

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE
(I. N. É. A. C.)

L'ALIMENTATION MINÉRALE
DU CAFÉIER

(*Coffea canephora* PIERRE)

PAR

A. MOLLE

Ingénieur agronome A.I.Gx
Docteur en Sciences botaniques U.L.B.
Chef du Bureau des Engrais de l'I.N.É.A.C.

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 69
1957

PRIX : 160 F

Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge

I. N. É. A. C.

(A. R. du 22-12-33 et du 21-12-39).

L'INÉAC, créé pour promouvoir le développement scientifique de l'agriculture au Congo belge, exerce les attributions suivantes :

1. Administration de Stations de recherches dont la gestion lui est confiée par le Ministère des Colonies.
2. Organisation de missions d'études agronomiques et formation d'experts et de spécialistes.
3. Études, recherches, expérimentation et, en général, tous travaux quelconques se rapportant à son objet.

Administration :

A. COMMISSION

Président :

S. A. R. le prince ALBERT de Belgique.

Vice-Président :

M. JURION, F., Directeur général de l'I.N.É.A.C.

Secrétaire :

M. LEBRUN, J., Secrétaire général de l'I.N.É.A.C.

Membres :

MM. BOUILLENNE, R., Membre de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique;

BRIEN, P., Membre de l'Académie royale des Sciences coloniales;

DEBAUCHE, H., Professeur à l'Université Catholique de Louvain;

DE WILDE, L., Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gand;

DUBOIS, A., Directeur de l'Institut de Médecine Tropicale « Prince Léopold », à Anvers;

DUMON, A., Professeur à l'Institut Agronomique de l'Université Catholique de Louvain;

GEURDEN, L., Professeur à l'École de Médecine Vétérinaire de l'État, à Gand;

GILLIEAUX, P., Membre du Comité Cotonnier Congolais;

GUILLAUME, A., Président du Comité Spécial du Katanga;

HARROY, J.-P., Vice-Gouverneur général, Gouverneur du Ruanda-Urundi;

HELBIG DE BALZAC, L., Président du Comité National du Kivu;

HENRARD, J., Directeur de l'Agriculture, Forêts, Élevage et Colonisation, au Ministère des Colonies;

HOMÈS, M., Professeur à l'Université Libre de Bruxelles;

LAUDE, N., Directeur de l'Institut Universitaire des Territoires d'Outre-Mer à Anvers;

MAYNÉ, R., Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux;

OPSOMER, J., Professeur à l'Institut Agronomique de Louvain;

PEETERS, G., Professeur à l'Université de Gand;

PONCELET, L., Météorologiste à l'Institut Royal Météorologique, à Uccle;

ROBYNS, W., Membre de l'Académie Royale Flamande des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique;

SCHOENAERS, F., Professeur à l'École de Médecine Vétérinaire de l'État, à Cureghem;

L'ALIMENTATION MINÉRALE
DU CAFÉIER

(*Coffea canephora* PIERRE)

**PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE
(I. N. É. A. C.)**

**L'ALIMENTATION MINÉRALE
DU CAFÉIER**
(Coffea canephora PIERRE)

PAR

A. MOLLE

Ingénieur agronome A.I.Gx
Docteur en Sciences botaniques U.L.B.
Chef du Bureau des Engrais de l'I.N.É.A.C.

**SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 69
1957**

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	9

PREMIÈRE PARTIE

Principes expérimentaux.

I. <i>Principes théoriques</i>	11
II. <i>Principes méthodologiques</i>	13

DEUXIÈME PARTIE

Croissance et développement du caféier en fonction du milieu nutritif.

I. <i>Plan des essais</i>	15
A. Solutions nutritives	15
Constantes des expériences	15
Variables des expériences	16
Variables de composition	17
B. Conditions matérielles et marche générale des essais	27
II. <i>Étude phénologique des essais</i>	29
A. Étude de la croissance en hauteur	29
B. Étude de la croissance de la tige principale	36
C. Formation des nœuds	37
D. Apparition des branches	40
E. Mesure de la croissance en largeur	46
F. Apparition des fleurs	50

III. <i>Étude des rendements pondéraux</i>	53
A. Commentaire général des données	60
B. Comparaison par couples de traitements	67
C. Influence des éléments selon les groupes chimiques	81
D. Détermination des besoins alimentaires du caféier basée sur la conception des équilibres ioniques	85
E. Confrontation de l'interprétation physiologique et du choix sur une base empirique	95
F. Influence du quatrième ion.	96
G. Évolution des proportions ioniques favorables dans le temps .	101
IV. <i>Fumure minérale du caféier</i>	108

TROISIÈME PARTIE

Composition minérale du caféier en fonction du milieu nutritif.

I. <i>Exposé des données analytiques</i>	111
II. <i>Interprétation des données analytiques</i>	117
A. Remarques générales	117
B. Proportions relatives des éléments dosés	118
C. Étude de la variabilité	122
D. Influence du milieu extérieur sur les données analytiques. . .	124
E. Discussion des données analytiques en fonction de la qualité du milieu nutritif	133
F. Étude de l'utilisation effective des éléments minéraux fournis .	139
G. Effet simultané de l'âge des tissus et des traitements sur la composition minérale de la plante	145
H. Influence des ions chlorhydrique et sodique sur la composition minérale interne	147
III. <i>Considérations sur le diagnostic foliaire</i>	151
A. Normes de composition minérale du caféier	152
B. Prélèvement de l'échantillon	153
C. Interprétation des analyses	154
D. Remarques générales et limitations du diagnostic foliaire . . .	156

QUATRIÈME PARTIE

Conclusions générales.

I. <i>Conclusions de caractère théorique</i>	157
II. <i>Conclusions de caractère pratique</i>	162

INTRODUCTION

Poursuivant les études d'alimentation minérale des végétaux entreprises sur une base physiologique, l'I.N.É.A.C. a inscrit à son programme les recherches relatives au caféier.

Nous présentons les résultats obtenus après deux années d'expérimentation.

Suivant les termes de M. V. HOMÈS¹, auxquels nous avons fait de très larges emprunts, l'objectif était d'établir les relations entre le développement et la croissance du végétal en conditions contrôlées et la composition minérale des formules alimentaires appliquées pendant une période limitée.

Partant de ces données, on pouvait espérer asseoir les connaissances en matière de fumure minérale du caféier sur une base physiologique. Tel était le but principal des études.

Il apparaît cependant que des indications diverses et des observations faites en cours d'essai viennent compléter les informations recueillies à propos du développement pondéral. Des indications de ce genre peuvent être utiles à plus d'un titre. Nous fournissons ici les données susceptibles d'intérêt.

Enfin, un des buts poursuivis par ce genre d'études est de soumettre à l'épreuve des faits un certain nombre de principes scientifiques dont la confirmation ou l'infirmité permettent de dégager l'expérimentation de l'alimentation minérale de sa phase empirique.

Les principes en question ont été exposés par M. V. HOMÈS et ses collaborateurs. Nous y renvoyons le lecteur, n'en reprenant que l'essentiel dans le présent travail.

Il s'ensuit que la première partie de notre exposé reflète des textes et des idées déjà publiées.

1. HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale du Cacaoyer (*Theobroma Cacao L.*), Public. I.N.É.A.C., sér. scient., n° 58 (1953).

INTRODUCTION

Une expérimentation d'une telle ampleur n'était réalisable qu'à condition de disposer des puissants moyens matériels réunis au Centre de Recherches de l'I.N.É.A.C. à Yangambi.

Nous remercions le Directeur de ce Centre, M. J. HENRY, de l'appui bienveillant qu'il n'a cessé de nous donner, ainsi que M. le Directeur général F. JURION et M. le Secrétaire général J. LEBRUN qui ont bien voulu manifester leur intérêt à la poursuite de nos travaux.

Il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici à M. A. RINGOET, alors chef du Laboratoire de Physiologie végétale dont nous étions l'assistant, nos très vifs remerciements pour l'aide constante, les conseils et les critiques, en un mot, l'excellente camaraderie dont il n'a cessé de nous prodiguer les marques.

M. N. MOUMM, chimiste de l'Institut, a assuré les analyses sur matériel végétal avec le soin et la diligence qu'on lui connaît. Qu'il veuille trouver ici l'expression de nos remerciements.

Enfin, nous tenons à évoquer ici, d'une manière particulièrement reconnaissante, les conseils et les discussions critiques que M. le Professeur M. V. HOMÈS, en dépit des lourdes tâches qui lui incombent, a bien voulu nous réserver tant pendant ses séjours en Afrique qu'en Europe au cours de la rédaction de ce travail.

PREMIÈRE PARTIE

Principes expérimentaux.

I. PRINCIPES THÉORIQUES

Ainsi que l'écrit M. V. HOMÈS ¹, qui a inspiré presque textuellement cette première partie, la physiologie de la nutrition minérale des végétaux est dominée par deux grands principes :

1° Le rôle spécifique des éléments chimiques.

2° L'interaction des divers éléments chimiques en présence.

Les discussions particulières des différentes écoles reposent en fait sur ces principes.

L'intérêt indéniable du corps de théories proposé par M. V. HOMÈS et ses collaborateurs est de rassembler, en une synthèse cohérente et de caractère explicatif, l'ensemble des faits physiologiques observés. Deux travaux d'ensemble ², basés sur cette conception, laissent entrevoir que « le caractère d'utile hypothèse de travail » est déjà amplement démontré.

Quoi qu'il en soit, la présente recherche admet les principes suivants :

1. Dans ses grandes lignes, l'alimentation minérale est régie par les mêmes règles que celles qui déterminent les réactions d'une cellule isolée immergée dans une solution minérale.

2. Dans l'action des éléments pris sous leur forme ionique, on peut distinguer les effets chimiques (généralement pris dans le sens de rôle constructeur) et des effets physiques auxquels on a réservé jusqu'à

1. *Op. cit.*, p. 10-16.

2. *Op. cit.* ainsi que : HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale du Palmier à huile *Elaeis guineensis* JACQ., Public. I.N.É.A.C., sér. scient., n° 39 (1949).

présent le vocable assez obscur de rôle cataliseur et qui en fait doivent être rattachés aux phénomènes de toxicité en général.

3. Essentiellement, les effets chimiques sont le fait des éléments du groupe anionique (électronégatif) dont les principaux représentants sont l'azote, le soufre et le phosphore.

4. De même, les effets physiques sont essentiellement dus aux éléments appartenant au groupe cationique (électropositif) dont les principaux sont, parmi les éléments dits majeurs, le potassium, le calcium et le magnésium.

Il n'en reste pas moins que, dans les deux cas envisagés, des effets chimiques — ou physiques — peuvent occasionnellement être dus à des éléments de l'autre groupe chimique, cationique ou anionique, mais il semble bien que des cas précis soient en nombre limité.

5. Le mécanisme des effets physiques devrait être recherché dans les modifications des propriétés des colloïdes cytoplasmiques sous l'influence des ions : conductivité, perméabilité et réactivité cellulaires, etc.

6. L'état normal des colloïdes cellulaires serait la conséquence de la présence dans ces colloïdes de proportions convenables entre les cations. Celles-ci seraient sous la dépendance des proportions de ces corps dans le milieu extérieur.

Les modifications des concentrations relatives extérieures entraîneraient des changements, des altérations de propriétés physiologiques, résultat des actions antagonistes des éléments.

7. Étendant cette conception à la plante entière, nous admettons que les proportions des cations sont responsables de l'état de santé de la plante.

En première approximation tout au moins, cet état de santé est susceptible d'influencer l'intensité des phénomènes de synthèse qui ont leur siège dans la plante et dépendent, pour leur part, principalement des proportions existant dans le milieu extérieur entre les éléments anioniques.

8. En fait, tout se passe donc comme si le comportement du végétal en présence d'un traitement expérimental donné était lié :

a) aux proportions relatives des cations (par leur action sur la perméabilité cellulaire et l'état de santé);

b) aux proportions relatives des anions (par leur action directe sur le métabolisme);

c) aux proportions relatives de la somme des éléments anioniques à la somme des éléments cationiques.

II. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

Les principes théoriques dus à M. V. HOMÈS et que nous venons de rappeler brièvement sont soumis à la vérification de l'expérience.

Leur adoption comme base de recherche implique automatiquement le respect de certaines règles d'ordre méthodologique.

1^o Les proportions de tous les éléments constituant le milieu alimentaire interviennent lors de l'étude du comportement du végétal en fonction des traitements.

2^o Dans une même série expérimentale, les traitements seront comparés sur la base d'un même apport calculé en équivalents-grammes.

3^o Il apparaît ainsi que la seule condition variable étudiée réside dans les proportions relatives des différents équivalents du milieu.

4^o La variable contrôlée portera, d'une part, sur le groupe des éléments électronégatifs (anioniques), d'autre part, sur celui des éléments électropositifs (cationiques), et enfin sur le rapport entre ces deux sommes.

5^o Pour des raisons physiologiques, l'azote apporté est classé, en première approximation, parmi le groupe des éléments électronégatifs, auxquels nous avons reconnu un rôle essentiellement constructeur.

L'étude de l'apport azoté, soit totalement, soit partiellement, sous la forme ammoniacale tendrait à éclaircir l'appartenance de l'ion ammonium au groupe électronégatif, du fait de ses caractères physiologiques, ou au contraire au groupe anionique en raison de ses effets physiologiques.

Cette étude n'est pas abordée ici et tout l'azote sera apporté sous forme nitrique.

6^o Il va de soi que les doses étant égales sur la base des équivalents-grammes ne peuvent l'être sur la base pondérale.

7^o Les éléments qu'il convient de prendre en considération sont N, S, P, K, Ca, Mg et, si possible, Na et Cl.

Les éléments oligodynamiques devraient être ajoutés partout d'une manière égale.

D'une façon générale, la planification de nos essais procède d'une conception analogue à celle des essais sur cacaoyer et sur palmier à huile. Cela est essentiellement dû à l'état d'avancement des conceptions théoriques au moment de la mise en route de nouvelles séries expérimentales.

On se rendra compte que la réalisation matérielle de certains essais constitue un travail considérable dans le temps et dans l'espace. Un décalage est donc inévitable.

Cependant, l'intérêt de notre recherche réside non seulement dans la comparaison empirique de divers traitements qui doit être établie sur des bases suffisamment éprouvées pour satisfaire aux buts poursuivis par l'I.N.É.A.C., mais aussi dans l'utilisation de certaines données à la démonstration ou la vérification des hypothèses de la conception d'ensemble.

DEUXIÈME PARTIE

Croissance et développement du caféier en fonction du milieu nutritif.

I. PLAN DES ESSAIS ¹

Les essais dont nous exposons les résultats ont été subdivisés en deux séries.

Dans la première, nous avons étudié les six éléments « majeurs » : N, S, P, K, Ca et Mg; dans la seconde, nous avons introduit Cl et Na.

L'intérêt de cette subdivision apparaît double :

1^o Le chlore et le sodium sont fréquemment apportés par les engrais chimiques commerciaux. Il importait donc de tester leur influence propre.

2^o D'autre part, un intérêt scientifique s'attachait à la détermination de l'influence des proportions de tous les éléments présents.

A. Solutions nutritives.

Sur la base des conceptions exposées dans la première partie, les formules alimentaires répondent aux caractéristiques suivantes :

CONSTANTES DES EXPÉRIENCES.

1. Chaque plante d'une même série expérimentale recevra un même total d'équivalents chimiques.

Il existe des équivalents négatifs (anioniques) et positifs (cationiques).

1. Il a également été largement fait appel, dans ce chapitre, au mémoire de HOMÈS, M. V., sur le cacaoyer (p. 17-23).

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

2. Les équivalents faisant l'objet des investigations sont :

NO_3^- , $1/2 \text{SO}_4^{--}$, $1/3 \text{PO}_4^{---}$, K^+ , $1/2 \text{Ca}^{++}$, $1/2 \text{Mg}^{++}$ ainsi que Cl^- et Na^+ dont les masses sont les suivantes :

Pour	NO_3^-	$62/1 = 62$
	$1/2 \text{SO}_4^{--}$	$96/2 = 48$
	$1/3 \text{PO}_4^{---}$	$95/3 = 31,7$
	Cl^-	$35,5 = 35,5$
	K^+	$39/1 = 39$
	$1/2 \text{Ca}^{++}$	$40/2 = 20$
	$1/2 \text{Mg}^{++}$	$24/2 = 12$
	Na^+	$23/1 = 23$

Le total en nombre d'équivalents est constant et la somme pondérale de matière varie.

3. On ne tient pas compte des éléments H^+ et OH^- apportés notamment par les produits chimiques servant à la préparation des milieux alimentaires nutritifs.

Il en est de même de l'ion CO_3^{--} .

4. Les éléments mineurs sont supposés présents en quantité suffisante dans le substrat utilisé, qui n'est pas pur, et dans l'eau d'arrosage provenant de la récupération des précipitations.

5. Le rapport du total des équivalents négatifs au total des équivalents positifs est de 1,00 (rapport anions/cations ou $A/C = 1,00$).

VARIABLES DES EXPÉRIENCES.

Un traitement étant un moyen d'action sur une situation donnée, nous utiliserons ce vocable pour désigner les différentes compositions du milieu extérieur étudiées.

