelle importance doivent être ceux d'octobre et novembre ; ils sont nécessaires tant que la teneur moyenne en N n'atteint pas 4 % en avril. Cette étude ne permet pas de savoir s'il est encore utile d'apporter à la plante de l'engrais azoté au-delà de ce seuil ; des essais de doses croissantes de sulfate d'ammoniaque et de fractionnements de doses nous permettront ultérieurement de le préciser.

Si l'azote est incontestablement le facteur limitant de la production du caféier Arabica en pays Bamoun et s'il est bien certain que l'apport fréquent de doses assez fortes d'engrais azotés améliore les rendements, deux autres éléments se sont montrés importants quant à leur influence sur les rendements : il s'agit du calcium et du magnésium.

Si les teneurs en Mg paraissent suffisantes, comparées à celles rapportées le plus souvent dans la bibliographie, les teneurs en Ca par contre sont beaucoup plus faibles. Or, si les teneurs en Ca et Mg sont pendant la récolte positivement reliées aux rendements, on trouve par contre du début de la grande saison sèche qui précède la récolte

à la petite saison sèche pendant laquelle s'est achevé le grossissement des grains de fortes corrélations négatives entre teneurs des feuilles en Ca et Mg et rendements. Ces teneurs se montrent trop élevées relativement aux teneurs en K qui sont pourtant très fortes et surtout par rapport aux teneurs en N. On trouve en effet de fortes corrélations positives entre rendements et valeurs des rapports N/Ca, N/Mg et même N/(K + Ca + Mg).

Ceci confirme encore l'importance de l'azote : pour avoir un équilibre nutritif favorable à une forte production, il faut avant tout augmenter l'absorption d'azote de l'arbre. Des essais sont en cours pour étudier les équilibres favorables de ces trois cations et de l'azote à une forte production.

Les essais dont on rapporte ici les résultats n'ont pu permettre de fixer avec précision les seuils critiques des cinq éléments étudiés, mais cependant une première base est posée pour l'application d'un diagnostic foliaire.

On peut les résumer comme suit :

1° L'apport d'engrais azoté est nécessaire quand les teneurs des feuilles n'atteignent pas au moins 4 % en avril et 3 % en décembre.

2° L'apport d'engrais phosphatés est inutile quand les teneurs en P sont de 0,200 % en mai et de 0,180 % en décembre.

En décembre, le rapport N/P doit être supérieur à 14.

3° L'apport d'engrais potassique est inutile quand les teneurs foliaires en K atteignent 2,8 % en avril et 2,5 % en décembre.

N/K doit être en décembre supérieur à 1,1.

4° Les teneurs en Ca doivent être égales ou inférieures à 1,1 % en avril, à 0,8 % en décembre.

K/Ca en avril doit dépasser 2.

5° Les teneurs en Mg doivent être en avril égales ou inférieures à 0,50 % et à 0,35 % en décembre.

K/Mg doit dépasser 7 tant en avril qu'en décembre, Ca/Mg être supérieur à 2 en décembre.

6° La somme Ca + Mg en mai et en décembre doit être égale ou inférieure à 1,2 ; la somme K + Ca + Mg à 3,5 en décembre.

7° Dans la somme K + Ca + Mg, K doit représenter au moins 69 %, Ca moins de 22 % et Mg moins de 10 % en avril.

8° N/(K + Ca + Mg) doit être égal ou supérieur à 0,7 en mai, à 0,8 en décembre. N/Ca doit être égal ou supérieur à 4, N/Mg voisin de 10 en avril.

Si ces bases peuvent permettre dès maintenant de conduire la fertilisation du caféier Arabica et tout particulièrement sa fertilisation azotée par l'analyse foliaire, il est nécessaire de préciser les valeurs des seuils critiques des différents éléments étudiés : les essais mis en place en pays Bamoun en 1965 sont de nature à le permettre dans quelques années.

BIBLIOGRAPHIE

I. — DIVERS

1. Bulletins mensuels de la météorologie. Cameroun, 1955 à 1962.
2. Bulletins mensuels de la statistique générale. Cameroun, 1950 à 1963.
3. Rapport annuel de l'inspection agricole de l'Ouest-Cameroun, 1961.
4. BRUNEL. Traité pratique de chimie végétale. Tome II partie spéciale : dosage des éléments minéraux chez les végétaux, p. 391-450.
5. MARTIN-SEGALIN. Sols de l'Ouest-Cameroun. IRCAM, section de pédologie, 1957.
6. MAZOYER. Possibilités d'emplois du versénate pour le dosage de Ca et du Mg échangeables dans les extraits de sol. *Annales agronomiques*, 1954, n° 6, p. 1009-1016.