Ce terme correspond à « combinaison de traitement » utilisé par les Anglo-saxons, à « objet », ou mieux « motif », utilisé par les expérimentateurs d'expression française.

Un traitement est défini par la composition anionique, la composition cationique, le rapport A/C et la dose.

Le rapport A/C est identique dans tous les traitements et égal à 1,00. Les variables des expériences portent sur la dose et la composition ionique.

Dans la série A, chaque plante a reçu un total de 1.740 milliéquivalents ioniques dont la moitié sous forme d'équivalents anioniques; dans la série B, la dose totale a été de 1.670 milliéquivalents ioniques.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

Cette différence de doses entre les séries, due à une modification de la répartition dans le temps et à la durée des essais, est faible.

VARIABLES DE COMPOSITION.

SÉRIE A

De même que dans les expérimentations sur palmier à huile et sur cacaoyer, trois variantes anioniques et trois variantes cationiques ont d'abord été retenues.

Ces variantes, définies par les proportions centésimales des équivalents dans chaque groupe, sont :

Variantes anioniques.

Symbole conventionnel	N	S	P
Pourcentage d'équivalents nitriques . . .	60	20	20
Pourcentage d'équivalents sulfuriques .	20	60	20
Pourcentage d'équivalents phosphoriques.	20	20	60
Total commun anionique	100	100	100

Variantes cationiques.

Symbole conventionnel	K	Ca	Mg
Pourcentage d'équivalents potassiques . .	60	20	20
Pourcentage d'équivalents calciques . . .	20	60	20
Pourcentage d'équivalents magnésiques .	20	20	60
Total commun cationique	100	100	100

Un traitement, étant une formule nutritive, comprend six ions simultanément et correspond à la combinaison d'une variante anionique avec une variante cationique. Neuf combinaisons sont ainsi possibles, correspondant à un schéma multiplicatif défini par M. V. HOMÈS. ¹

1. HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques, Thone (Liège) et Masson (Paris), p. 82 (1953).

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU I

Composition ionique par groupes chimiques.

SÉRIE A						
Traitement	Ions en pour cent du total des anions			Ions en pour cent du total des cations		
	N	S	P	K	Ca	Mg
N K	60	20	20	60	20	20
N Ca	60	20	20	20	60	20
N Mg	60	20	20	20	20	60
S K	20	60	20	60	20	20
S Ca	20	60	20	20	60	20
S Mg	20	60	20	20	20	60
P K	20	20	60	60	20	20
P Ca	20	20	60	20	60	20
P Mg	20	20	60	20	20	60
aK.	33	33	33	60	20	20
aCa	33	33	33	20	60	20
aMg	33	33	33	20	20	60
Nc	60	20	20	33	33	33
Sc	20	60	20	33	33	33
Pc	20	20	60	33	33	33
ac	33	33	33	33	33	33

A/C : 1,0.

A côté des variantes définies plus haut, nous avons introduit une quatrième série de proportions ioniques où les trois constituants sont présents en pourcentages égaux, soit 33,3 % de N, S et P dans le groupe anionique et 33,3 % de K, Ca et Mg dans le groupe cationique.

La combinaison des variantes, définies précédemment, avec les nouvelles proportions conduit à l'établissement de six traitements correspondant à un schéma additif ².

2. *Op. cit.* p. 92.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

Enfin, la combinaison des deux variantes nouvelles forme le dernier traitement utilisé.

Au total, cette série comporte seize combinaisons ou traitements comparés à un témoin.

Ces traitements sont définis dans le tableau I (p. 18).

Nous avons utilisé des symboles conventionnels identiques à ceux adoptés par M. V. HOMÈS pour le cacaoyer. Ainsi le symbole NK désigne la combinaison de la variante anionique à haut pourcentage d'équivalents nitriques avec la variante cationique à haut pourcentage d'équivalents potassiques.

Par analogie, le symbole aK désigne la variante anionique sans dominance, combinée à la variante cationique à dominance potassique.

Le traitement témoin, constitué par un substrat identique arrosé d'eau de pluie, est désigné par le symbole T.

TABLEAU II

Équilibre N : P₂O₅ : K₂O.

SÉRIE A			
Traitement	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
N K	20	12	68
N Ca	37	21	42
N Mg	37	21	42
S K	8	13	79
S Ca	17	28	55
S Mg	17	28	55
P K	6	32	62
P Ca	11	54	35
P Mg	11	54	35
aK	11	20	69
aCa	22	36	42
aMg	22	36	42
Nc	29	16	55
Sc	12	60	28
Pc	8	43	49
ac	17	28	55

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

Les divers traitements se réalisent par mélange en proportions convenables de solutions ou de suspensions d'acides et de bases à même normalité. Le résultat de ce mélange est une suspension de sels plutôt qu'une solution au sens physique du terme. Il est donc nécessaire d'homogénéiser convenablement le liquide au moment de la distribution aux plantes.

Les valeurs du rapport N : P₂O₅ : K₂O dans les divers traitements sont donnés au tableau II (p. 19).

SÉRIE B

Dans cette série, nous avons introduit le chlore parmi les éléments électronégatifs et le sodium parmi les éléments électropositifs.

Le choix des variantes a procédé du même principe de symétrie que pour la série A.

Cependant, l'introduction d'un quatrième ion posait le problème du rapport des dominances aux présences, c'est-à-dire du pourcentage de l'ion dominant à celui des ions présents. Dans la série A, ce rapport est égal à 3 (60 % : 20 % = 3).

Si ce même rapport était appliqué dans le cas de quatre ions, il donnerait comme pourcentages, pour la dominance nitrique des variantes anioniques par exemple :

NO₃ 49,8 % du total des anions ;
 SO₄ 16,6 % du total des anions ;
 PO₄ 16,6 % du total des anions ;
 Cl 16,6 % du total des anions.

Dans la série B, nous avons préféré choisir une dominance plus forte, de manière à provoquer certainement des différences de réaction aux traitements.

Les variantes anioniques et cationiques s'établissent comme suit :

Variantes anioniques.

Symbole conventionnel	N	S	P	Cl
Pourcentage d'équivalents nitriques	58,0	14,3	14,3	14,3
Pourcentage d'équivalents sulfuriques . . .	14,3	58,0	14,3	14,3
Pourcentage d'équivalents phosphoriques . .	14,3	14,3	58,0	14,3
Pourcentage d'équivalents chlorhydriques . .	14,3	14,3	14,3	58,0

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

Variantes cationiques.

Symbole conventionnel	K	Ca	Mg	Na
Pourcentage d'équivalents potassiques	58,0	14,3	14,3	14,3
Pourcentage d'équivalents calciques	14,3	58,0	14,3	14,3
Pourcentage d'équivalents magnésiques	14,3	14,3	58,0	14,3
Pourcentage d'équivalents sodiques	14,3	14,3	14,3	58,0

La réalisation des combinaisons conduisant aux traitements, selon la méthode « multiplicative » donnerait lieu à seize combinaisons.

En fait, au moment de la conception de cet essai la méthode dite « additive » nous était déjà connue et nous avons choisi de l'appliquer à cette série.

Ainsi le nombre de combinaisons était ramené à huit.

Il nous fallait donc choisir des proportions cationiques à combiner aux variantes anioniques et vice versa.

Pour les premières, nous avons choisi :

- K⁺ 25 % du total des cations ;
- Ca₂^{++/2} 30 % du total des cations ;
- Mg^{++/2} 35 % du total des cations ;
- Na⁺ 10 % du total des cations.

Ces proportions assuraient la présence des quatre ions étudiés tout en réservant uniformément aux trois principaux une importance plus grande.

Pour les secondes, nous avons délibérément adopté une proportion élevée d'équivalents nitriques, comme étant susceptibles du meilleur effet sur la croissance du végétal.

- NO₃⁻ 50,5 % du total des anions ;
- SO₄^{--/2} 16,5 % du total des anions ;
- PO₄^{---/3} 16,5 % du total des anions ;
- Cl⁻ 16,5 % du total des anions.

L'existence de dominances assez élevées, si elle permettait d'espérer des différences de réaction considérables, risquait d'entraîner la destruction éventuelle de la majorité ou de la totalité des plantes d'un traitement. Dans ces conditions, la méthode additive n'aurait pu con-

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

duire au calcul des proportions optima, par suite des données numériques manquantes.

D'autre part, il était intéressant, d'un point de vue de stricte méthodologie générale de l'expérimentation sur une base physiologique, d'estimer l'influence de la position des proportions ioniques sur l'emplacement des optima calculés.

Pour ces raisons, une autre série de variantes a été jointe à la première, ce sont :

Variantes anioniques.

Symbole conventionnel	N	S	P	Cl
Pourcentage d'équivalents nitriques . . .	40	20	20	20
Pourcentage d'équivalents sulfuriques . . .	20	40	20	20
Pourcentage d'équivalents phosphoriques .	20	20	40	20
Pourcentage d'équivalents chlorhydriques .	20	20	20	40

Variantes cationiques.

Symbole conventionnel	K	Ca	Mg	Na
Pourcentage d'équivalents potassiques . . .	40	20	20	20
Pourcentage d'équivalents calciques . . .	20	40	20	20
Pourcentage d'équivalents magnésiques . . .	20	20	40	20
Pourcentage d'équivalents sodiques	20	20	20	40

Ces variantes, traitées selon la méthode additive avec des proportions ioniques communes et identiques à celles définies précédemment, ont permis l'établissement de huit nouveaux traitements.

Les seize traitements, comparés à un témoin, sont définis dans les tableaux III et IV.

Les traitements sont représentés conventionnellement de la même manière que pour la série A. Cependant les dominances moindres sont désignées par des minuscules.

Le tableau V (p. 25) donne les valeurs de l'équilibre $N : P_2O_5 : K_2O$.

TABLEAU III

Composition ionique par groupes chimiques.

SÉRIE B								
Traitement	Ions en pour cent du total des anions				Ions en pour cent du total des cations			
	N	S	P	Cl	K	Ca	Mg	Na
<i>Nc</i> . . .	58,0	14,0	14,0	14,0	25	30	35	10
<i>Sc</i> . . .	14,0	58,0	14,0	14,0	25	30	35	10
<i>Pc</i> . . .	14,0	14,0	58,0	14,0	25	30	35	10
<i>Clc</i> . . .	14,0	14,0	14,0	58,0	25	30	35	10
<i>aK</i> . . .	50,5	16,5	16,5	16,5	58	14	14	14
<i>aCa</i> . . .	50,5	16,5	16,5	16,5	14	58	14	14
<i>aMg</i> . .	50,5	16,5	16,5	16,5	14	14	58	14
<i>aNa</i> . .	50,5	16,5	16,5	16,5	14	14	14	58
<i>nc</i> . . .	40,0	20,0	20,0	20,0	25	30	35	10
<i>sc</i> . . .	20,0	40,0	20,0	20,0	25	30	35	10
<i>pc</i> . . .	20,0	20,0	40,0	20,0	25	30	35	10
<i>clc</i> . . .	20,0	20,0	20,0	40,0	25	30	35	10
<i>ak</i> . . .	50,5	16,5	16,5	16,5	40	20	20	20
<i>aca</i> . . .	50,5	16,5	16,5	16,5	20	40	20	20
<i>amg</i> . .	50,5	16,5	16,5	16,5	20	20	40	20
<i>ana</i> . . .	50,5	16,5	16,5	16,5	20	20	20	40

A/C = 1,0.

TABLEAU IV
Composition ionique.

SÉRIE B								
Traitement	Ions en pour cent du total des ions présents							
	N	S	P	Cl	K	Ca	Mg	Na
Nc . . .	29,00	7,00	7,00	7,00	12,5	15	17,5	5
Sc . . .	7,00	29,00	7,00	7,00	12,5	15	17,5	5
Pc . . .	7,00	7,00	29,00	7,00	12,5	15	17,5	5
Clc . . .	7,00	7,00	7,00	29,00	12,5	15	17,5	5
aK . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	29,0	7	7,0	7
aCa . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	7,0	29	7,0	7
aMg . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	7,0	7	29,0	7
aNa . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	7,0	7	7,0	29
nc . . .	20,00	10,00	10,00	10,00	12,5	15	17,5	5
sc . . .	10,00	20,00	10,00	10,00	12,5	15	17,5	5
pc . . .	10,00	10,00	20,00	10,00	12,5	15	17,5	5
clc . . .	10,00	10,00	10,00	20,00	12,5	15	17,5	5
ak . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	20,0	10	10,0	10
aca . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	10,0	20	10,0	10
amg . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	10,0	10	20,0	10
ana . . .	25,25	8,25	8,25	8,25	10,0	10	10,0	20

TABLEAU V
Équilibre N : P₂O₅ : K₂O.

SÉRIE B			
Traitement	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Nc	35,0	14,4	50,6
Sc.	11,6	19,6	69,0
Pc.	7,1	50,0	42,9
Clc	11,6	19,4	69,0
aK	18,5	10,2	71,3
aCa	40,3	22,2	37,5
aMg.	40,3	22,2	37,5
aNa	40,3	22,2	37,5
nc	25,4	21,5	53,1
sc	14,5	24,6	60,9
pc	10,8	44,1	45,1
clc	14,5	24,6	60,9
ak.	23,7	13,1	63,1
aca	34,7	19,2	46,1
amg	34,7	19,2	46,1
ana	34,7	19,2	46,1

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

SÉRIE C

La série C est une série expérimentale complémentaire destinée à établir les modifications éventuelles des proportions entre les ions « principaux » lorsque la concentration du quatrième ion, Cl ou Na, varie.

Les traitements sont repris aux tableaux VI et VII.

TABLEAU VI

Composition ionique par groupes chimiques.

SÉRIE C								
Traitement	Ions en pour cent du total des anions				Ions en pour cent du total des cations			
	N	S	P	Cl	K	Ca	Mg	Na
N'c . . .	43,0	21,5	21,5	14,0	25,0	30,0	35,0	10
S'c . . .	21,5	43,0	21,5	14,0	25,0	30,0	35,0	10
P'c . . .	21,5	21,5	43,0	14,0	25,0	30,0	35,0	10
aK' . . .	50,0	16,5	16,5	16,5	43,0	21,5	21,5	14
aCa' . . .	50,0	16,5	16,5	16,5	21,5	43,0	21,5	14
aMg' . . .	50,0	16,5	16,5	16,5	21,5	21,5	43,0	14

A/C = 1,0.

TABLEAU VII

Composition ionique.

SÉRIE C								
Traitement	Ions en pour cent du total des ions présents							
	N	S	P	Cl	K	Ca	Mg	Na
N'c . . .	21,50	10,25	10,25	7,00	12,50	15,00	17,50	5
S'c . . .	10,25	21,50	10,25	7,00	12,50	15,00	17,50	5
P'c . . .	10,25	10,25	21,50	7,00	12,50	15,00	17,50	5
aK' . . .	25,00	8,25	8,25	8,25	21,50	10,25	10,25	7
aCa' . . .	25,00	8,25	8,25	8,25	10,25	21,50	10,25	7
aMg' . . .	25,00	8,25	8,25	8,25	10,25	10,25	21,50	7

En comparant ces données à celles des tableaux III et IV, on notera que les traitements correspondent, du point de vue de la dominance, à la seconde série de variantes de l'essai précédent mais pour des teneurs en chlore (ou sodium) plus faibles.

B. Conditions matérielles et marche générale des essais.

Les installations expérimentales sont constituées d'abris vitrés interceptant la pluie qui pourrait troubler les conditions de croissance des plants cultivés dans des vases de végétation de grande dimension.

Un ombrage constitué par des toiles de jute a ramené uniformément la lumière transmise à quelque 20 % de la lumière incidente de 9,00 à 15,00 h (G.M.T).

La culture a été faite soit dans des récipients cylindriques en béton, soit dans des vases de végétation. Les parois étaient protégées intérieurement par un vernis antiacide. Leur volume était voisin d'un sixième de mètre cube.

Le substrat utilisé était un sable de rivière, dépourvu de débris minéraux. Les matières organiques et les éléments grossiers furent éliminés par tamisage et les éléments fins par lavage.

Le semis en place du caféier n'étant pas réalisable dans les conditions expérimentales, nous avons utilisé des plantules âgées de deux mois environ, appartenant à l'espèce *Coffea canephora* PIERRE (syn. *C. robusta* LINDEN), var. SA 158.

Notons que des précautions spéciales doivent être prises lors du repiquage pour éviter l'effet néfaste de la réflexion de la radiation incidente latérale du substrat sableux sur la tige. D'excellents résultats sont obtenus en recouvrant la surface, après le repiquage, de quelques dm³ de gravier grossier.

L'arrosage des plants, pratiqué quotidiennement avec l'eau contenant inévitablement des traces de calcium, fut adapté à la croissance des plantules et aux conditions atmosphériques.

En moyenne, les quantités d'eau distribuées oscillaient autour de 600 cm³ par jour.

Le traitement témoin, ne recevant que de l'eau tout au long de l'essai, a, en fait, subi un traitement pauvre mais très déséquilibré.

Les apports d'éléments nutritifs ont été réglés suivant les données de la courbe de croissance pondérale de jeunes caféiers cultivés en pépinière, dans les conditions de Yangambi.

Il a été tenu compte des résultats acquis dans l'alimentation minérale du cacaoyer pour l'établissement d'un coefficient de correction donnant une marge de sécurité suffisante.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

Le tableau VIII renseigne les doses et le rythme des adjonctions.

Les plantules de la série A ont été repiquées en vases de végétation le 11 mai 1951; à cette date leur hauteur s'élevait à 11 cm et leur poids frais à 1,5 g.

L'essai a été clôturé le 21 mai 1952, soit 476 jours après le semis et 369 jours après le début de l'alimentation minérale.

Les plantules des séries B et C ont été repiquées le 28 avril 1951. Pendant les quatre mois suivants elles ont reçu 160 milliéquivalents d'une suspension répondant à l'équilibre ionique :

$$60 - 20 - 20 // 31 - 31 - 38.$$

Les essais de ces séries ont été arrêtés le 29 juillet 1952, soit 547 jours après le semis ou 313 jours après le début de l'alimentation minérale différentielle.

TABLEAU VIII

Doses nutritives (milliéquivalents/plant) appliquées au cours des essais.

Date d'application	Série A	Séries B et C	Date d'application	Série A	Séries B et C
18 mai 1951 . .	12	—	28 décembre 1951	115	30
1 juin 1951 . . .	12	—	14 janvier 1952 .	115	44
15 juin 1951 . .	14	—	25 janvier 1952 .	120	56
29 juin 1951 . . .	16	—	8 février 1952 .	160	60
13 juillet 1951 . .	20	—	22 février 1952 .	170	64
27 juillet 1951 . .	24	—	7 mars 1952 . .	160	70
10 août 1951 . .	30	—	21 mars 1952 . .	100	100
24 août 1951 . .	44	—	4 avril 1952 . .	100	100
7 septembre 1951	44	8	18 avril 1952 . .	—	130
21 septembre 1951	56	8	2 mai 1952 . .	—	150
5 octobre 1951 .	60	14	16 mai 1952 . .	—	150
19 octobre 1951 .	64	16	29 mai 1952 . .	—	160
2 novembre 1951	64	16	13 juin 1952 . . .	—	170
16 novembre 1951	70	20	27 juin 1952 . . .	—	180
30 novembre 1951	80	20	17 juillet 1952 . .	—	80
14 décembre 1951	100	24			

Les trois séries sont donc réparties en deux groupes d'âge différent.

Le caféier ayant tendance à former des gourmands, ceux-ci ont été enlevés manuellement dès leur apparition.

Aucune taille n'a été pratiquée; les plants ont donc crû « en croissance libre » et monocaule, pour reprendre les termes du praticien.

II. ÉTUDE PHÉNOLOGIQUE DES ESSAIS

Le terme « phénologie », pris ici dans son sens le plus large, englobe toutes les observations ou mesures faites en cours d'essai.

A. Étude de la croissance en hauteur.

La mesure de hauteur est conventionnellement la distance, exprimée en centimètres, qui sépare le collet du dernier nœud formé à l'extrémité de la tige. Cette limite est plus précise que l'extrémité même de la tige.

Une telle mesure a été prise mensuellement dans toutes les séries.

Dans l'étude des données, nous avons procédé comme suit :

La première donnée établie est la moyenne (M_a). A partir de celle-ci, nous avons établi la notation « moyenne en pour cent de la moyenne générale traitée » ($M_a \% MGT$). L'exclusion du traitement témoin (T) du calcul de la « moyenne générale traitée » permet la comparaison des séries ne comportant pas ce traitement avec les autres.

Pour l'étude statistique des résultats, nous avons utilisé le calcul de la variance. La déviation standard de la moyenne (σ_m) est établie par la même méthode. Dans toute la mesure du possible, cette donnée statistique figure dans les tableaux de rendements pondéraux, immédiatement sous la moyenne.

SÉRIE A

Les hauteurs moyennes, indiquées au tableau IX, montrent que la croissance en hauteur ne présente pas l'allure d'une courbe sigmoïde classique; on se trouve encore, avec quelque 370 jours d'alimentation minérale continue, dans la période de grande croissance des plants.

Des différences de taille acquises en fin d'essai sont cependant sensibles et, en se basant sur les données statistiques du tableau X (p. 31), il est aisé de constater que le traitement T est largement dépassé par l'ensemble des traitements chimiques, ceux à dominances calcique et

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU IX

Hauteur moyenne (cm) des plants.

SÉRIE A								
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale							
	161	186	217	248	278	307	338	373
T. . . .	14,3	15,4	15,9	19,7	22,8	26,5	27,2	31,0
N K . .	18,0	19,3	21,0	26,7	30,9	37,0	42,0	47,6
N Ca . .	20,2	22,3	25,6	33,0	40,8	47,0	51,7	57,5
N Mg . .	15,6	17,1	19,7	25,9	32,4	38,0	43,3	50,6
S K . .	18,1	18,9	20,8	25,2	28,7	32,6	37,4	45,2
S Ca . .	18,9	22,0	26,1	35,3	45,2	53,0	60,9	65,6
S Mg . .	18,5	21,0	24,2	33,8	43,6	51,6	60,2	69,0
P K . .	18,8	20,3	21,7	26,5	28,3	30,5	31,9	35,8
P Ca . .	17,7	21,1	23,9	31,5	38,8	44,3	50,7	57,5
P Mg . .	14,6	16,0	17,1	22,3	27,0	32,4	34,7	42,0
aK . . .	18,5	20,1	22,3	29,2	34,5	39,5	44,7	49,8
aCa . .	18,7	21,2	24,3	32,7	39,4	46,3	55,8	61,6
aMg . .	17,8	19,3	22,3	27,2	31,0	35,4	38,6	43,6
Nc . . .	18,1	20,5	24,7	34,5	41,8	49,3	58,0	66,6
Sc . . .	17,5	19,9	22,9	30,6	38,8	46,0	55,0	61,6
Pc . . .	17,2	19,0	20,6	25,3	28,2	31,0	33,8	38,8
ac . . .	18,7	20,4	22,2	28,9	34,3	40,8	46,4	54,3

nitrique étant parmi les plus développés, avec cependant une exception pour le traitement PK qui est à peine plus grand que le témoin en fin d'essai. L'allure quasi rectiligne de la croissance en hauteur entre les 217^e et 373^e jours nous a incité à mesurer l'angle de pente d'une droite qui représenterait la croissance moyenne entre ces deux dates et à en établir la tangente.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU X

*Hauteur (cm) des plants.**Évolution des pourcentages en fonction de la moyenne à chaque mesure.*

SÉRIE A								
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale							
	161	186	217	248	278	307	338	373
T. . .	80	77	71	67	65	65	58	59
N K. .	100	97	94	91	88	90	90	90
N Ca .	113	112	114	113	116	115	111	110
N Mg .	87	86	86	88	92	93	93	96
S K. .	101	95	93	86	82	80	80	85
S Ca .	105	111	116	120	128	130	131	124
S Mg .	103	106	108	115	124	126	129	130
P K. .	105	102	97	91	80	75	69	68
P Ca .	99	106	107	107	110	108	109	109
P Mg .	82	80	76	76	77	79	74	79
aK . .	103	101	99	100	98	96	96	94
aCa . .	104	107	108	112	111	113	120	116
aMg .	99	97	99	93	88	87	83	82
Nc . .	101	103	110	118	119	120	125	126
Sc . .	98	100	102	105	110	112	118	116
Pc . .	96	95	92	86	80	78	72	73
ac . .	104	102	99	99	97	100	100	103

Ainsi présentée (tabl. XI, p. 32), la croissance apparaît liée aux traitements dont l'effet consisterait essentiellement dans l'établissement d'un taux de croissance plus ou moins élevé qui, en fin d'essai, conduirait à une taille globale plus importante.

Nous établissons ainsi l'action du milieu extérieur sur un des aspects fondamentaux du métabolisme.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU XI

Croissance mesurée par la tangente à la courbe de croissance.

SÉRIE A		
Traitement	Angle	Tangente
T	25°	0,466
N K	40°	0,839
N Ca	45°	1,000
N Mg	45°	1,000
S K	38°	0,781
S Ca	51°	1,235
S Mg	56°	1,483
P K	24°	0,445
P Ca	47°	1,072
P Mg	39°	0,810
aK	41°	0,869
aCa	50°	1,192
aMg	34°	0,674
Nc	54°	1,376
Sc	51°	1,235
Pc	30°	0,577
ac	45°	1,000

La comparaison des données entre elles peut se faire en les exprimant en fonction de la moyenne générale à chaque mesure. Les données du tableau XII permettent la comparaison des traitements au cours du temps.

On s'aperçoit ainsi que le traitement PK qui s'avère très défavorable est par contre légèrement supérieur aux autres au début de l'essai.

TABLEAU XII

Valeurs statistiques calculées.

Date	Nombre de jours depuis le début de la nutrition	Moyenne générale traitée (MGT)	F calculé ⁽¹⁾	Plus petite différence significative (P = 0,90)	Idem en % de MGT
HAUTEUR					
SÉRIE A					
26 oct. 1951	161	17,93	1,980		
20 nov. 1951	186	19,90	1,906		
21 déc. 1951	217	22,46	2,070		
21 janv. 1952	248	29,29	2,090		
20 fév. 1952	278	35,22	2,777	10,1	28,4
20 mars 1952	307	40,92	3,464	11,0	27,0
21 avril 1952	338	46,57	4,807	12,3	26,2
20 mai 1952	373	52,94	4,980	13,0	24,6
SÉRIE B					
19 sept. 1951	4	14,3	0,751		
23 oct. 1951	38	17,5	0,602		
20 nov. 1951	66	20,6	0,750		
21 déc. 1951	97	25,5	1,144		
21 janv. 1952	128	32,9	1,314		
20 fév. 1952	158	41,3	1,886		
20 mars 1952	187	51,3	2,579	14,1	27,2
21 avril 1952	218	58,9	3,791	14,9	25,3
20 mai 1952	247	69,6	5,493	16,1	23,0
20 juin 1952	276	81,9	7,256	18,1	21,8
20 juill. 1952	308	94,3	7,866	20,1	21,0
DIAMÈTRE AU COLLET					
SÉRIE A					
20 nov. 1951	186	4,76	1,717	1,14	23,7
21 janv. 1952	248	6,56	2,860	1,52	23,0
20 mars 1952	307	8,42	4,220	2,13	25,1
20 mai 1952	373	11,28	6,641	2,62	23,2
SÉRIE B					
20 nov. 1951	66	0,519	0,881		
21 janv. 1952	128	0,754	1,734		
20 mars 1952	187	1,043	2,694	0,264	25,0
21 avril 1952	218	1,254	2,981	0,319	25,3
20 mai 1952	247	1,415	3,325	0,371	26,2
20 juin 1952	276	1,475	5,377	0,322	21,8
20 juill. 1952	308	1,735	6,684	0,351	20,1

1. Critérium F de SNEDECOR in MASSIBOT, J.A., La technique des essais culturaux et des études d'écologie agricole, G. FRÈRE, Tourcoing, p. 69 (1946).

TABLEAU XIII

Hauteur moyenne (cm).

SÉRIE B

Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale											
	4	38	66	97	128	158	187	218	247	276	308	
T	14,9	17,5	19,7	23,7	28,2	33,9	42,2	46,8	52,6	58,7	65,6	
Nc	14,6	18,3	21,5	27,8	36,8	47,0	57,5	66,2	80,7	96,4	109,3	
Sc	14,4	17,8	20,8	25,3	31,5	39,6	49,5	58,3	67,8	80,1	94,1	
Pc	14,1	16,8	18,5	22,0	28,8	37,2	48,1	57,2	68,6	79,7	90,5	
Clc	13,6	16,6	19,5	23,8	30,1	37,7	47,6	53,7	63,3	74,5	84,6	
aK	14,6	17,9	21,9	28,0	35,3	44,5	53,8	61,7	72,7	83,8	96,3	
aCa	15,0	18,0	22,0	28,2	36,8	47,5	57,6	67,2	78,5	92,9	106,1	
aMg	14,6	18,6	21,5	27,2	35,5	44,8	55,9	63,5	75,6	90,5	102,3	
aNa	14,2	17,2	20,3	25,5	30,8	34,3	41,3	43,7	48,3	53,7	61,4	
nc	13,2	16,7	20,1	25,2	34,2	43,6	56,0	65,1	77,0	88,6	101,1	
sc	14,0	17,1	20,2	25,3	34,2	44,5	55,5	63,8	75,3	88,2	103,3	
pc	14,7	17,8	20,8	25,1	32,6	41,9	53,3	61,8	74,5	86,6	99,7	
clc	14,5	17,0	19,4	23,5	29,7	38,5	48,6	58,0	70,4	84,8	97,9	
ak	14,5	18,1	21,4	26,0	33,3	38,5	46,1	53,2	62,3	72,2	85,2	
aca	13,9	17,1	20,7	26,3	35,5	45,2	56,4	64,1	73,6	88,6	103,0	
amg	13,7	17,1	20,7	24,8	32,3	41,3	50,8	58,3	67,8	84,5	96,7	
ana	14,2	17,1	19,3	23,7	28,8	34,1	42,2	46,7	55,6	65,8	76,6	

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

SÉRIE B

Les valeurs moyennes, renseignées au tableau XIII (p. 34), font ressortir l'effet bénéfique des traitements *Nc*, *aCa* et *aca* et celui peu favorable des traitements *ana* et *aNa*.

Tout à fait caractéristique est l'expression des valeurs en proportion de la moyenne à chaque mensuration (tabl. XIV) où ces traitements se différencient de plus en plus au cours de l'expérience.

TABLEAU XIV

Hauteur moyenne exprimée en pour cent de la moyenne générale traitée.

SÉRIE B											
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale										
	4	38	66	97	128	158	187	218	247	276	308
T	104	100	96	93	86	82	82	79	76	72	70
<i>Nc</i>	102	105	105	109	112	114	112	112	116	118	116
<i>Sc</i>	101	102	101	99	96	96	97	99	98	98	100
<i>Pc</i>	99	96	90	86	88	90	94	97	99	97	96
<i>Clc</i>	95	95	95	94	91	91	93	91	91	91	90
<i>aK</i>	102	103	107	110	107	108	105	105	105	102	102
<i>aCa</i>	105	103	107	111	112	115	112	114	113	113	113
<i>aMg</i>	102	106	105	107	108	109	109	108	109	110	108
<i>aNa</i>	99	99	99	100	94	83	81	74	70	66	65
<i>nc</i>	93	96	98	99	104	106	109	111	111	108	107
<i>sc</i>	98	98	98	99	104	108	108	108	108	108	110
<i>pc</i>	103	102	101	99	99	102	104	105	107	106	106
<i>clc</i>	102	97	94	92	90	93	95	99	101	104	104
<i>ak</i>	102	104	104	102	101	93	90	90	90	88	90
<i>aca</i>	97	98	101	103	108	109	110	109	106	108	109
<i>amg</i>	96	98	101	97	98	100	99	99	97	103	103
<i>ana</i>	100	98	94	93	88	83	82	79	80	80	81

SÉRIE C

La croissance en hauteur des plants de cette série, que nous citons pour mémoire, est semblable à celles des autres séries.

B. Étude de la croissance de la tige principale.

Cette partie du travail consiste à établir l'accroissement du diamètre de la tige principale en fonction du temps et des traitements.

Les mensurations ont été effectuées au niveau du collet.

Nous avons utilisé avec succès un pied à coulisse à lecture au 1/10^e de millimètre, méthode mieux appropriée que la mesure du contour, en raison de l'architecture particulière de la tige du caféier.

TABLEAU XV
Diamètre au collet.

SÉRIE A								
Traite- ment	Diamètre moyen (mm)				Diamètre moyen exprimé en pour cent de la moyenne générale			
	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale				Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale			
	186	248	307	373	186	248	307	373
T	3,84	4,71	5,85	7,33	81	72	69	65
N K	4,54	5,93	7,37	9,73	95	90	88	86
N Ca	5,06	7,03	9,53	12,73	106	107	113	113
N Mg	4,18	5,61	7,36	9,64	88	86	87	85
S K	4,59	5,74	7,11	9,79	97	88	84	88
S Ca	5,93	8,16	11,67	15,53	125	124	139	138
S Mg	5,41	7,86	10,28	14,23	114	120	122	126
P K	4,34	5,47	5,72	6,50	91	83	68	58
P Ca	5,42	7,42	9,81	13,39	114	113	116	119
P Mg	3,89	5,19	6,75	9,21	82	79	80	81
aK	4,54	6,29	7,57	9,48	95	96	90	84
aCa	5,35	7,64	9,77	13,59	112	116	116	120
aMg	4,14	5,83	7,28	9,52	87	89	86	84
Nc	4,73	7,20	10,05	14,32	99	110	119	127
Sc	4,92	6,92	9,24	12,86	103	106	110	114
Pc	4,42	6,06	6,88	8,76	93	92	82	78
ac	4,70	6,65	8,42	11,26	99	101	100	100

En général, les données utiles ne concernent que les derniers stades de l'expérimentation. On conçoit aisément que cette mesure délicate risque d'endommager le collet des plantules si elle est pratiquée trop tôt et de compromettre ainsi l'expérimentation même.