II. — GÉNÉRALITÉS SUR LA FERTILISATION ET LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

1. ANONYME. Loss of nutrient bases from soils. *The coffee board of Kenya, monthly bulletin*, oct. 1962, p. 407.
2. CAPO (B. G.), SAMUELS (G.). The development of a mathematical concept to interpret the relation between plant composition and crop yield. *The journal of agriculture of the University of Puerto-Rico*, oct. 1953, p. 249-263.
3. COOK, DAVIS. The residual effect of fertilizer. *Adv. Agronomy* (9), p. 205-216, 1957.
4. COOPER. Plant infections for diagnostic and curative purposes. *The East African agricultural journal*, juil. 1947, p. 37-53.

5. DON JENSEN, JOHN PESEK. Inefficiency of fertilizer use resulting from non uniform spatial distribution. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 26 (2) : 178-182, mars-avril 1962.
6. FERRAND. Sur l'utilisation actuelle du diagnostic foliaire en Afrique. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. 41, n° 16, p. 767-772.
7. HODNETT (G. H.). The use of response curves in analysis and planning of series of experiment with fertilizers. *The Empire journal of experimental agriculture*, juill. 1956.
8. LOW, PIPER. L'urée utilisée comme engrais, études en pots et en laboratoire. *Journal agric. scient.*, 1957 (2), p. 249-255, oct. 1961.
9. LAGATU, MAUME. Diagnostic de l'alimentation du végétal par l'évolution chimique d'une feuille convenablement choisie. *C. R. des séances de l'Ac. des Sc.*, t. 182, 1926, p. 653.
10. LAGATU, MAUME. Le diagnostic foliaire et son degré de sécurité. *C. R. des séances de l'Ac. des Sc.*, t. 187, 1929, p. 769.
11. LAGATU, MAUME. Variation des rapports physiologiques entre les constituants minéraux d'une espèce végétale. *C. R. des séances de l'Ac. des Sc.*, 2° sem. 1931, p. 103.
12. LAGATU, MAUME. Examen critique du diagnostic foliaire. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, 1934, n° 7, t. XX, p. 246.
13. PARRA, QUICENO. Los sistemas biológicos en la evaluación de la fertilidad de los suelos. *Cenicafé* (Chinchina), janv.-févr. 1958, vol. 9, n° 1-2, p. 5-22.
14. PRÉVOT. Diagnose rapide des maladies de carence par la méthode de Roach. *Oléagineux*, juill. 1950, p. 435.
15. PRÉVOT. Fumure potassique au Dahomey. *Oléagineux* août-sept. 1955, p. 593-597.
16. PRÉVOT. La « triple analyse » de Lundegardh. *Oléagineux*, t. V, n° 2, p. 101-103, 1950.
17. PRÉVOT et coll. Enquête sur les analyses chimiques de diagnostic foliaire réalisée dans huit laboratoires. *Oléagineux*, avr. 1961, p. 241-245.
18. PRÉVOT, OLLAGNIER. Utilisation du diagnostic foliaire. *Oléagineux*, nov. 1956, p. 695-703.
19. RÉGNIER. Note sur les pertes d'engrais par lessivage et leurs conséquences sur l'arrière fumure. *Mem. Instit. Scient. Madagascar*, 1952, p. 267-272.
20. REUTHER. Analyse des plantes, problèmes des fumures minérales. *Oléagineux*, févr. 1961, p. 83-84.
21. SANICK, PERKINS, SCHRENK. The effect of the calcium magnesium ratio on the solubility and availability of plants nutrients. *Soil science society proceedings*, 1952, n° 3, p. 263-267.
22. TEMPLEMAN. L'urée utilisée comme engrais. *J. Agric. Sci.*, 57 (2), p. 237-239, oct. 1961.
23. THOMAS (W.). Foliar diagnosis : principles and practice. *Plant physiology*, 1937, p. 571-600, 12.
24. VENEMA. Some observations on yield depressions caused by normal fertilizer dressings. *Potash and tropical agric.*, 4 (1), p. 4-18, janv. 1961.
25. VIALA, LAGATU, MAUME. Etude, par le diagnostic foliaire, des effets physiologiques du chaulage. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, 1932, p. 442-452.
26. BACHY. Diagnostic foliaire : relations entre cations. *Oléagineux*, juin 1963, p. 381-385.
27. GOÛNY. Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement. Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales. Colloque organisé par l'I. R. H. O., Paris, 1956.
28. MARTIN-PRÉVEL. Le bilan minéral, base d'interprétation de diagnostic foliaire. I. F. A. C. Journées d'études sur la nutrition minérale des plantes fruitières tropicales et subtropicales organisées par l'I. F. A. C., 3-4 octobre 1963.