Enfin, des études faites sur d'autres séries expérimentales montrent qu'au stade juvénile les imprécisions de la mesure masquent les différences de traitement.

SÉRIE A

Les conclusions basées sur les valeurs moyennes, rapportées au tableau XV (p. 36), rejoignent celles obtenues à partir des mesures de hauteur.

Les combinaisons NCa, SCa, PCa, aCa et Nc sont nettement favorables.

La position défavorable des plants soumis aux traitements PK, aK et Pc est également marquée par rapport à la moyenne générale de l'essai.

Dans les séries B et C, les indications fournies par la mesure du diamètre au collet sont analogues à celles déjà rapportées à propos de la hauteur.

Il y a lieu de remarquer que, d'une manière générale, la mesure du diamètre au collet traduit des variations plus importantes de traitement à traitement que la mesure de la hauteur (cfr tabl. XII).

C. Formation des nœuds.

Il convenait d'établir l'effet des traitements chimiques sur l'ontogénèse des plants.

Les tableaux XVI, XVII et XVIII donnent les résultats d'un comptage du nombre d'entre-nœuds effectué en fin d'essai sur les différentes plantes.

Les différences enregistrées sont, en fait, purement individuelles et les traitements n'y ont qu'une part fort réduite.

Le nombre d'entre-nœuds par plante, comptage plus aisé à établir que celui des nœuds, reflète plus fidèlement l'ontogénèse du végétal, c'est-à-dire la succession organique des phénomènes de croissance, sans égard pour leur intensité.

Les tableaux XVI et XVII donnent pour les séries A et B une idée de cette intensité.

On en conclut que les traitements chimiques utilisés restent sans beaucoup d'effet sur l'ordre de succession des phénomènes dans le temps de l'expérimentation.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU XVI

Nombre d'entre-nœuds par plante.

SÉRIE A		
Traitement	Nombre moyen	Nombre moyen d'entre-nœuds exprimé en % de la moyenne générale
T	10,9	77
N K	13,4	95
N Ca	15,4	109
N Mg	14,2	101
S K	14,7	105
S Ca	13,7	97
S Mg	14,4	102
P K	14,2	101
P Ca	14,0	100
P Mg	13,1	93
aK	13,8	98
aCa	14,1	101
aMg	14,4	102
Nc	14,5	103
Sc	13,1	93
Pc	13,9	99
ac	14,2	101

F calculé : 2,57.
 Plus petite différence significative à P = 0,90 : 1,52 ou 11 % de MGT.
 Moyenne générale traitée (MGT) : 14,07.

Par contre, le nombre de nœuds est très nettement inférieur chez les témoins traduisant vraisemblablement un effet de doses alimentaires.

Enfin, dans la série B, la valeur faible, inférieure au témoin, notée pour le traitement aNa devrait être attribuée au début d'un effet de toxicité de cette combinaison ionique.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU XVII
Nombre d'entre-nœuds par plante.

SÉRIE B		
Traitement	Nombre moyen	Nombre moyen d'entre-nœuds exprimé en % de la moyenne générale
T	14,4	89
Nc	16,5	102
Sc	16,2	101
Pc	16,2	101
Clc	15,3	95
aK	16,8	104
aCa	16,3	101
aMg	16,4	101
aNa	14,7	91
nc	16,4	101
sc	16,2	101
pc	16,1	100
clc	16,0	99
ak	16,5	102
aca	16,4	102
amg	16,6	103
ana	15,4	96

F calculé : 2,31 pour 2,80 (tables), non significatif.
Moyenne générale traitée (MGT) : 16,10.

En conclusion, les combinaisons chimiques n'agissent que peu sur l'ontogénèse des plants aux stades juvéniles. Il est probable que des différences plus importantes pourraient se manifester avec le temps, notamment par suite d'une action toxique.

Un effet de niveau d'alimentation sur l'ontogénèse a pu être mis en évidence.

TABLEAU XVIII

Nombre d'entre-nœuds par plante.

SÉRIE C		
Traitement	Nombre moyen	Nombre moyen d'entre-nœuds exprimé en % de la moyenne générale
N'c	17,2	104
S'c.	16,9	102
P'c.	16,2	97
aK'	16,1	97
aCa'	16,7	101
aMg'	16,5	99

F calculé : 0,822, non significatif.
Moyenne générale traitée (MGT) : 16,65.

D. Apparition des branches.

Les premières ramifications apparaissant sur la tige principale d'un caféier sont appelées primaires. Nous avons cependant adopté le vocable de « branches » en ce qu'il frappe mieux l'esprit et permet, sans plus, de distinguer nettement la croissance de ces organes de celle de la tige principale.

L'apparition des branches sur les plants des diverses séries expérimentales a fait l'objet de comptages portant sur le nombre de plants présentant ce caractère et son intensité en nombre moyen de branches par plante et par traitement.

L'examen des tableaux XIX à XXII montre que ces deux types de données sont nettement sous la dépendance des conditions de milieu chimique établies expérimentalement, la dernière d'entre elles devant être considérée comme la résultante de l'activité métabolique quotidienne, ou mieux actuelle, permettant l'apparition de branches toujours plus nombreuses, par le résultat global de l'activité antérieure atteignant le niveau de développement nécessaire au déclenchement du phénomène.

On peut obtenir une bonne expression de cette activité métabolique variable selon les traitements en exprimant le nombre de nœuds

TABEAU XIX
Étude de la formation des branches.

Traite- ment	SÉRIE A											
	<i>Nombre moyen de branches par plante et par traitement</i>					<i>Proportion de plantes portant des branches</i>						
	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale					Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	217	248	278	307	338	373	217	248	278	307	338	373
T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N K	—	—	0,4	1,0	2,0	3,2	—	—	20	30	50	50
N Ca	0,1	0,7	1,7	2,9	3,9	5,1	10	20	40	70	70	70
N Mg	—	0,2	0,6	1,4	2,6	3,4	—	10	20	30	40	40
S K	—	—	0,6	1,2	1,6	3,2	—	—	30	40	40	70
S Ca	0,3	0,7	1,9	3,3	5,1	6,5	20	20	50	60	90	100
S Mg	—	0,1	0,9	2,4	4,3	6,0	—	10	40	60	90	100
P K	—	—	—	—	—	0,4	—	—	—	—	—	20
P Ca	—	0,2	1,2	2,0	3,1	4,8	—	10	40	40	70	100
P Mg	—	0,2	0,6	1,4	1,6	2,5	—	10	20	30	30	40
aK	—	0,2	1,2	1,9	3,4	3,8	—	10	40	50	60	70
aCa	—	0,1	0,5	2,0	3,9	5,3	—	10	20	60	100	100
aMg	0,2	0,6	0,8	1,2	1,8	2,5	10	10	10	20	30	40
Nc	—	0,8	1,6	3,3	5,1	6,6	—	20	50	60	80	90
Sc	—	0,4	1,1	2,1	3,4	5,7	—	20	30	60	80	100
Pc	—	0,2	0,6	1,0	1,0	1,4	—	10	20	30	30	30
ac	0,2	0,4	1,0	1,6	2,5	4,1	10	10	20	30	50	90

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU XX

Nombre moyen de branches par plante et par traitement.

SÉRIE B								
Traite- ment	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale							
	97	128	158	187	218	247	276	308
T	—	—	—	0,11	1,00	1,77	2,55	3,83
Nc	—	0,55	1,66	2,88	4,89	6,66	9,21	12,00
Sc	—	0,16	0,66	1,50	3,22	4,94	6,94	9,66
Pc	—	—	0,39	0,83	2,44	4,33	6,11	8,39
Clc	—	0,33	1,00	1,78	3,27	4,89	6,78	8,73
aK	0,11	0,55	1,83	2,94	4,66	6,55	8,94	11,56
aCa	0,11	0,72	1,94	3,11	5,34	6,84	9,27	11,94
aMg	—	0,61	1,66	3,11	4,89	6,39	8,83	11,05
aNa	0,11	0,66	1,22	1,66	2,05	2,89	4,06	5,55
nc	—	0,11	1,00	2,28	4,06	5,94	7,78	10,94
sc	—	0,33	1,16	2,61	4,66	6,28	8,39	11,17
pc	—	0,16	0,83	1,77	3,33	5,11	7,55	10,21
clc	—	0,16	0,61	1,33	2,72	4,39	6,73	9,34
ak	—	0,55	1,72	2,11	2,89	5,22	6,89	9,44
aca	—	0,27	1,55	2,66	4,78	6,05	8,83	11,61
amg	—	0,27	1,00	2,11	3,78	5,61	7,55	10,11
ana	—	—	0,55	1,11	1,94	3,22	4,78	7,44

portant des branches en fonction du nombre de nœuds formés par la plante à ce moment.

Tirant de ces tableaux les valeurs relatives au nombre de nœuds (= nombre d'entre-nœuds moins un) et du nombre de nœuds portant des branches (= nombre de branches par plant divisé théoriquement par deux) dans une population présentant complètement le phénomène, on calcule les données du tableau XXIII (p. 45).

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU XXI

Proportion de plantes portant des branches.

SÉRIE B								
Traite- ment	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale							
	97	128	158	187	218	247	276	308
T	—	—	—	5	39	55	61	83
Nc	—	22	50	61	78	95	100	—
Sc	—	5	28	39	83	95	100	—
Pc	—	—	17	28	66	95	95	100
Clc	—	11	33	50	72	89	95	95
aK	5	11	50	72	83	89	95	100
aCa	5	33	55	66	89	100	—	—
aMg	—	28	50	72	83	83	95	100
aNa	5	22	22	28	28	44	55	72
nc	—	5	33	66	83	100	—	—
sc	—	17	44	61	95	100	—	—
pc	—	11	22	50	72	100	—	—
clc	—	5	17	39	66	89	95	95
ak	—	28	44	44	72	78	83	95
aca	—	11	44	78	89	95	95	95
amg	—	11	39	55	78	83	89	95
ana	—	—	22	33	50	66	83	100

En raison de la précision des mesures de nœuds et de branches, nous pouvons considérer les différences enregistrées comme très significatives.

En effet, dans la série B le traitement Nc est particulièrement efficace et les traitements cationiques aCa et aK sont également favorables. Par contre, les traitement aNa et Pc sont défavorables, le premier n'étant pas très différent du témoin.

TABLEAU XXII

Étude de la formation des branches.

SÉRIE C							
<i>Proportion de plantes portant des branches</i>							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	247	276	308
N'c	11	55	67	83	95	100	100
S'c	16	28	55	83	89	100	100
P'c	5	22	44	83	95	100	100
aK'	16	55	67	83	95	100	100
aCa'	11	44	89	95	95	100	100
aMg'	5	39	67	83	100	100	100
<i>Nombre moyen de branches par plante et par traitement</i>							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	246	276	308
N'c	0,39	1,44	2,50	4,06	6,44	8,50	11,42
S'c	0,33	0,89	2,05	3,45	4,94	7,89	10,28
P'c	0,11	0,66	1,44	2,83	4,61	6,88	9,60
aK'	0,33	1,50	2,61	4,61	6,22	8,45	11,11
aCa'	0,22	1,22	3,11	5,05	6,72	8,94	12,14
aMg'	0,11	1,17	2,11	3,78	5,90	8,22	11,15

TABLEAU XXIII

Influence des traitements mesurée par la proportion de nœuds portant des branches en fin d'essai.

SÉRIE B		
Traitement	Moyenne (%)	Moyenne par groupe (%)
T	13,2	—
Nc	36,3	121
Sc.	29,8	99
Pc.	25,8	86
Clc	28,5	94
aK	34,4	112
aCa	36,6	119
aMg.	33,6	109
aNa	18,8	60
nc	33,3	104
sc	34,4	107
pc	31,7	99
clc	29,1	90
ak.	28,6	97
aca	35,3	119
amg	30,4	103
ana	24,1	81

E. Mesure de la croissance en largeur.

Pour suivre la croissance des branches formées, nous avons choisi une mesure simple, en raison de l'architecture particulière du caféier : les primaires forment très rapidement un angle droit avec la tige principale. Par suite de leur distribution autour de celle-ci, le jeune plant unicaule de caféier apparaît sous la forme d'un cylindre, plus ou moins régulier, dont nous avons mesuré un diamètre appelé « largeur ».

TABLEAU XXIV

Étude des largeurs.

SÉRIE A										
Traite- ment	Largeur moyenne (cm)					Largeur moyenne exprimée en pourcent de la moyenne générale				
	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale					Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale				
	248	278	307	338	373	248	278	307	338	373
T	23,7	28,9	30,6	30,8	32,1	74	79	78	67	62
N K	32,0	35,4	36,3	41,4	45,0	100	97	93	90	87
N Ca	35,4	39,0	41,8	48,4	53,8	110	107	107	106	105
N Mg	25,4	31,0	36,8	41,6	46,7	79	85	94	91	91
S K	27,7	31,9	33,7	42,0	46,5	86	88	94	92	90
S Ca	37,0	48,5	53,7	64,3	70,3	115	133	135	140	137
S Mg	38,5	42,4	48,0	53,1	62,2	120	116	123	116	121
P K	24,5	24,5	23,9	23,0	26,4	76	67	61	50	51
P Ca	37,7	41,6	43,3	54,0	59,6	117	114	111	118	116
P Mg	27,2	30,6	32,6	37,3	43,6	85	84	83	81	85
aK	34,1	35,5	34,9	40,6	45,0	106	97	89	89	87
aCa	36,3	39,2	43,5	53,4	61,6	113	107	111	116	120
aMg	28,5	29,8	31,6	38,1	40,0	89	82	81	83	78
Nc	34,4	45,5	48,2	63,4	74,3	107	125	123	138	144
Sc	35,9	41,3	44,1	48,0	56,4	112	113	113	105	110
Pc	26,1	29,6	31,0	34,6	36,8	81	81	79	75	72
ac	33,5	37,9	40,4	50,5	54,5	104	104	103	110	106

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU XXV
Largeur moyenne (cm).

SÉRIE B							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	247	276	308
T	34,6	38,6	39,8	41,4	44,4	48,3	51,9
Nc	39,2	45,9	52,5	64,2	76,2	91,2	110,3
Sc	37,2	41,6	44,7	52,2	60,5	72,8	88,9
Pc	33,9	40,8	45,3	48,7	56,0	70,3	82,0
Clc	37,5	42,7	46,5	50,9	58,7	69,3	81,3
aK	38,1	48,7	53,0	60,4	74,5	85,1	95,1
aCa	39,6	46,0	52,8	61,2	73,9	87,0	105,6
aMg	37,5	47,1	51,8	62,6	73,5	87,0	98,7
aNa	33,1	40,0	43,3	48,5	54,3	58,8	66,9
nc	39,3	42,8	47,2	59,0	71,0	83,5	97,1
sc	38,7	46,6	51,8	57,8	67,7	82,2	95,6
pc	36,3	42,6	48,7	52,6	62,3	79,1	90,2
clc	36,2	40,8	46,2	52,2	62,9	74,2	89,1
ak	36,7	43,6	45,3	51,9	62,2	71,2	87,4
aca	38,0	44,8	49,2	57,2	70,8	83,8	102,6
amg	35,7	41,6	46,5	54,5	63,4	77,3	92,5
ana	34,8	38,8	43,2	46,9	52,8	62,2	77,5

Entre cette « largeur » et la longueur réelle des branches il existe certainement une relation, puisqu'elle est formée de deux branches opposées. Cependant, toutes les branches n'atteignent pas la même longueur et la différence est d'autant plus marquée que le traitement considéré entraîne la formation continue d'un plus grand nombre de jeunes ramifications.

Les tableaux XXIV à XXVII donnent, pour les différentes séries, les valeurs moyennes obtenues mensuellement.

Si la croissance en largeur se maintient sensiblement à un taux constant de mois en mois, on assiste cependant, vers la fin des observations, à une diminution des différences entre les traitements.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

C'est la traduction numérique de l'influence du resserrement inévitable des plants cultivés sous abris vitrés à partir d'un certain stade de développement. Ce nivellement des traitements apparaît clairement pour les trois dernières mesures de chaque série lorsque l'on exprime les valeurs moyennes en fonction de la moyenne générale de l'essai (tabl. XXIV, XXVI et XXVII).

En fin d'essai, les résultats des traitements Nc et SCa de la série A sont significativement supérieurs à la moyenne de l'ensemble et le traitement PK inférieur dans les mêmes conditions.

Dans la série B, seuls les traitements Nc et aNa se distinguent de l'ensemble, le premier présentant les plants à plus grande largeur.

TABLEAU XXVI
Largeur moyenne
exprimée en pour cent de la moyenne générale.

SÉRIE B							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	247	276	308
T. . . .	93	89	83	75	68	63	57
Nc . . .	106	106	109	117	117	118	121
Sc . . .	101	96	93	95	93	94	97
Pc . . .	92	94	94	88	86	91	90
Clc . . .	101	98	97	92	90	90	89
aK . . .	103	112	111	110	115	110	104
aCa . . .	107	106	110	111	114	113	116
aMg . . .	101	109	108	114	113	113	108
aNa. . .	89	92	90	88	83	76	73
nc . . .	106	99	98	107	109	108	106
sc. . . .	105	107	108	105	104	107	105
pc . . .	98	98	102	96	96	103	99
clc . . .	98	94	96	95	97	96	98
ak . . .	99	101	94	94	96	92	96
aca . . .	103	103	103	104	109	108	112
amg . . .	97	96	97	99	97	100	101
ana . . .	94	89	90	85	81	81	85

TABLEAU XXVII
Étude des largeurs.