III. — FERTILISATION ET DIAGNOSTIC FOLIAIRE SUR PLANTES AUTRES QUE LE CAFÉIER

1. CHAPMAN (H. D.). Le diagnostic foliaire et l'analyse du sol des plantations d'agrumes comme moyen de guider les pratiques de fertilisation du sol. *Fruits*, vol. 15, n° 10, nov. 1960, p. 435-441.
2. BUCHMANN, BRES, PRÉVOT. Diagnostic foliaire de l'olivier irrigué en Tunisie. *Oléagineux*, mars 1959, p. 163-173.
3. GILLIER. Utilisation du diagnostic foliaire pour la cartographie des besoins en engrais de l'arachide au Sénégal. *Oléagineux*, mars 1960, p. 147-151.
4. GILLIER, PRÉVOT. Fumures minérales de l'arachide au Sénégal. *Oléagineux*, nov. 1960, p. 703-791.
5. LAGATU, MAUME. Relation linéaire entre les quantités successives d'acide phosphorique et d'azote contenus dans la feuille de la vigne bien alimentée. *C. R. des séances de l'Ac. des sciences*, 1925, 1^{er} sem., t. 180, p. 117-118.
6. LAGATU, MAUME. Méthode de contrôle chimique du mode d'alimentation de la vigne. *C. R. de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XII, 1927, p. 439-442.
7. LAGATU, MAUME. Sur l'absorption de la potasse par la vigne et sur son rôle physiologique. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XIII, 1927, p. 448-452.
8. LAGATU, MAUME. Sur l'absorption de l'azote par la vigne et sur son rôle physiologique. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XIII, 1927, p. 452-455.
9. LAGATU, MAUME. Examen critique des conditions et des résultats du contrôle alimentaire de la vigne. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XIII, 1927, p. 548-553.
10. LAGATU, MAUME. Le diagnostic foliaire appliqué au contrôle de l'alimentation d'une vigne de coteau avec ou sans fumure. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XIV, 1928, p. 762.
11. LAGATU, MAUME. Sur la sensibilité du diagnostic foliaire pour déceler une absorption d'engrais par la vigne. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XXIV, n° 18, 1938, p. 615-624.
12. MAUME, DULAC. Echantillonnage rationnel de la plante de blé en vue des analyses chimiques comparatives. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XXII, n° 26, 1936, p. 906-913.
13. MAUME, DULAC. Degré de précision de l'échantillonnage de la plante de blé à certaines époques physiologiques. *C. R. des séances de l'Ac. d'Agric. de France*, t. XXII, n° 28, 1936, p. 985-990.
14. OLLAGNIER. Recherches sur la nutrition minérale et la fumure de l'arachide en Haute-Volta. *Oléagineux*, mars 1954, p. 155-158.
15. OLLAGNIER, PRÉVOT. Comparaison du diagnostic foliaire et de l'analyse des sols pour la détermination des besoins en engrais de l'arachide. *Oléagineux*, juin 1956, p. 395.