SÉRIE C							
<i>Largeur moyenne (cm)</i>							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	247	276	308
N'c	39,1	47,3	54,9	61,7	74,8	88,8	107,6
S'c	35,5	44,1	47,1	54,1	67,5	79,2	94,8
P'c	33,8	42,6	47,1	51,4	59,2	74,7	92,2
aK'	39,0	43,0	50,5	61,2	70,4	88,8	107,7
aCa'	39,7	45,0	48,9	63,0	71,7	89,0	114,8
aMg'	37,6	43,7	47,4	60,0	70,1	89,0	103,6
<i>Largeur moyenne exprimée en pour cent de la moyenne générale</i>							
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale						
	128	158	187	218	247	276	308
N'c	105	107	111	105	108	105	104
S'c	95	100	96	92	98	93	92
P'c	90	96	96	88	86	88	89
aK'	104	96	102	105	102	104	104
aCa'	106	102	99	108	104	105	111
aMg'	100	99	96	102	102	105	100

Dans la série C, le traitement aCa est également supérieur à tous les autres.

Ces trois renseignements montrent l'efficacité constante des traitements à forte dominance calcique.

F. Apparition des fleurs.

On admet, en général, que les fleurs apparaissent sur bois primaire chez le caféier Robusta (*Coffea canephora* PIERRE). Cependant, nous ne nous attendions pas à obtenir une floraison normale et généralisée dans nos conditions écologiques.

L'ampleur, la régularité et les différences mêmes trouvées entre les séries A et B indiquent, à suffisance, que seule la physiologie normale du développement est responsable de l'apparition rythmique des fleurs chez le caféier et que la technique de culture utilisée convient parfait-

TABLEAU XXVIII

Plantes fleuries en pour cent du total des plantes.

SÉRIE B				
Traitement	Nombre de jours depuis le début de la nutrition minérale			
	218	247	276	308
T	—	—	5	5
Nc	17	44	61	72
Sc	5	28	55	61
Pc	5	11	44	55
Clc	—	17	39	50
aK	22	39	61	66
aCa	28	50	61	78
aMg	22	39	55	72
aNa	11	17	22	28
nc	17	44	50	66
sc	22	39	83	89
pc	11	22	61	72
clc	5	11	22	55
ak	11	17	39	55
aca	5	33	44	72
amg	11	39	50	66
ana	5	17	17	33

tement aux études de physiologie végétale puisqu'elle permet le développement de plants normaux. Après 373 jours d'alimentation minérale, quelques plants seulement de la série A étaient en fleurs.

Les plants de séries B et C ont commencé à fleurir après quelque 200 jours d'alimentation minérale, ou 350 jours de culture en vase ou quelque 450 jours depuis le semis. Le tableau XXVIII renseigne le rythme de la floraison.

L'estimation numérique du processus de floraison a porté uniquement sur le nombre de plants fleuris à chaque mesure. Tout autre comptage, du nombre de branches en fleurs par plant ou du nombre de nœuds florifères, eût entraîné un développement matériel trop considérable.

En partant des données de la série B (tabl. XXVIII), on peut rechercher l'équilibre optimum entre les ions nécessaires au développement des bourgeons axillaires en fleurs.

Le nombre de plants fleuris par traitement ne remplit toutefois pas des conditions d'estimation numérique suffisamment précises.

Nous avons donc adjoint à cette valeur, le nombre de branches formées par plant trois mois plus tôt, entendant par là que les ramifications de la tige ont eu trois mois pour permettre l'évolution (cfr tabl. XX, 218^e jour). Le produit de ces deux grandeurs donne donc une estimation du nombre de branches florifères en fin d'essai. Aucune correction de rendement n'a été introduite dans le calcul de l'équilibre optimum au titre de fertilité naturelle du substrat utilisé. En effet, une seule plante du témoin était en fleurs à la fin de l'essai et encore les plantes de ce traitement ne présentaient-t-elles qu'une seule branche, en moyenne, au 218^e jour. L'introduction ou non de la fertilité naturelle estimée par le témoin ne constitue donc pas une source de variation bien considérable dans la valeur de l'optimum.

Quoi qu'il en soit, l'équilibre ionique favorable à la floraison serait donc :

NO ₃	41,6 %	du total des anions ;
SO ₄	23,2 %	du total des anions ;
PO ₄	16,0 %	du total des anions ;
Cl	19,2 %	du total des anions ;
K	27,3 %	du total des cations ;
Ca	36,5 %	du total des cations ;
Mg	31,1 %	du total des cations ;
Na	5,1 %	du total des cations.

Il apparaît d'une manière évidente qu'une donnée d'une importance capitale eut été nécessaire pour établir la valeur réelle de cette proposition : c'est le rendement en drupes et en café en parche. Il n'est cependant pas

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

logique d'espérer ce type d'information dans une expérience portant sur le stade juvénile de la croissance d'une plante pérenne. Aussi avons-nous recherché une confirmation de cet équilibre à partir d'autres données.

Il a été dit plus haut que l'intensité de la floraison pouvait également se mesurer par le nombre de nœuds florifères. Ce nombre est évidem-

TABLEAU XXIX

Calcul de l'équilibre ionique optimum pour la formation de bois florifère.

SÉRIE B						
Traitement	Nombre de branches par plant	Largeur (cm)	Bois florifère (cm) = $\frac{\text{NBr.} \times \text{L}}{2}$	Cor-rection pour fertilité du substrat (F=0,3)	Valeurs-clé pour le calcul	Propor-tions ioniques
T	3,83	51,9	99,3			
Nc . . .	12,00	110,3	661,8	-134,2	527,6	42,1%
Sc . . .	9,66	88,9	429,3	-134,2	295,1	23,5%
Pc . . .	8,39	82,0	344,0	-134,2	209,8	16,7%
Clc . . .	8,73	81,3	354,8	-134,2	220,6	17,7%
aK . . .	11,58	95,1	550,6	-143,4	407,2	30,4%
aCa . . .	11,94	105,6	630,4	-143,4	487,0	36,4%
aMg . . .	11,05	98,7	545,3	-143,4	401,9	30,0%
aNa . . .	5,55	66,9	185,6	-143,4	42,2	3,2%

ment fonction de la longueur de bois primaire formé, dont l'estimation peut être faite aisément en multipliant le nombre de branches par plant en fin d'essai par la demi-largeur du plant (deux branches opposées forment la « largeur »). Les résultats de ce calcul, pour la série B, sont donnés au tableau XXIX; on remarquera qu'ils sont parfaitement concordants avec ceux qui viennent d'être établis.

Il ne faudrait cependant pas conclure de cet exposé que l'équilibre ionique ainsi défini soit autre chose que celui pour lequel la formation de bois florifère est la plus importante.

III. ÉTUDE DES RENDEMENTS PONDÉRAUX

Lorsque les plants de chaque série atteignent un développement suffisant, correspondant en général avec la formation de l'état de massif, on arrête l'expérience.

On observe que toute prolongation supprimerait les différences de rendement entre les traitements par suite, sans doute, d'une concurrence photosynthétique et que toute suspension prématurée pourrait avoir comme inconvénient de soumettre les plants de deux séries comparables à des conditions climatiques différentes, qui pourraient influencer sur le but, strictement alimentaire, de l'expérience.

En résumé, une étude expérimentale bien conduite doit être achevée en une année climatique complète sans que les plants voisins se gênent mutuellement. On conçoit aisément ce que ces impératifs physiologiques entraînent du point de vue de la méthodologie expérimentale : disposition des vases de végétation dans les abris vitrés, équilibre alternatif des rythmes d'adjonction d'eau et de produits alimentaires, réglage de l'éclairage, etc. L'inobservance de ces principes entraîne des difficultés parfois considérables d'interprétation.

A l'arrêt des expériences, on a procédé comme suit : la tige principale a été sectionnée au niveau du collet et les branches ont été séparées une à une du tronc principal. Ensuite, on a distingué, dans chaque groupe (tige principale *versus* branches primaires) la partie foliacée de la partie ligneuse. Les pesées ont été effectuées rapidement à l'état frais, plante après plante, afin de réduire les pertes d'eau inévitables par évaporation.

Le matériel a été ensuite préparé pour la dessiccation, faite à 100 °C jusqu'à poids constant dans un délai très bref (70 °C sont atteints après 24 heures). La détermination du poids à l'état sec a été faite individuellement sur tous les échantillons récoltés. De ce fait, cette mesure se montre plus précise que celle faite à l'état frais.

Après prélèvement et préparation du matériel en vue de la dessiccation, on a procédé à l'enlèvement des racines. Le substrat sableux, ressuyé au cours d'une journée, permet d'extraire tout l'enracinement pivotant en une seule opération. Le récupération des radicules brisées s'est ensuite faite par tamisage. Tous les éléments, débarrassés des grains de sable par lavage à l'eau, ont été pesés après 24 heures d'égouttage dans les mêmes conditions que précédemment.

La description de ces diverses manipulations montre qu'il ne faudra faire usage des données pondérales ou analytiques relatives aux racines qu'avec prudence. De plus, vu l'étendue des séries expérimentales,

TABLEAU XXX
Rendement moyen en poids frais (g).

Organes		SÉRIE A																
		Traitement																
		T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
Branches																		
F		—	21,3	65,7	41,5	18,9	77,4	50,3	0,7	39,2	18,9	34,1	57,0	29,5	85,4	44,6	11,1	47,2
T		—	4,3	15,4	9,6	3,9	21,0	12,6	0,2	9,3	4,5	5,6	11,8	6,8	22,8	10,9	2,0	12,2
F + T		—	25,6	81,1	51,1	22,8	98,4	62,9	0,9	48,5	23,4	39,7	68,8	36,3	108,2	55,5	13,1	59,4
Tige principale:																		
F		18,7	45,4	56,7	43,9	39,2	67,2	72,1	20,6	74,4	42,7	38,5	70,3	34,6	65,5	62,8	34,4	53,6
T		5,7	18,0	35,8	26,2	17,6	56,8	49,6	6,2	35,2	15,3	20,0	40,0	18,4	50,1	36,7	11,0	28,6
F + T		24,4	63,4	92,5	70,1	56,8	124,0	121,7	26,8	109,6	58,0	58,5	110,3	53,0	115,6	99,5	45,4	82,2

TABLEAU XXXI

Rendement moyen en poids frais (g).

SÉRIE A																	
Organes	Traitement																
	T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
F Ma E	18,7	66,7	122,4	85,4	58,1	144,6	122,4	21,3	113,6	61,6	72,6	127,3	64,1	150,9	107,4	45,5	100,8
	3,4	13,3	10,7	27,8	9,4	21,6	13,4	6,9	15,2	12,2	16,4	14,9	27,1	30,3	18,4	9,9	27,7
T Ma E	5,7	22,3	51,2	35,8	21,5	77,8	62,2	6,4	44,5	19,8	25,6	51,8	25,2	72,9	47,6	13,0	40,8
	1,3	5,9	16,1	16,1	4,9	17,2	9,4	1,9	9,8	6,1	6,2	9,4	13,3	19,7	11,8	4,0	15,3
F+T Ma E	24,4	89,0	173,6	121,2	79,6	222,4	184,6	27,7	158,1	81,4	98,2	179,1	89,3	223,8	155,0	58,5	141,6
	4,6	19,1	5,0	33,8	14,1	38,1	24,5	8,6	24,5	18,2	22,4	24,0	40,3	49,8	30,1	13,6	13,6
R Ma E	26,6	45,1	106,9	79,0	47,2	203,8	155,2	27,2	112,1	55,3	63,9	134,8	73,0	150,0	135,8	27,9	99,3
	5,6	8,9	36,8	40,6	8,6	40,1	26,5	7,7	22,9	16,9	16,1	34,8	12,1	44,9	39,5	6,2	29,4
F+T+R Ma	51,0	134,1	280,5	200,2	126,8	426,2	339,8	54,9	270,2	136,7	162,1	313,9	162,3	373,8	290,8	86,4	240,9

TABLEAU XXXII
Rendement moyen en poids sec (g).

Organes		SÉRIE A																
		Traitement																
		T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
Branches																		
F		—	4,4	17,4	10,6	4,4	21,8	14,0	0,1	10,5	4,7	7,3	14,5	7,9	22,3	11,8	2,1	12,1
T		—	1,6	4,8	2,9	1,2	7,3	4,3	0,1	3,0	1,4	1,6	3,7	2,3	7,1	3,6	0,5	3,8
F+T		—	6,0	22,2	13,5	5,6	29,1	18,3	0,2	13,5	6,1	8,9	18,2	10,2	29,4	15,4	2,6	15,9
Tige principale :																		
F		5,2	10,3	14,9	11,3	9,1	19,2	20,0	4,4	18,7	10,6	8,9	18,2	9,0	17,5	16,7	8,0	13,3
T		3,2	7,2	16,0	11,1	7,5	25,2	20,9	2,8	15,1	6,7	8,3	16,5	8,1	21,0	16,0	4,7	12,1
F+T		8,4	17,5	30,9	22,4	16,6	44,4	40,9	7,2	33,8	17,3	17,2	34,7	17,1	38,5	32,7	12,7	25,4

TABLEAU XXXIII

Rendement moyen en poids sec (g).

Organes		SÉRIE A																
		Traitement																
		T	N K	N Ca	N Mg	S K	S Ca	S Mg	P K	P Ca	P Mg	a K	a Ca	a Mg	N c	Sc	Pc	ac
F	Ma	5,2	14,7	32,3	21,9	13,5	41,0	34,0	4,5	29,2	15,3	16,2	32,7	16,9	39,8	28,5	10,1	25,4
	E	0,9	3,0	9,7	7,7	2,2	6,3	4,3	1,4	4,2	3,3	3,7	4,4	7,3	8,8	5,3	1,9	4,7
T	Ma	3,2	8,8	20,8	14,0	8,6	32,6	25,2	2,9	18,1	8,1	9,9	20,3	10,4	28,1	19,6	5,2	15,9
	E	0,6	2,1	6,6	6,5	2,1	7,6	4,8	0,7	4,3	2,7	2,4	1,3	5,5	8,3	5,5	1,3	6,3
F+T	Ma	8,4	23,5	53,1	35,9	22,1	73,6	59,2	7,4	47,3	23,4	26,1	53,0	27,3	67,9	48,1	15,3	41,3
	E	1,5	4,9	15,9	13,8	13,0	13,4	8,9	2,1	8,1	5,8	5,9	8,1	12,5	5,3	10,6	3,1	9,7
R	Ma	5,2	8,0	21,1	14,5	7,8	37,3	26,6	4,4	19,0	9,1	10,4	23,0	11,9	28,5	24,5	5,4	17,1
	E	1,0	1,5	7,2	7,3	1,5	7,5	4,4	1,1	4,0	2,8	2,4	5,1	5,8	8,8	7,4	1,1	5,1
F+T+R	Ma	13,6	31,5	74,2	50,4	29,9	110,9	85,8	11,8	66,3	32,5	36,5	76,0	39,2	96,4	72,6	20,7	58,4

TABLEAU XXXIV

Rendement moyen en poids sec (g).

Organes		SÉRIE B																
		Traitement																
		T	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
F	Ma	21,9	85,3	50,2	47,6	45,5	55,4	84,0	78,9	27,7	69,4	66,2	59,3	54,7	55,8	81,3	66,3	43,6
	E	2,1	7,8	2,7	3,3	4,0	5,4	6,2	7,2	6,8	6,1	3,7	3,6	4,2	8,3	6,5	7,5	7,7
T	Ma	20,6	74,8	45,7	41,8	40,9	50,6	69,9	62,3	23,1	58,7	60,4	52,8	48,5	43,0	64,6	54,7	31,7
	E	2,4	8,9	3,8	4,6	4,7	5,5	7,2	6,8	6,7	7,1	4,0	4,8	4,9	7,2	5,6	7,3	6,4
F+T	Ma	42,5	160,1	95,9	89,4	86,4	106,0	153,9	141,2	50,8	128,1	126,6	112,1	103,2	98,8	145,9	121,0	75,3
	E	4,4	16,6	6,4	7,7	8,6	10,1	13,3	14,0	13,5	13,0	7,6	7,7	8,9	15,4	12,0	14,8	14,0
R	Ma	3,1	54,5	39,0	39,2	39,6	37,5	49,6	40,9	11,2	47,3	51,1	39,7	32,5	38,4	49,1	40,4	25,2
	E	4,7	12,7	5,0	6,9	5,5	6,5	9,8	7,5	3,3	9,8	6,6	5,4	4,9	8,1	5,3	6,3	6,7
F+T+R	Ma	45,6	214,6	134,9	128,6	126,0	143,5	203,5	182,1	62,0	175,4	177,7	151,8	135,7	137,2	195,0	161,4	100,5

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

le prélèvement des enracinements n'a porté que sur la moitié de tous les plants. D'ailleurs, les études statistiques se référant à cet organe sont limitées dans le présent travail.

Rappelons que des résultats moyens sont exprimés en fonction d'une moyenne générale où tous les traitements prennent part (la moyenne générale traitée) et dont le témoin est toujours soigneusement exclu. Cette notation permet la comparaison instantanée de toutes les données recueillies sur une même base d'estimation.

Les tableaux XXX à XXXV (pp. 54-59) donnent des résultats obtenus pour les différentes séries.

Dans tous les tableaux et le texte, les abréviations suivantes ont été utilisées : F les feuilles, T les tiges, F+T la partie aérienne totale, R les racines, F+T+R la plante entière.

TABLEAU XXXV

Rendement moyen en poids sec (g).

SÉRIE C							
Organes		Traitement					
		N'c	S'c	P'c	aK'	aCa'	aMg'
F	Ma	75,9	58,3	52,0	70,1	87,9	73,6
	E	5,1	3,0	3,0	6,6	5,4	6,2
T	Ma	64,2	51,7	44,6	52,6	73,5	56,4
	E	5,7	4,1	3,4	5,6	5,6	5,8
F+T	Ma	140,1	110,0	96,6	122,7	161,4	130,0
	E	10,7	7,0	6,3	12,0	10,9	11,9
R	Ma	51,7	51,9	44,4	42,4	52,9	34,6
	E	9,4	5,4	6,6	5,9	5,0	5,4
F+T+R	Ma	191,8	161,9	141,0	165,1	214,3	164,6

A. Commentaire général des données.

On remarquera tout d'abord que la notation détaillée des poids moyens observés à propos des feuilles et des portions de tiges des branches primaires ou de la tige principale a été remplacée par la seule considération du matériel foliacé en général *versus* le matériel ligneux.

On conçoit en effet la complexité de l'étude interprétative d'une somme de résultats aussi élevée. De plus, si la distinction en « tige » *versus* « branches » du végétal paraît souhaitable dans une dissertation agronomique, où elle traduira mieux les caractéristiques d'une lignée ou les effets d'un traitement cultural, la spécification en feuilles et partie ligneuse a un sens physiologique plus profond du fait qu'elle permet d'opposer et de comparer les effets des traitements expérimentaux soit sur la base de la fonction photosynthétique, soit sur celle des tissus de stockage et de conduction.

Pour que cette présentation des données ne cadre pas avec le raisonnement sur une base physiologique, il faudrait d'ailleurs que :

1° le regroupement des résultats ne montrât pas d'effets de traitements, ce qui est contraire aux données des tableaux;

2° les diverses proportions de feuilles sur total de branches ou de tige principale ou de branches feuillées sur l'ensemble de la partie aérienne ne fussent pas influencées par les combinaisons de traitements. Ceci est également contraire aux faits (tabl. XXXVI).

En conclusion, seules seront présentées ici les données relatives aux ensembles matériel foliacé *versus* matériel ligneux et il paraît inutile, dans une recherche de caractère physiologique, de s'arrêter à toute autre distinction, d'autant plus que le travail augmente dans des proportions sans rapport avec les renseignements qu'on en tire.

Il n'a pas été possible non plus de fournir en détail les notations en poids frais et en poids sec. Il a été dit précédemment que cette dernière base de référence s'entourait d'une plus grande précision lors de la détermination, ce qui se vérifie d'ailleurs par le calcul du coefficient de variabilité de chaque traitement. Si la notation à l'état frais présente des bases sérieuses du point de vue strictement physiologique, il faut cependant admettre que les travaux agronomiques récents font une part de plus en plus large au poids sec, en particulier en ce qui concerne les récoltes proprement dites. De plus, certaines études de caractère physiologique mais dont l'application directe déborde largement dans le domaine agronomique, le diagnostic chimique et toutes les études relatives à la composition chimique du végétal, utilisent la référence du poids sec.

D'ailleurs, les teneurs en matière sèche (tabl. XXXVII et XXXVIII) varient davantage en raison des types d'organes que des traitements. Aucune des différences indiquées n'est significative.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU XXXVI

Proportions centésimales sur la base pondérale sèche.

SÉRIE A			
Traitement	Branches primaires versus total de la partie aérienne	Partie foliacée versus total de la partie aérienne	
		dans branches primaires	dans tige principale
T	0,0	0,0	61,9
N K	26,1	73,3	58,8
N Ca	41,8	78,4	48,2
N Mg	37,6	78,5	50,4
S K	25,3	78,6	54,8
S Ca	39,5	74,9	43,2
S Mg	30,9	76,5	48,8
P K	2,7	50,0	61,1
P Ca	28,6	77,7	55,3
P Mg	26,0	77,0	61,2
aK.	34,1	82,0	51,7
aCa	34,3	79,7	52,4
aMg	37,3	77,5	52,6
Nc.	43,3	75,9	45,5
Sc	32,0	76,6	51,1
Pc	17,0	80,7	63,0
ac	38,4	76,1	52,4

Enfin, dans les séries expérimentales, le coefficient de corrélation existant entre les rendements exprimés en frais et en sec a pu être établi.

A titre d'exemple, ce coefficient est de $r = + 0,827$ pour la série A.

On conclura de ces divers arguments que la présentation des seules données pondérales sèches n'altère pas la validité des conclusions.

On relève immédiatement que le traitement PK (série A) se montre constamment inférieur aux autres, même au témoin quel que soit l'organe considéré. Ce fait est d'une importance considérable puisqu'il montre une fois de plus (c'était également le cas pour le cacaoyer) qu'un traitement déséquilibré peut être plus néfaste que l'absence d'apports chimiques.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU XXXVII

Teneur en matière sèche (%).

SÉRIE A			
Traitement	Organe		
	F	T	R
T	27,8	56,2	19,6
N K	22,1	39,4	17,7
N Ca	26,4	40,7	19,8
N Mg	25,6	39,0	18,3
S K	23,3	40,5	16,5
S Ca	28,4	41,8	18,3
S Mg	27,8	40,5	17,2
P K	21,1	45,3	16,2
P Ca	25,7	40,7	17,0
P Mg	24,8	41,0	16,4
aK	22,3	38,7	16,3
aCa	25,7	39,0	17,1
aMg	26,4	41,3	16,3
Nc	26,4	38,6	19,0
Sc	26,5	41,2	18,0
Pc	22,2	37,2	19,4
ac	25,2	39,0	17,2

Toutes les combinaisons comportant du potassium (PK, SK, NK et K) sont nettement inférieures à la moyenne.

On est également frappé par le fait qu'avec le traitement *ac*, les rendements sont constamment voisins de la valeur moyenne et qu'en même temps ils sont cinq fois plus élevés que ceux du témoin. Ce traitement ne se distingue par aucun ion en particulier; ils y sont tous présents à la même concentration. Mais cette indication même, révèle le mode d'action de l'alimentation minérale : l'emploi d'une telle combinaison ionique fixe expérimentalement le niveau moyen de développement, toutes les autres combinaisons étudiées montrant alors des variations de rendement soit positives soit négatives autour de cette valeur, variations qui, elles, seront dépendantes des exigences physiologiques particulières de l'espèce étudiée, mais non pas du niveau de fertilité.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

En somme, ce traitement « indifférent » constitue une sorte de témoin complémentaire, « témoin fumé » si l'on veut par opposition au témoin vrai, non traité.

TABLEAU XXXVIII
Teneur en matière sèche (%).

SÉRIE B			
Traitement	Organe		
	F	T	R
T	27,1	40,3	17,2
Nc	25,9	37,2	16,3
Sc	25,0	35,8	14,4
Pc	24,5	36,6	14,7
Clc	24,1	36,3	15,5
aK	22,2	34,4	16,5
aCa	26,4	36,8	16,3
aMg	25,2	36,6	16,4
aNa	24,5	35,1	19,8
nc	24,9	36,5	15,4
sc	25,4	36,8	17,5
pc	25,2	37,2	16,0
clc	24,8	35,8	15,8
ak	23,5	35,6	18,4
aca	25,7	36,2	17,4
amg	25,1	35,9	18,9
ana	23,8	37,8	17,8

Il est évident que la valeur absolue de l'effet de ce témoin fumé sera sous la dépendance directe de ce qui a été appelé dans la première partie de ce travail les constantes de l'expérience, c'est-à-dire la somme totale des ions apportés au cours de l'essai (ou plus communément : la dose) et le rapport entre les ions pris par groupes : négatifs *versus* positifs (ou encore rapport anions/cations ou A/C) de la formule.

Des essais encore inédits ¹ ont mis nettement en évidence l'effet de ces deux variables sur le niveau moyen de réponse à diverses formules.

Avant de conclure à la prépondérance de ces deux facteurs dans la détermination finale d'un rendement, prépondérance supérieure à la combinaison ionique utilisée et surtout à la détermination de la combinaison ionique la plus favorable à partir d'un schéma expérimental, tel celui des variantes systématiques, il conviendrait, semble-t-il, de s'informer expérimentalement, d'une part des variations de rendement de notre témoin fumé lorsque l'on modifie la dose et le rapport A/C, d'autre part de l'amplitude des écarts de rendement du témoin fumé aux diverses combinaisons chimiques pour les mêmes modifications de dose et de rapport A/C.

Les résultats ainsi acquis permettraient, vraisemblablement, de fixer l'importance relative des trois déterminants de l'alimentation minérale sur une base physiologique, à savoir influence des concentrations relatives des ions, influence du rapport A/C, influence de la concentration totale des ions (dose). On en conclura, sans doute, qu'il n'est pas indifférent, dans tel milieu écologique ou pour telle espèce à exigences physiologiques marquées, de choisir des niveaux de rapport A/C et des doses particulières préalablement à la détermination des proportions relatives ioniques les plus favorables.

Touchant la compréhension sur une base physiologique des phénomènes de l'alimentation minérale, on retiendra de cet exposé l'intérêt évident de l'introduction d'un témoin fumé dans les essais et de l'inscription de la combinaison ionique qui le constitue sous le vocable « constantes » lorsque ces essais portent sur la détermination des rapports A/C et dose optima.

Dans la série B, le témoin présente une valeur relative légèrement plus élevée par rapport à la moyenne générale traitée que dans la série A. Ce fait traduit vraisemblablement l'effet de l'alimentation identique fournie pendant quelque temps avant l'application des traitements différentiels. Il sera tenu compte de cette plus grande fertilité factice lors du calcul des équilibres optima. Un effet de toxicité éventuelle de l'ion Na ou de l'ion Cl, déprimant la valeur de la moyenne traitée, ne peut être retenu puisque le rendement absolu est plus grand dans la série B que dans la série A.

Ainsi, en poids sec F+T en grammes :

Témoin A	=	8,4 ± 1,5
Témoin B	=	42,5 ± 4,4
Moyenne générale A	=	38,65
Moyenne générale B	=	112,17.

1. Travaux non publiés de MM. M. V. HOMÈS en Belgique, A. RINGOET, A. MOLLE et F. VAN HOECK au Congo belge.

TABLEAU XXXIX

Poids sec moyen exprimé en pour cent de la moyenne générale traitée.

SÉRIE A																	
Organes	Traitement																
	T	N K	N Ca	N Mg	S K	S Ca	S Mg	P K	P Ca	P Mg	a K	a Ca	a Mg	Nc	Sc	Pc	ac
F . . .	22	63	137	93	58	175	145	19	124	65	69	139	72	169	121	43	108
T . . .	20	56	132	89	55	206	159	18	115	51	63	128	66	177	124	60	101
F+T .	21	60	135	90	57	187	150	19	120	60	67	135	70	173	122	50	105
R . . .	31	48	126	86	46	222	159	26	113	54	62	137	71	170	146	32	102
F+T+R	24	56	132	90	53	198	153	21	118	58	65	135	70	172	130	44	105

TABLEAU XL

Poids sec moyen exprimé en pour cent de la moyenne générale traitée.

Organes		SÉRIE B															
		Traitement															
T		Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
F. . . .	36	141	83	78	75	91	138	130	46	114	109	98	90	92	134	109	72
T. . . .	40	145	89	81	79	98	136	121	45	114	117	103	94	84	126	106	62
F+T . .	38	143	86	80	77	94	137	126	45	114	113	100	92	88	130	108	67
R. . . .	79	137	98	99	100	94	125	103	28	119	129	100	82	97	124	102	63
F+T+R	30	141	89	85	83	95	134	120	41	115	117	100	89	91	128	106	66

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU XLI

Poids sec moyen exprimé en pour cent de la moyenne générale traitée.

SÉRIE C						
Organes	Traitement					
	N'c	S'c	P'c	aK'	aCa'	aMg'
F	109	84	74	101	126	106
T	112	90	77	91	131	99
F+T . . .	111	87	76	97	126	103
R	111	112	96	92	114	75
F+T+R .	111	93	82	95	124	95

Le traitement aNa montre des valeurs de rendement très proches de celles du témoin. C'est, à n'en pas douter, la combinaison la plus défavorable de cette série.

Les traitements comportant une dominance d'ion Ca (aCa et aca) sont nettement favorables.

Les différences entre traitements sont moins marquées dans la série C, mais ce fait ne doit pas étonner puisque les combinaisons chimiques sont assez proches les unes des autres.

Un fait mérite encore d'être souligné à propos des différents tableaux étudiés. Dans toutes les séries, il apparaît un parallélisme remarquable dans la réponse aux traitements pour les organes. Qu'il s'agisse des feuilles, des tiges ou des racines, les traitements les plus favorables ou défavorables se maintiennent pour ces trois organes.

Ce parallélisme est encore illustré par les coefficients de corrélation établis entre le poids sec F+T et le poids sec F+T+R qui sont :

pour la série A : $r = + 0,991$

pour la série B : $r = + 0,989$.

B. Comparaison par couples de traitements.

Déjà dans un travail antérieur ¹, suivant en cela une opinion formulée par M. V. HOMÈS ², on a admis l'intérêt d'envisager les probabilités

1. HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale du Cacaoyer, (*Theobroma Cacao L.*) Publ. INÉAC, sér. scient. n° 58, p. 40 (1953).

2. HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale du Palmier à huile, *Elaeis guineensis* JACQ., Publ. INÉAC, sér. scient., n° 39, p. 54 (1949).

de différences significatives inférieures à la probabilité de 99 chances sur 100, conventionnellement admise comme limite de certitude. Cette opinion a d'ailleurs tendance à être reconnue par de nombreux expérimentateurs biologistes, en raison de l'hétérogénéité plus considérable du matériel auquel ils font appel.

Dans les présentes séries expérimentales, la comparaison a porté sur tous les couples possibles dans chaque série. Toutefois il n'a jamais été tenu compte de la valeur du témoin qui est toujours très nettement inférieure à celle de l'ensemble des traitements chimiques.

Les deux premières séries (A et B) comportent, toutes deux, seize traitements pour lesquels sont connues les données pondérales à sec relatives aux feuilles, aux tiges, aux racines et aux totaux feuilles + tiges et feuilles + tiges + racines. Pour chaque série, il est possible d'établir 120 couples de comparaison par catégorie de mesures.

Du fait que le prélèvement des racines a été fait en un nombre réduit de répétitions, la détermination statistique des différences entre traitement sur la base de la donnée F+T+R est entachée d'une variabilité plus grande que les autres mesures. Elle n'apparaît pas dans les tableaux suivants. Cette omission n'est pas de nature à invalider nos conclusions générales.

Au total, on dispose donc de 480 couples de comparaison dans chacune des deux séries A et B. Ils font l'objet des tableaux XLII à XLIX (pp. 69-76).

Ces tableaux ont été construits à partir des données antérieures. Chaque différence est exprimée en pour cent de la moyenne générale traitée pour la mesure considérée. Cette méthode permet de comparer l'ampleur des différences pour les diverses parties de la plante et pour les deux séries.

A titre d'exemple, le calcul de la première donnée du tableau XLIII est donné en détail.

Cette donnée est : — 153

Poids sec des tiges, traitement NK : 8,8 g

Poids sec des tiges, traitement SCa : 32,6 g

Différence : — 23,8

Poids sec moyen des tiges : 15,54 g

Calcul $\frac{-23,8 \times 100}{15,54} = -153,1$ soit — 153.

Examinons maintenant ces tableaux. Si 74 cases contiennent un résultat cela signifie que 37 résultats sont significatifs pour l'objet de ce tableau.

TABLEAU XLII

Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Feuilles.