16. PRÉVOT. Les bases du diagnostic foliaire : application à l'arachide. *Oléagineux*, févr. 1953, p. 67-76.
17. PRÉVOT, BACHY. Diagnostic foliaire du cocotier, influence du rang de la feuille et du développement végétatif sur les teneurs en éléments. *Oléagineux*, mai 1962, p. 451-458.
18. PRÉVOT, FRÉMOND. Fumures du cocotier au Dahomey. *Oléagineux*, juill. 1960, p. 549-553.
19. PRÉVOT, OLLAGNIER. Application du diagnostic foliaire à l'arachide. Premiers résultats au Sénégal. *Oléagineux*, juin 1951, p. 329-337.
20. PRÉVOT, OLLAGNIER. Engrais minéraux et oléagineux tropicaux, recherches d'agrophysiologie. *Oléagineux*, déc. 1953, p. 843-851.
21. PRÉVOT, OLLAGNIER, GILLIER. Diagnostic foliaire de l'arachide et équilibre des fumures. Sénégal 1951. *Oléagineux*, avr. 1952, p. 185-194.
22. PRÉVOT, ZILLER. Etude d'une carence en potasse et en azote sur le palmier à huile au Dahomey. *Oléagineux*, juin 1957, p. 369-376.
23. PRÉVOT, ZILLER. Relation entre le magnésium du sol et de la feuille de palmier. *Oléagineux*, août-sept. 1958, p. 667-669.
24. SALGADO. Carence potassique du cocotier : diagnostic par le fruit. *Oléagineux*, mai 1953, p. 297-298.
25. SCHEIDECKER, PRÉVOT. Nutrition minérale du palmier à huile à Pobé (Dahomey). *Oléagineux*, janv. 1954, p. 13.
12. BELLIS. Extracts from a guide to fertilizer use in Kenya. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, févr. 1962, p. 59.
13. BONNET, RIERA, LUGO, LOPEZ. Lack of response of old coffee trees grown in Alonso Clay to lime and phosphatic fertilization. *The journal of agriculture of the University of Puerto-Rico*, juill. 1958, p. 161-167.
14. BORGET, DEUSS, FORESTIER. Quelques résultats des essais d'engrais sur *C. robusta* au centre de recherches de Boukoko (RCA). *Café, Cacao, Thé*, n° 1, janv.-mars 1963, p. 22-31.
15. CARANDANG. The effect of fertilizers on yield of coffee in Malutum, Cotobaco. *Philipp. Agric.* 45 (7), p. 365-370, déc. 1961.
16. COOIL. Response to phosphate in coffee. Techn. prog. rep., Hawaii agric. exp. stat., 133, 1961.
17. COSTE. Les caféiers et les cafés dans le monde. T. II, vol. 1, les cafés. Ed. Larose, Paris.
18. COSTE. Les caféiers et les cafés dans le monde. T. I, les caféiers, p. 167-202, la fertilisation du caféier. Ed. Larose, Paris.
19. DIERENDONCK. The manuring of coffee, cacao, tea and tobacco. *Coffee*, p. 23-56. Centre d'étude de l'azote, Genève, août 1959.
20. ESPINOSA, TENORIO. Efecto de la aplicación de un fertilizante acidificante y de cal en el pH del suelo y en la producción del café. *Boletín informativo*, supl. n° 17, sept.-déc. 1962, ISIC, Santa Tecla. El Salvador.
21. ESPINOSA, TENORIO. Efecto de la aplicación de diferentes fertilizantes nitrogenados en el pH del suelo y en la producción del café. *Boletín informativo*, supl. n° 17, sept.-déc. 1962, ISIC, Santa Tecla. El Salvador.