	SÉRIE A															
	Traitement															
	NK	N Ca	N Mg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
NK					+114	+84	-44	+63			+78		+109	+60		+46
N Ca					+83	-120	-120								-96	
N Mg					+119	+89	-39	+68			+83		+114	+65		+51
SK					+119	+89	-158					-104			-134	-66
SCa	-114		-83	-119			-128		-111	-107					-134	
SMg	-84			-89			+107		-81	-77						
PK	+44	+120		+39	+158	+128	+107	+60	+47	+51	+122		+153	+104		+89
PCa	-63			-68			-107		-60						-83	
PMg					+111	+81	-47	+60			+75		+106			
aK					+107	+77	-51				+71		+102			
aCa	-78			-83			-122		-75	-71					-98	
aMg					+104											
Nc	-109			-114			-153		-106	-102					-129	
Sc	-60			-65			-104								-80	
Pc		+96			+134	+103	+83				+98		+129	+80		+65
ac	-116			-51	+66		-89						+61		-65	

TABLEAU XLIII

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Tiges.*

	SÉRIE A															
	Traitement															
	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
NK					+153	+106	-38				+74		+125			
NCa					+120	-115	-115									-100
NMg					+154	+107					+75		+126			
SK					+154	+107						-143				
SCa	-153		-120	-154	+191	+143	-191		-158	-145					-176	-107
SMg	-106			-107	+191	+143	-143		-110	-98					-129	
PK	+38	+115			+191	+143		+98		+46	+112		+163	+107		+84
PCa					+158	+110	-98				+78		+129			-83
PMg					+145	+98	-46				+66		+117			
aK					+145	+98	-46									
aCa	-74			-75	+143		-112		-78	-66						-97
aMg					+143								+115			
Nc	-125			-126			-163		-129	-117		-115				-148
Sc					+176	+129	-107	+83			+97					-93
Pc		+100			+107		-84						+148	+93		
ac																

TABLEAU XLIV

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Fenilles + Tiges.*

	SÉRIE A															
	Traitement															
	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
NK					+131	+94	-118	+63			+78		+116		-98	
NCa					+98								+83			
NMg					+133	+96					+80		+119			
SK																
SCa	-131		-98	-133			-171		-130	-123		-120			-151	-83
SMg	-94			-96			-134		-93	-86					-114	
PK		+118			+171	+134	-103	+103	-62		+118		+157	+105		+87
PCa	-63				+130	+93		+62			+77		+115		-83	
PMg					+123	+86					+69		+108			
aK																
aCa	-78			-80	+120	+83	-118		-77	-69			+105		-98	
aMg																
Nc	-116		-83	-119			-157		-115	-108		-105			-136	
Sc					+151	+114	-105	+83							-85	
Pc		+98			+83		-87				+98		+136	+85		
ac																

TABLEAU XLV

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Racines.*

	SÉRIE A															
	Traitement															
	NK	N Ca	N Mg	S K	S Ca	S Mg	P K	P Ca	P Mg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
NK					+177	+114	-103				+92		+126	+101	-96	
N Ca				+99	+140											
N Mg				+140	+181	+115		+69			+93		+127	+103		
S K				+181	+202	+136		+90			+114		+148	+123		
S Ca	-177	-99	-140	-181	+173	+107	-202		-173	-165		-156			-196	-124
S Mg	-114	+103	-115	-115	+165	+99	-136		-107	-99					-130	
P K				+202	+165	+99										+78
P Ca				-69	+173	+107	-90						+119	+95	-83	
P Mg				+173	+165	+99							+111	+87		
aK				-93	+156		-114		-85	-77			+102		-108	
aCa																
aMg				-127					-119	-111		-102				
Nc	-126		-103	-103	+196	+130	-148		-95	-87					-142	
Sc	-101	+96			+124		-123	+83					+142	+117	-117	+72
Pc							-78				+108					
ac															-72	

TABEAU XLVI

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Feuilles.*

	SÉRIE B															
	Traitement															
	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
Nc																
Sc	+ 58	- 58	+ 62	- 66	- 49	+ 56	+ 47	- 95	+ 32	- 31	- 43	- 50	- 49	+ 51		- 69
Pc	+ 62					+ 60	+ 52	- 37	+ 36	+ 31				+ 56	+ 31	
Clc	+ 66					+ 63	+ 55	- 29	+ 39	+ 34				+ 59	+ 34	
aK	+ 49					+ 47	+ 39	- 46	+ 39					+ 43		
aCa		- 56	- 60	- 63	- 47			- 93		- 29	- 41	- 48	- 46			- 67
aMg		- 47	- 52	- 55	- 39			- 84		- 32	- 32	- 40	- 38			- 58
aNa	+ 95	+ 37	+ 33	+ 29	+ 46	+ 93	+ 84		+ 69	+ 63	+ 52	+ 44	+ 46	+ 88	+ 64	
nc		- 32	- 36	- 39				- 69								- 43
sc	+ 31		- 31	- 34		+ 29		- 63								- 37
pc	+ 43					+ 41	+ 32	- 52						+ 36		
clc	+ 50					+ 48	+ 40	- 44						+ 44		
ak	+ 49					+ 46	+ 38	- 46						+ 42		
aca		- 51	- 56	- 59	- 43			- 88		- 36	- 44		- 42			- 62
amg		- 31	- 31	- 34		+ 67	+ 58	- 64						+ 62	+ 37	- 37
ana	+ 69								+ 43	+ 37						

TABLEAU XLVII

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Tiges.*

	SÉRIE B															
	Traitement															
	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
Nc								-100								
Sc	+ 57	- 57	- 64	- 66	- 47	+ 47	+ 32	- 44			- 43	- 51	- 62	+ 37		- 84
Pc	+ 64					+ 54	+ 40	- 36		+ 36				+ 44		
Clc	+ 66					+ 56	+ 42	- 35		+ 38				+ 46		
aK	+ 47					+ 37		- 53								- 37
aCa		- 47	- 54	- 56	- 37			- 91					- 52			- 74
aMg		- 32	- 40	- 42				- 76								- 59
aNa	+ 100	+ 44	+ 36	+ 35	+ 53	+ 91	+ 76		+ 69	+ 72	+ 58	+ 49		+ 81	+ 61	
nc								- 69								- 52
sc			- 36	- 38				- 72					- 34			- 56
pc	+ 43							- 58						+ 31		- 41
clc	+ 51							- 49		+ 34				+ 42		
ak	+ 62					+ 52										
aca		- 37	- 44	- 46				- 81				- 31	- 42			- 64
amg					+ 37	+ 74	+ 59	- 61	+ 52	+ 56	+ 41			+ 64	+ 45	
ana	+ 84															- 45

TABLEAU XLVIII

Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.

Feuilles + Tiges.

	SÉRIE B															
	Traitement															
	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
Nc																
Sc	+ 57	- 57	- 69	- 66	- 48	+ 52	+ 40	- 97			- 43	- 51	- 55	+ 45		- 76
Pc	+ 69					+ 57	+ 46	- 40						+ 50		
Clc	+ 66					+ 60	+ 49		+ 37	+ 36				+ 53		
aK	+ 48					+ 43		- 49								
aCa		- 52	- 57	- 60	- 43			- 92			- 37	- 45	- 49			- 70
aMg		- 40	- 46	- 49				- 81		+ 68	+ 55	+ 47	+ 43	+ 85	+ 63	- 59
aNa	+ 97	+ 40			+ 49	+ 92	+ 81		+ 69	+ 68						
nc								- 69								- 47
sc								- 68								- 46
pc	+ 43							- 55								
clc	+ 51					+ 37		- 47						+ 38		
ak	+ 55					+ 45		- 43						+ 42		
aca		- 45	- 50	- 53		+ 49		- 85				- 38	- 42			- 63
amg						+ 70	+ 59	- 63		+ 46				+ 63	+ 41	- 41
ana	+ 76								+ 47							

TABLEAU XLIX

*Différence entre traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Racines.*

	SÉRIE B															
	Traitement															
	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
Nc.								-109								
Sc.								70								
Pc.								71								
Clc.								72								
aK.								66								
aCa.								97								
aMg.								75								
aNa.	+109	+70	+71	+72	+66	+97	+75		+91	+101	+72	+54	+69	+95	+74	
nc.								91								
sc.								-101				-47				-65
pc.								72								
clc.								54		+47						
ak.								69								
aca.								95								
amg.								74		+65				+60		-60
ana.																

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU L

*Différence entre les traitements exprimée en pour cent du poids sec moyen.
Feuilles + Tiges.*

SÉRIE C						
	Traitement					
	N'c	S'c	P'c	aK'	aCa'	aMg'
N'c		-24	-34			
S'c	+24				+41	
P'c	+34				+51	+26
aK'					+31	
aCa'		-41	-51	-31		
aMg'			-26			

Une telle étude donne lieu au tableau résumé ci-après :

TABLEAU LI

*Nombre de comparaisons significatives à la probabilité P = 0,05 ou plus élevée.
(Nombre de comparaisons possibles = 120)*

Données pondérales à l'état sec de	Série A	Série B
Feuilles	47	58
Tiges	37	45
Partie aérienne	39	43
Racines	40	17
TOTAUX	163	163

Si, au total, les deux séries livrent des résultats identiques, on voit que la prise en considération des racines fait perdre à la série B une nette avance sur la série A. Les nombres de répétitions très différents de ces deux séries et des racines *versus* les autres catégories d'organes au sein de la série B sont probablement responsables de cette constatation.

L'élément frappant reste cependant la supériorité des feuilles en tant que « réactif » aux effets de traitement, et ce, dans l'une et l'autre série. Cette supériorité se traduit par le nombre plus élevé de comparaisons significatives pour cet organe que pour les tiges.

De même, les tiges se montrent généralement plus sensibles aux variations de traitement que les racines. Les réactions enregistrées ne sont donc pas différentes suivant les organes mais d'une sensibilité variable. Cette observation est d'ailleurs encore confirmée par le fait que les différences enregistrées ne changent jamais de signe dans aucun des cas envisagés. On pourrait donc en conclure, en première approximation tout au moins, que, l'efficacité des traitements ne variant pas en fonction de l'organe, il suffirait pour juger de la valeur d'une combinaison chimique d'en connaître l'effet sur un organe pour en déduire l'effet sur l'ensemble du végétal. C'est là une démonstration expérimentale du principe unitaire de LOEB, étendant au tout ce que l'on connaît d'une réaction isolée.

Tout naturellement, on arriverait ainsi à conclure que l'étude bornée aux stades juvéniles de la croissance pourrait être étendue *ne varietur* aux phases génératives ultérieures. Cette perspective a été une préoccupation constante des expérimentateurs et des utilisateurs. Un chapitre ultérieur est consacré à une méthode de travail plus logique, moins empirique que la simple comparaison et qui permet d'aborder ce problème sous son aspect technique. Mais sur le plan des principes, les éléments d'information dont on dispose déjà actuellement autorisent à penser que l'idée n'est pas dénuée de fondement physiologique.

En effet, les feuilles qui, à ce stade de la croissance, forment de loin la plus grosse masse de matériel du végétal gardent cette supériorité initiale pendant un temps relativement long de la vie de la plante. D'autre part, il a été vu qu'elles étaient douées d'une « réactivité » plus grande que les autres organes.

Ces deux faits se rejoignant, ce sont en somme les réactions de la partie foliacée qui déterminent celles de la plante. Par conséquent, tant que la production générative ne dépasse pas en masse pondérale sèche la croissance des parties végétatives, il y a peu de chances de voir s'opérer un renversement dans l'effet des traitements. Exception devrait toutefois être faite pour le cas où les exigences propres de la partie générative, mesurées par son contenu minéral normal, se montreraient radicalement différentes des besoins végétatifs. Quoi qu'il en soit, il semble que le passage à la phase générative se fera sans entacher ni modifier les conclusions établies sur la phase végétale.

Cette conception permet même de prévoir les cas où la conclusion ne pourrait s'appliquer.

Chaque fois que l'« ensemble génératif » dépassera le montant de l'« ensemble végétatif », et ce, d'autant plus rapidement que les compo-

sitions minérales de ces deux ensembles seront plus différentes, l'ordre de classement des traitements changera. Or ces cas se produiront :

1° à un âge avancé du végétal où la somme des accroissements annuels modifiera l'ordre d'importance dans les catégories d'organe;

2° lorsque des circonstances de milieu autres que celles relatives à l'alimentation minérale feront évoluer indépendamment les deux phases d'activité du végétal réservant une part plus importante à la phase générative et ce, aux dépens de la végétative. Or ces cas existent.

Il est donc vain, quelles que soient par ailleurs les caractéristiques particulières du substrat utilisé, d'opposer aux résultats, ceux obtenus à l'aide d'un matériel très âgé ou d'un végétal traité anormalement.

Le traitement PK est sans conteste le plus mauvais traitement de la série A.

Parmi les bons traitements, on relève SCa (avec 9 différences significativement supérieures pour les feuilles, les tiges et la partie aérienne, 10 pour les racines), SMg (avec 7 pour les feuilles, 6 pour les tiges, 7 pour la partie aérienne, 6 pour les racines).

Sur cette base, on peut donc opérer un classement de valeur entre les différents traitements. C'est ce qui a été fait dans le tableau LII (p. 80) pour les deux séries A et B.

En résumé, on conclura à la supériorité manifeste des équilibres SCa et Nc de la série A, des traitements Nc et aCa de la série B. Les trois derniers cités se distinguent par une nette dominance azotée et une forte proportion calcique. Sur la base d'un choix empirique parmi la série des traitements étudiés, on retiendra donc les combinaisons ioniques :

Série A 20—60—20//20—60—20 ou
60—20—30//33—33—33.

Série B 58,0—14,3—14,3—14,3//25,0—30,0—35,0—10,0 ou
50,5—16,5—16,5—16,5//14,3—58,0—14,3—14,3

comme étant favorables à la croissance du caféier aux stades juvéniles dans les conditions de culture décrites.

La composition ionique des formules ou traitements s'entend dans l'ordre conventionnel suivant : proportion centésimale azotée devant le total des apports anioniques, proportion sulfurique, proportion phosphorique, proportion chlorhydrique s'il y a lieu — double trait de séparation — proportion centésimale potassique devant le total des apports cationiques, proportion calcique, proportion magnésique, proportion sodique s'il y a lieu.

A l'issue de cette étude on pourrait donc songer à établir une sorte de moyenne des proportions dans l'espace de façon que la composition ainsi obtenue se rapproche des besoins alimentaires réels du caféier.

TABLEAU LII

Classement des traitements sur la base des différences statistiques.

SÉRIE A	Traitement															
	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
Feuilles (F) .	(13)	8	(9)	(13)	1	(3)	16	5	12	11	(3)	(9)	2	6	15	7
Tiges (T) . .	(11)	(5)	9	(13)	1	(3)	16	(5)	(13)	(11)	(3)	10	2	(5)	15	8
Racines (R) .	(11*)	(7)	9	14	1	(3*)	(15)	6	(11*)	(11*)	(3*)	10	2	(3*)	(15)	(7)
Partie aérienne (F + T) . .	(13)	(6)	9	(11)	1	3	16	5	(13)	(11)	4	10	2	(6)	15	8
Classement général . .	13	7	9	14	1	3	16	6	12	11	4	10	2	5	15	8
Id. selon les moyennes F+T	13	5	9	14	1	3	16	7	12	11	4	10	2	6	15	8
SÉRIE B	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	nc	sc	pc	clc	ak	aca	amg	ana
Feuilles (F) .	(1)	12	(13)	(13)	(8*)	(1)	(3)	16	5	7	(8*)	(8*)	(8*)	(3)	6	15
Tiges (T) . .	1	11	(13)	(13)	9	2	4	16	(6)	(4)	8	10	12	(2)	(6)	15
Racines (R) .	—	—	—	—	—	—	—	16	—	1	—	—	—	2	—	15
Partie aérienne (F + T) . .	(1)	12	13	14	(8)	(1)	4	16	(5)	(5)	(8)	(10)	(10)	3	7	15
Classement général . .	1	12	13	14	9	2	4	16	5	6	8	10	11	3	7	15
Id. selon les moyennes F+T	1	12	13	14	9	2	4	16	5	6	8	10	11	3	7	15

N.B. Les valeurs entre parenthèses indiquent que le rang peut être pris soit pour lui-même soit pour le suivant immédiat.
Exemple : (13) vaut pour 13^e ou 14^e rang. — L'astérisque signifie que cette indication peut être étendue à plusieurs rangs consécutifs.
Exemple : (8*) vaut pour 8^e, 9^e ou 10^e rang.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

On obtiendrait ainsi un équilibre favorable de

40—40—20//26—47—27 ou de
53,8—15,4—15,4—15,4//19,7—44,0—24,7—11,6

si l'on songe à introduire du chlore et du sodium.

C. Influence des éléments selon les groupes chimiques.

La sensibilité différente des catégories d'organes aux divers traitements expérimentaux a été établie antérieurement. Dans le but de préciser cette constatation, on a calculé, au sein de la variance totale selon FISHER, la part d'influence qui revenait aux proportions cationiques, anioniques ou à leurs interactions dans la détermination des rendements pondéraux. Les résultats figurent au tableau LIII; les valeurs de F significatives à la probabilité conventionnelle $P = 0,99$ sont imprimées en caractères gras.

TABLEAU LIII

*Influence des groupes ioniques sur le rendement des catégories d'organes.
(Valeurs de F calculées).*

SÉRIE A			
Organes	Anions	Cations	Interaction
Feuilles	4,298	19,060	0,212
Tiges	5,990	3,890	0,291
Feuilles + Tiges	1,857	4,940	2,090

Ce calcul n'est possible que pour la série A où le schéma expérimental donne la répartition orthogonale indispensable.