IV. — FERTILISATION DU CAFÉIER

1. Annual report and accounts of the coffee board of Kenya for the year ended 31st March 1956. Agricultural chemistry. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, mai 1956, p. 130.
2. Idem, mai 1957, p. 124.
3. Contribution à l'étude du caféier en Côte d'Ivoire. Bulletin scientifique n° 5 du Ministère de la France d'Outre-Mer, 1954.
4. Extracts from the reports of agricultural office (coffee services) for the years 1954 and 1955. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, janv. 1957, p. 10-11.
5. Informations of research institutions (fertilizers experiments). *Coffee* (Turrialba, Costa-Rica), mai-juin 1959, vol. 1, n° 1, p. 16-17.
6. Idem, juill.-sept. 1959, vol. 1, n° 2, p. 35.
7. Idem, oct.-déc. 1959, vol. 1, n° 3, p. 55.
8. Nutrición del café en Costa-Rica. Ministerio de agricultura y ganadería. *Boletín técnico*, n° 43, 1963, 35 p.
9. ABRUNA, VICENTE-CHANDLER, SILVA. The effect of different fertility levels on yields of intensively managed coffee in Puerto-Rico. *The journal of agriculture of the University of Puerto-Rico*, juill. 1959, p. 141-146.
10. ALEGRIA. Aplicación de la estadística a las investigaciones del café. *Boletín informativo*, suppl. 14, avril 1962. Instituto Salvadoreño de investigaciones del café. Santa Tecla. El Salvador.
11. BEAUMONT, FUKUNAGA. Factors affecting the growth yield of coffee in Kona Hawaii. Hawaii agricultural experiment station, bulletin 113, juin 1958, p. 39.
22. FERNANDEZ. Information on the work of research institutions : Chocó, Guatemala. *Coffee* (coffee and cacao technical services) oct.-déc. 1959 (Turrialba, Costa-Rica).
23. FORESTIER. L'apport d'engrais en culture caféière (Robusta). *Nos sols*, 7-8, p. 5-30, avr.-juill. 1958.
24. FOSTER. Progress in cultivation of coffee in Nyasaland. *Rhod. Agric. J.*, 1959 (3), p. 137-141.
25. FRAGA, CONAGIN. Delineamentos e analises de experimentos com cafeeiros. *Bragantia*, 1956, t. XV, n° 17, p. 177-191.
26. FRANCO, COARACY, LAZZARINI, CONAGIN, ARMANDO, RUIS, JUNQUEIRA, PUPO DE MORAES, FERDINANDO. Manutenção de cafézal com adubação exclusivamente mineral. *Bragantia*, 19 (33), p. 523-546, maio de 1960.
27. GILBERT. The mulching of *Coffea arabica*. *The East African agricultural journal*, oct. 1945, p. 75-79.
28. GILBERT. The coffee research and experiment station Tanganyika Territory : a brief survey on the first ten years work. *The Empire journal of experimental agriculture*, juill. 1945, p. 113-124.
29. GODOY, GRANER. Resultados do primeiro ano de adubação efectuada nas covas por ocasião do plantio. *Rev. Agric.* Piracicaba, 1960, 35, p. 97-108 et 1961, 36, p. 199-206.
30. GOMEZ, ESMONIS, CAPÓ. Fertilizer requirements of coffee grown on Catalina clay in Puerto-Rico. *The journal of agriculture of the University of Puerto-Rico*, juill. 1946, p. 127-137.
31. GONZALES. La fumure du caféier à Costa-Rica. *Bull. de doc. et de techn. agric.*, 4° trim. 1955, n° 34, p. 22-34.
32. HAARER. Sombra o no sombra para el café arábigo. *Suelo Tico*, San José, Costa-Rica, 1956, déc.-mars, p. 133-139, n° 35.

33. HILLS, RIS, LAMBERTS. Impressions of the coffee grown in East and Central Africa. *The East African agricultural journal*, juin 1940, p. 32-33, oct. 1940, p. 74-76.
34. JACOB, UEXKULL. Fertilizer use. Nutrition and manuring of tropical crops. Verlagsgesellschaft für Ackerbau GmbH, Hanover, 1958. Coffee, p. 279-294.
35. JONES, ROBINSON. Notes on a tour of Nyanza coffee districts. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, avr. 1958, p. 93.
36. JONES, ROBINSON, WALLIS. Fertilizers, manure and mulch in Kenya coffee growing. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, déc. 1961, p. 441-459.
37. LAZZARINI. O problema da adubação do cafeeiro. *Boletim da superintendencia dos serviços do café*, 33 (381), p. 11-25, nov. 1958.
38. MACHADO. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. *Cenicafé*, n° 78, vol. 9, juill.-août 1958, p. 157.
39. MALAVOLTA, ARZOLLA, HAAG. Nota sobre a aplicação de ureia. *Revista de agricultura*, Piracicaba, 1957, XXXII, n° 4, p. 223-226.
40. MEDCALF. Preliminary study on mulching young coffee in Brazil. IBEC research institute, n° 12, 1956.
41. MEDCALF, LOTT. Metal chelates in coffee. IBEC research institute, n° 11, 1956.
42. MENARD, CROCOMO, PIMENTEL-GOMES, DE CAMPOS. Pulvérisations d'engrais potassiques sur caféiers au Brésil. *Revue de la potasse*, Berne, section 27, 35^e suite, juin 1962.
43. MELVILLE. Minutes of the 15th meeting of the coffee research committee, held in the offices of the Coffee Board of Kenya, 21st July 1949 (Manure and fertilizer trials). *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, sept. 1949, p. 168.
44. MONTAYA, SYLVAIN, UMANA. Effect of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in coffee arabica L. *Coffee*, oct.-déc. 1961 (Turrialba, Costa-Rica), p. 97-103.
45. PEREIRA. Effects of fertilizers and manures on Kenya coffee. *The East African agricultural journal*, juill. 1953, p. 43-45.
46. PEREIRA, JONES. Maintenance of fertility in dry coffee soils. *The East African agricultural journal*, avr. 1950, p. 174-177.
47. PEREIRA, JONES. Field responses by Kenya coffee to fertilizers, manures and mulches. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, nov. 1955, p. 298-300, et déc. 1956, p. 324-327.
48. PEREIRA, ROBINSON, HOLME. Minutes of the 30th meeting of the coffee research committee held at the coffee research station, Ruiru, 20th oct. 1953 (Application of sulphate of ammonia). *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, déc. 1953, p. 572.
49. PERKINS. Some investigations on a coffee estate on Mont Elgon. 2) Results of trial plot experiments. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, nov. 1948, p. 144-145.
50. PEREZ. Estudio sobre el tamaño de la parcela experimental en café. Costa-Rica, 1959, Servicio técnico interamericano de cooperación agrícola. Información técnica n° 7, 23 p.
51. RAYNER. Growth and bearing habits of *Coffea arabica* in Kenya and in Southern India. *The East African agricultural journal*, avr. 1946, p. 251-255.
52. ROBINSON. A note on sulphate of ammonia application to coffee. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, mars 1954, p. 58.
53. ROBINSON. Fertilizing coffee seedlings. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, juill. 1958, p. 181-188.
54. ROBINSON. The influence of fertilizers and manure, on the pH reaction of a coffee soil. *The East African agricultural journal*, oct. 1956, p. 76-80.
55. ROBINSON. General nitrogen fertilizer recommendations for mature coffee. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, août 1959.
56. ROBINSON. Nitrogen studies in a coffee soil : I. Seasonal trends of natural soil nitrate and ammonia in relation to crop growth, soil moisture and rainfall. *J. Agric. Sci.* 55 (3), p. 333-338, déc. 1960. II. The influence of mulch on natural and fertilizers levels of nitrate and ammonia in the top soil. *J. Agric. Sci.* 56 (I), p. 49-59, févr. 1961. III. The comparative efficiency of ammonia sulphate and urea fertilizers in the presence and absence of an organic mulch measured in terms of crop yield. *J. Agric. Sci.* 56 (I), p. 61-64, fév. 1961.
57. ROBINSON, BULL. Debility growth symptoms in arabica coffee. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, juill. 1961.
58. ROBINSON, CHENERY. Magnesium deficiency in coffee with special reference to mulching. *The Empire journal of experimental agriculture*, juill. 1958, p. 259-272.
59. ROBINSON, HARCOT. Urea sprays in coffee. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, oct. 1959.
560. SCHOENMACKERS. Note préliminaire au sujet des symptômes de carence observés au Kivu principalement dans les plantations de café. *Bull. de doc. et de techn. agric.*, 4^e trim., 55, n° 34, p. 3-5.
61. SUAREZ DE CASTRO. Relaciones entre las lluvias y la producción de café. Instituto Salvadoreño de investigaciones del café. Santa Tecla, El Salvador. *Boletín informativo*, suplemento n° 7, fév. 1961.
62. TENORIO. Efectos del nitrógeno nítrico y amoniacal en combinación con mantillo y varios elementos mayores y menores sobre la producción de café. *Boletín informativo* supl. 14, avril 1962. Instituto Salvadoreño de investigaciones del café, Santa Tecla.
63. TENORIO. Efectos de la acidez causada por algunos fertilizantes sobre la producción del café. *Boletín informativo*, ISIC, Santa Tecla, El Salvador, n° 34, août 1962.
64. THOMAS. The manuring of coffee in South India. *Indian coffee*, vol. 21, n° 10, oct. 1957, p. 309-319.
65. URIBE, QUICENO. Comportamiento de algunos progenies de *Coffea arabica* L. bajo diferentes condiciones de sombrero y fertilización. *Cenicafé* (Chinchina), mai-juin 1958, vol. 9, n° 5-6, p. 107-124.
66. FORESTIER. Fertilité des sols des caféières en République Centrafricaine. IV. Etudes sur le phosphore dans les sols latéritiques. *L'Agronomie tropicale*, sept.-oct. 1960, p. 543-567.

V. — ANALYSES FOLIAIRES SUR CAFÉIERS

1. ABRUNA, FERNANDO, VICENTE-CHANDLER, JOSÉ. Effects of six sources of nitrogen on yields, soil acidity and leaf composition of coffee. Puerto-Rico University, *journal of agriculture*, 47 (I) p. 41-46, janv. 1963.
2. BUSH. Nutrition minérale du Robusta dans le Centre Oubangui. *Agronomie tropicale*, 1956, n° 4, juill.-août, p. 417-447.

3. CARVAJAL. Leaf sampling of coffee for diagnostic purposes. *Coffee*, av.-juin 1963 (Turrialba Costa-Rica), vol. 5, n° 7.
4. CATANI, PUPO DE MORAES. A composição química do cafeeiro. Quantidade e distribuição de N, P₂O₅, MgO, CaO em cafeeiro de 1 a 5 anos de idade. *Revista de agricultura*, 1958, XXXIII, n° 1, p. 45-52.
5. CHAVERRI, BORNEMISZA, CHAVES. Resultados de análisis foliar del cafeto en Costa-Rica. Oct. 57, *información técnica* n° 3, servicio técnico interamericano de cooperación agrícola. Ministerio de agricultura e industrias.
6. COOIL. Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. Honolulu, University of Hawaii, 1954, in 4°.
7. CULOT. Symptômes de déficience nutritive sur caféier robuste dans la cuvette congolaise. *Bulletin d'information de l'I. N. E. A. C.*, vol. VIII, n° 3, juin 1959, p. 189-199.
8. CULOT, VAN WAMBEKE, CROGAERT. Contribution à l'étude des déficiences minérales du caféier arábica au Kivu. Série scientifique, I. N. E. A. C., n° 73.
9. ESPINOZA. El análisis foliar en el diagnóstico del estado nutricional del cafeto. Instituto Salvadoreño de investigaciones del café, Santa Tecla, sept. 1960.
10. ESPINOZA. Resultados preliminares del análisis foliar del cafeto en El Salvador. Instituto Salvadoreño de investigaciones del café, Santa Tecla, El Salvador, juill. 1961.
11. FORESTIER. Sélection et nutrition minérale du caféier robuste. *Café, cacao, thé*, n° 4, oct.-déc. 1961, p. 219-226.
12. FORESTIER. Valeur du diagnostic foliaire du caféier robuste. *Café, cacao, thé*, n° 3, juill.-sept. 1962, p. 191-205.
13. FRANKART, CROGAERT. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du caféier robuste en Uélé, Série scientifique, I. N. E. A. C., n° 80.
14. HUERTA. Effect of soil fertilization on the mineral composition of coffee leaves. *Coffee*, juill.-sept. 1963, Turrialba, Costa-Rica, vol. 5, n° 18.
15. JAMMAR. Le diagnostic foliaire du caféier d'Arabie. *Bulletin de doc. et de techn. agric.*, 11 (41), p. 25-34, 3° trim. 1957.
16. LAINS E SILVA. Variação de composição mineral de folhas de cafeeiro. *Revi. do café português*, Lisboa, 1956, sept., n° 2, p. 45-61.
17. LAUDELOUT. Le diagnostic du besoin en engrais par l'analyse foliaire. *Bulletin d'information de l'I. N. E. A. C.*, vol. 4, n° 2, avril 1955, p. 89-94.
18. LOTT, MAC CLUNG, MEDCALF. Sulfur deficiency in coffee. IBEC research institute, n° 22, 1960.
19. LOTT, MAC CLUNG, DE VITA, GALLO. A survey of coffee fields in São Paulo and Parana by foliar analysis. IBEC research institute, n° 26, 1961.
20. LOTT, NERY, GALLO, MEDCALF. Leaf analysis technique in coffee research. IBEC research institute, n° 9, 1956.
21. LOUÉ. Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin trimestriel n° 3 (2° trim. 1951), p. 13-42, Côte d'Ivoire.
22. LOUÉ. Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin n° 8, 2° trim. 1953, p. 97-154.
23. LOUÉ. Première utilisation du diagnostic foliaire pour l'étude des oligo-éléments dans le caféier en Côte d'Ivoire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin spécial 1955, p. 31-37.
24. LOUÉ. Diagnostic foliaire comparé du caféier dans les régions de Daloa et de Bingerville. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin spécial 1955, p. 38-53.
25. LOUÉ. Influence de la fumure minérale sur la composition chimique du grain de café et de ses enveloppes et problème des exportations d'éléments fertilisants. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin spécial 1955, p. 54-68.
26. LOUÉ. La nutrition minérale du caféier en Côte d'Ivoire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, bulletin spécial, mars 1957, 205 p.
27. LOUÉ. Nouvelles observations sur les oligo-éléments dans la nutrition du caféier. *Café, cacao, thé*, nov.-déc. 1960, p. 133-149.
28. LOUÉ. Etude des carences et déficiences en K, Ca et Mg dans le caféier robuste. I. F. C. C., bulletin n° 4, août 1962, 46 p.
29. MALAVOLTA, GOMES, COURY. Etude de l'alimentation minérale du caféier. *Fertilité*, n° 5, sept. 1958, p. 15-25.
30. MEDCALF, LOTT, TEETER, QUINN. Experimental program in Brazil. IBEC research institute, n° 6, 1955.
31. MOLLE. L'alimentation minérale du caféier. Série scientifique, I. N. E. A. C., n° 69.
32. MULLER. Mineral deficiencies in coffee in Costa-Rica. Meeting on soil fertility and fertilizers for the Latin America Region, Turrialba, Costa-Rica, 1957.
33. MULLER. La aplicación del diagnóstico foliar en el cafeto (*Coffea arabica* L.) para una mejor fertilización. Turrialba, Costa-Rica, 1959, vol. 4, oct.-déc., p. 110-122.
34. PAQUAY. Premiers résultats obtenus au Ruanda-Urundi, à la suite de l'application d'une fumure minérale au caféier d'Arabie. *Bulletin information I. N. E. A. C.*, n° 5, oct. 1961.
35. PARRA. El análisis químico de las hojas de las plantas y su aplicación en el cultivo del café. *Revista cafetera de Colombia* (Bogotá) 1957, avr., vol. 13, n° 131, p. 122-128.
36. ROBINSON. Influence of weed growth on the nitrogen in the soil and coffee leaf. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, juill. 1956, p. 158-159.
37. ROBINSON. Mineral deficiencies in mature coffee; leaf sampling and analytical techniques. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, janv. 1958, p. 9-13.
38. ROBINSON. Leaf analysis at the coffee research station Ruiru. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, fev. 1958, p. 39-40.
39. ROBINSON. Mineral nutrition of coffee. Preliminary results with the leaf analysis technique. *East African agricultural and forestry journal*, vol. XXVII, n° 1, juill. 1961.
40. URHAN. El análisis de hojas y la respuesta de los cafetos a algunos fertilizantes. *Boletín informativo*, Chinchina, 1953, juin, vol. IV, n° 42, p. 36-38.
41. WARDEN. The dry soil nutrition of coffee. *East African agricultural and forestry journal*, avril 1963, p. 195-203.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ici tous ceux qui nous ont aidée dans l'accomplissement de ce travail :

Tout d'abord les planteurs d'Arabica de la région Bamoun qui ont bien voulu laisser réaliser chez eux ces essais et tout particulièrement MM. HOCHDOERFFER, TROLLET, LORAIN, GENTINETTA et EYMIN qui par leur obligeance, leur aide matérielle et l'accueil très amical de leurs familles, ont beaucoup facilité notre tâche et celle de nos collaborateurs.

Nous remercions très chaleureusement M. DUHUY qui était en 1957 chef de la circonscription agricole Bamoun. Sa parfaite connaissance du pays a rendu facile la mise en place de l'essai et il a contribué largement par la suite aux travaux d'épandage d'engrais, de prélèvements de feuilles et de récoltes de fruits, avec l'aide de M. MBIELLE, alors chef de poste agricole au S. M. C. A. Sans l'intérêt soutenu qu'il a toujours porté à cette étude, cette expérience, commencée dans des conditions extrêmement difficiles, n'aurait certainement pas pu être poursuivie. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous remercions aussi son successeur, M. Jacques NJOVA, M. PICCO, directeur du S. M. C. A. et son adjoint M. NGAYAP, qui nous ont fourni toutes sortes de facilités matérielles, ainsi que M. Ismaël FOUPON, chef du poste agricole de Baham III, qui nous a beaucoup aidée lors de nos tournées en pays Bamoun.

Nous tenons à signaler la participation à ce travail de MM. Paul MBIDA, actuellement ingénieur des travaux ruraux en service dans le Nord-Cameroun, Justin L. N'GONO et Jean-Pierre МРАСКО, agents du laboratoire de physiologie végétale au C. R. A. de Nkolbisson, qui ont été des collaborateurs dévoués, consciencieux et disciplinés ; celle de M. HAMON, adjoint technique au C. R. A., qui a fait une importante partie des très nombreux calculs nécessaires à la rédaction des deuxième et troisième parties de ce travail.

Nous remercions enfin tout particulièrement nos camarades du C. R. A., qui nous ont beaucoup aidée à la mise en place de cet essai et à l'interprétation des résultats, M. MULLER, phytopathologue, et M. MARTICOU, chef du service des statistiques agricoles.