Pour rechercher le même type d'influence dans la série B, où le calcul de la variance totale et de ses éléments est impossible, l'amplitude moyenne des variations a été établie dans chaque groupe, c'est-à-dire que la différence de rendement de chaque traitement à la moyenne de son groupe est exprimée en pour cent de cette moyenne et les valeurs ainsi obtenues sont réduites à un traitement.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

Par exemple, pour les traitements aK , aCa , aMg et aNa , dits « cationiques », les calculs donnent pour la partie aérienne en poids sec :

	M	Écart	en %
aK	106,0	7,0	6,19
aCa	153,9	40,9	36,19
aMg	141,2	28,2	24,95
aNa	50,8	62,2	55,04
Moyenne	113,0		30,6

Le tableau ci-après donne le résumé des calculs effectués.

TABLEAU LIV
Variations moyennes par groupe.

Organes	Anions		Cations	
	Dominance (%)		Dominance (%)	
	forte	faible	forte	faible
Feuilles	24,5	8,6	32,5	19,5
Tiges	23,6	8,0	28,3	22,9
Feuilles + Tiges . .	24,1	8,3	30,6	21,0

On peut donc conclure qu'en fait la différence de réactivité serait due à une sensibilité plus grande des feuilles et en particulier aux variations de proportions cationiques tandis que les anions agissent plus particulièrement sur les parties ligneuses de la plante.

A cet effet vient encore s'ajouter (série B) l'influence persistante des proportions cationiques dans leur ensemble, qu'il s'agisse de dominance forte ou faible, alors que, parmi les anions, toute variation des proportions à un niveau faible de dominance resterait quasi sans effet.

Il ressort immédiatement que :

— tout d'abord, les feuilles se montrent en général très sensibles aux variations de proportions cationiques dans le milieu extérieur. Par conséquent, c'est essentiellement sur cette partie d'un traitement chimique que devrait se porter l'attention dès que ce type d'organe est

en cause : c'est le cas du diagnostic chimique de déficience ou de déséquilibre de l'alimentation minérale. C'est également le cas lorsque la production intéressante du végétal étudié est essentiellement foliacée, tel le tabac ;

— ensuite, le choix des niveaux de dominance, lors d'une expérimentation selon la méthode des variantes systématiques, par exemple, pourrait ne pas être indifférent et pourrait de plus être variable selon que l'on s'adresse aux proportions cationiques ou anioniques. Dans le dernier cas en particulier, on serait plus probablement lié à un niveau élevé.

Dans un travail antérieur¹, une relation nette entre la valeur des traitements exprimée par le rendement pondéral et la variabilité individuelle des traitements (σ m en pour cent de M) a déjà été mise en évidence.

L'évolution de la variabilité en fonction de la qualité des traitements a été étudiée de la même façon dans la présente étude.

Les données des tableaux XXXIII et XXXIV ont permis de calculer les coefficients de corrélation de :

$$r = -0,4157 \text{ pour la série A}$$

$$r = -0,5124 \text{ pour la série B}$$

qui sont, en moyenne, analogues mais inférieurs à ceux trouvés pour le cacaoyer.

En raison de l'influence prépondérante des proportions cationiques sur le développement de la partie aérienne, il nous a paru opportun de disséquer les influences sur la variabilité selon les groupes chimiques. Pour ce faire, le calcul du coefficient de corrélation a été repris dans la série B, séparément pour les traitements appelés « cationiques » et « anioniques », d'où il résulte que

$$r = -0,9274 \text{ pour les cations,}$$

$$r = +0,270 \text{ pour les anions.}$$

Une fois de plus, il appert donc que l'équilibre cationique revêt une importance capitale dans la croissance du végétal.

Si le coefficient de variation, plus élevé pour les traitements les moins favorables, traduit bien une réceptivité plus grande aux multiples adversités du milieu extérieur, on voit que ces effets seraient d'autant plus défavorables que le régime alimentaire cationique serait mal ajusté. En définitive, la résistance plus grande de la plante aux actions extérieures du milieu écologique devrait être recherchée dans l'existence, parmi ces facteurs, de proportions cationiques favorables ou tout au moins supportables. On peut même admettre un moyen simple de pallier ces inconvénients par l'ajustement optimum des

1. HOMÈS, M. V., *op. cit.*, p. 51.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

cations, ce qui permet d'entrevoir l'efficacité d'une fumure complète comme débordant largement le seul domaine du rendement pour atteindre celui de l'état de santé général du végétal, domaine malheureusement fort inaccessible dans sa mesure exacte.

Il reste à déterminer dans quelle mesure cette importance des proportions cationiques est susceptible d'influencer la détermination de l'équilibre optimum anionique, en somme de vérifier l'exactitude

TABLEAU LV

*Indépendance des équilibres optima anionique et cationique.
Rendement en poids sec exprimé en pour cent de la moyenne traitée
pour les traitements multiplicatifs.*

SÉRIE A				
		K	Ca	Mg
Feuilles (F)	NO ₃	64	141	95
	SO ₄	59	179	148
	PO ₄	20	127	67
		K	Ca	Mg
Tiges (T)	NO ₃	57	135	91
	SO ₄	56	211	163
	PO ₄	19	117	152
		K	Ca	Mg
Racines (R)	NO ₃	49	128	88
	SO ₄	48	227	162
	PO ₄	27	116	55
		K	Ca	Mg
Partie aérienne (F+T)	NO ₃	60	139	94
	SO ₄	58	192	154
	PO ₄	19	123	61

du principe d'indépendance des équilibres optima cationique et anionique énoncé dans la première partie de ce travail.

Pour cette démonstration, le tableau LV reproduit les rendements pondéraux sur base sèche en se limitant aux neuf premiers traitements de la série A.

Ces objets étant établis sur la base d'un schéma multiplicatif, on obtient le rendement du traitement N Ca en suivant la rangée N jusqu'à l'intersection avec la colonne Ca. De plus, pour qu'il y ait indépendance, il suffit que le meilleur rendement s'inscrive dans la même colonne (optimum cationique) ou dans la même rangée (optimum anionique).

Les données du tableau LV montrent que cette règle est toujours suivie en ce qui concerne les cations (de plus la dominance calcique est partout favorable). On peut admettre qu'elle l'est également pour les anions au profit de la dominance sulfurique. Il n'existe en effet aucune différence interprétable au niveau conventionnel de probabilité entre les traitements N K et S K, quelle que soit la portion du végétal considérée. On peut donc admettre l'indépendance comme démontrée mais il convient d'attribuer à ce principe un sens large.

D. Détermination des besoins alimentaires du caféier basée sur la conception des équilibres ioniques.

M. V. HOMÈS *et al.* ont décrit une méthode d'expérimentation et de calcul des besoins alimentaires qualitatifs sur une base physiologique¹ qui permet de se dégager du choix empirique du meilleur traitement.

Partant de rendements bruts déterminés à partir de traitements à proportions ioniques symétriquement variables, on en élimine l'effet général du substrat utilisé afin d'obtenir les rendements-clés. Les besoins alimentaires sont alors directement proportionnels à ces rendements-clés, tout au moins en première approximation.

L'estimation du facteur de correction constitue encore à l'heure actuelle une difficulté, empiriquement tournée par la notion de niveau de fertilité du substrat. Plus ce niveau est élevé, moindre sera l'effet des apports variables, toutes considérations relatives à la dose et autres facteurs étant égales par ailleurs. Dans cette étude, la présence de témoins non traités permet cette estimation.

La méthode des variantes systématiques implique, d'autre part, l'emploi du schéma « additif ». Si les séries B et C sont établies sur ce principe, la série A, par contre, ne se prête pas directement au calcul.

1. HOMÈS, M. V., ANSIAUX, J. R., et VAN SCHOOR, C., La méthode des variantes systématiques, C. R. V^e Congrès Int. Sci. Sol, Léopoldville, 16-22 août 1954, III, p. 322 (1955).

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

La démonstration de l'indépendance large entre équilibres optima cationique et anionique autorise parfaitement à considérer séparément ces deux problèmes à partir des mêmes données expérimentales.

Ainsi les trois traitements, NK, NCa et NMg, ont en commun une même composition anionique et la répartition de leur composition cationique correspond à des points symétriques. Leurs résultats conduisent donc au calcul de l'équilibre cationique optimum.

Dans la série A, on disposera ainsi de quatre groupes successifs de données valables pour la détermination de l'optimum cationique, qui sont :

NK, NCa et NMg
SK, SCa et SMg
PK, PCa et PMg
aK, aCa et aMg.

En utilisant les mêmes neufs premiers traitements dans l'autre sens et en les complétant par les Nc, Sc et Pc, on déterminera l'optimum anionique. On dispose donc des éléments d'information nécessaires à la détermination des besoins alimentaires du caféier.

1. Le cas des équilibres à trois constituants.

Les trois constituants sont l'azote, le soufre et le phosphore dans le groupe anionique, et le potassium, le calcium et le magnésium dans le groupe cationique. Le cas envisagé est donc celui de la série A.

Seront successivement étudiés, les équilibres optima pour le développement pondéral sec de la partie aérienne (F+T) comme représentatif de l'effet global des proportions ioniques variables, puis ceux relatifs aux feuilles (F) et au matériel ligneux (T).

En groupant les rendements observés, on obtient les rendements bruts suivants pour l'ensemble F+T :

N	44,96 ± 7,11 g	K	19,66 ± 2,45 g
S	60,76 ± 5,60 g	Ca	56,71 ± 5,92 g
P	23,27 ± 3,49 g	Mg	36,42 ± 5,61 g

La moyenne générale traitée ressort à 38,65 g et le témoin vaut 8,4 ± 1,46 g. L'effet global du régime alimentaire se traduit donc par un rendement de 460 % par rapport au témoin. Le substrat utilisé, un sable de rivière très propre et exempt de matières organiques, se montre très pauvre au point de vue alimentaire et l'on peut admettre dans ces conditions, sans grand risque, une valeur 0,1 pour le facteur de fertilité F défini par M. V. HOMÈS *et al.*

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

Le terme de correction sera donc égal au dixième de la moyenne calculée par groupe de variables. Voici, à titre d'exemple, le détail des calculs effectués pour le groupe anionique :

— Rendements bruts :

$$N \ 44,96 \pm 7,11 \text{ g}$$

$$S \ 50,76 \pm 5,60 \text{ g}$$

$$P \ 23,27 \pm 3,49 \text{ g}$$

— Moyenne pour ce groupe : $39,66 \pm 3,39 \text{ g}$

— Facteur de fertilité : $F = 0,1$

— Facteur de correction : $TA = 0,1 \times 39,66 = 3,96$ avec une erreur standard de 0,34

— Rendements-clés :

$$N \ 44,96 \pm 7,11 - 3,96 \pm 0,34 = 41,00 \pm 7,12 \text{ g}$$

$$S \ 50,76 \pm 5,60 - 3,96 \pm 0,34 = 46,80 \pm 5,61 \text{ g}$$

$$P \ 23,27 \pm 3,49 - 3,96 \pm 0,34 = 19,31 \pm 3,51 \text{ g.}$$

L'erreur standard dont est affectée la moyenne appelée rendement-clé s'établit très simplement sur la base de la formule généralement utilisée en biométrie pour le calcul de l'erreur standard affectant une différence entre moyennes soit donc :

$$E_D = \sqrt{E_A^2 + E_B^2}$$

E_D est l'erreur de la différence D ;

E_A est celle de la moyenne A ;

E_B est celle de la moyenne B.

Dans le présent cas et pour l'effet N, la moyenne A vaut 44,96, la moyenne B 3,96 ; D est donc 41,00, avec $E_A = 7,11$, $E_B = 0,34$ et $E_D = 7,12$.

Ce procédé fort simple permet d'introduire dans le calcul de l'optimum la variabilité propre à chaque élément.

A partir des rendements-clés, on établit les proportions optima :

NO_3	$41,00 \pm 7,12 \text{ g}$	soit 38,3 %	$\pm 6,6$	}	des anions
SO_4	$46,80 \pm 5,61 \text{ g}$	soit 43,7 %	$\pm 5,2$		
PO_4	$19,31 \pm 3,51 \text{ g}$	soit 10,8 %	$\pm 3,5$		

Total 107,11.

En définitive, les proportions optima pour la croissance du caféier mesurée par le développement pondéral sec de la partie aérienne seraient donc :

Composition anionique :

Équivalents	NO_3	$38,3 \%$	$\pm 6,6$
	$SO_4/2$	$43,7 \%$	$\pm 5,2$
	$PO_4/3$	$18,0 \%$	$\pm 5,3$

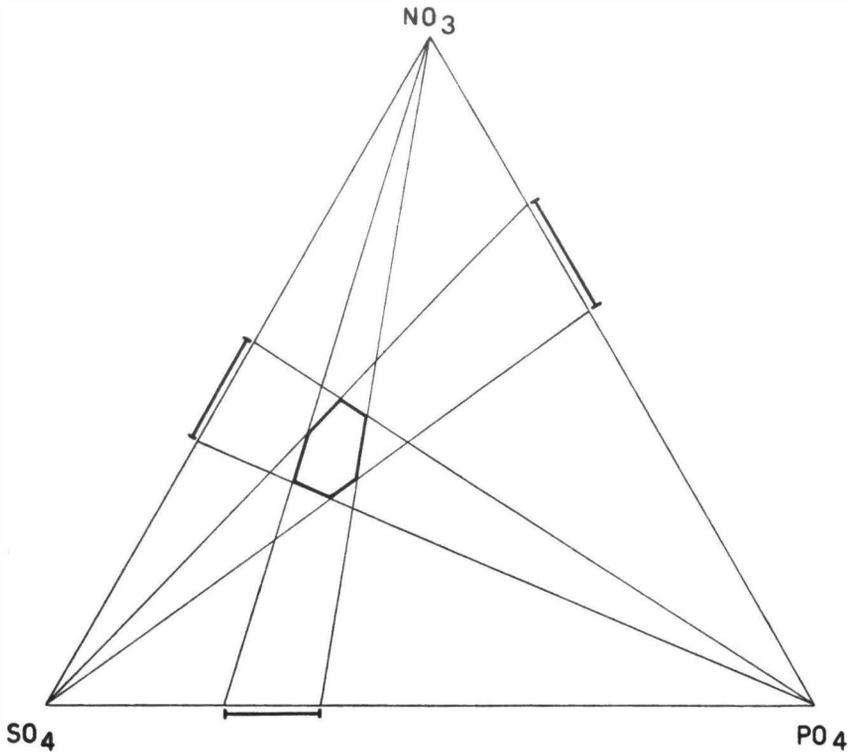


Figure 1. — Représentation graphique de la zone anionique de développement optimum mesuré par le poids sec (F + T).

Composition cationique :

Équivalents K	15,6 % ± 2,4
Ca/2	52,2 % ± 5,8
Mg/2	32,2 % ± 5,5

Un raisonnement identique conduit à l'établissement des proportions optima soit pour la production d'une masse foliacée importante (données F), soit du matériel ligneux (données T) qui sont dans l'ordre :

Composition anionique :

Équivalents NO ₃	38,7 % ± 6,3
SO ₄ /2	42,0 % ± 4,4
PO ₄ /3	19,3 % ± 3,1

Composition cationique :

Équivalents K	16,3 % ± 2,4
Ca/2	51,5 % ± 5,2
Mg/2	32,2 % ± 5,1

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

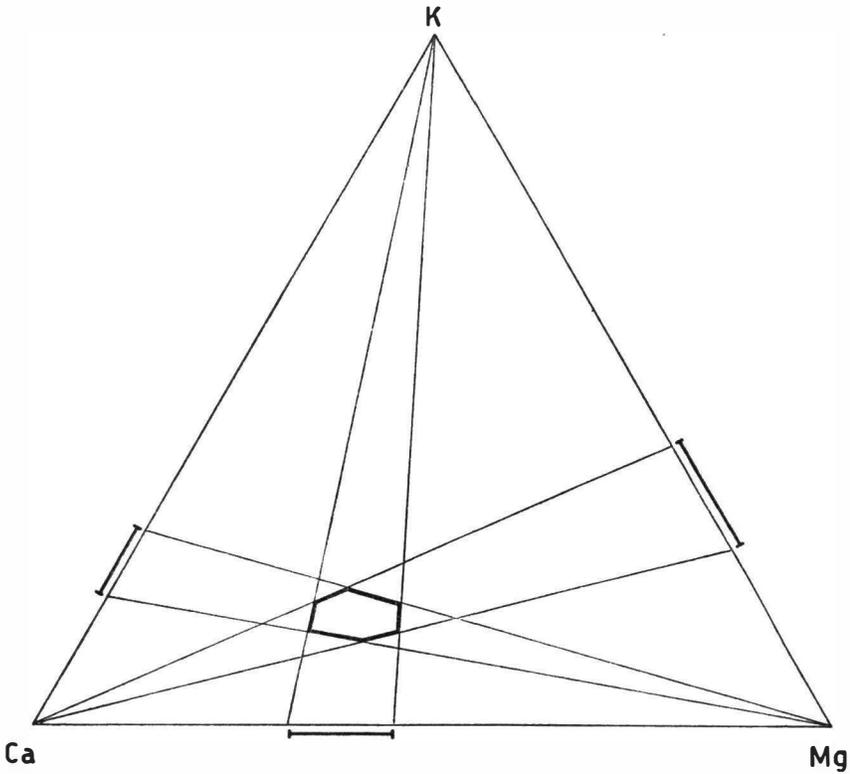


Figure 2. — Représentation graphique de la zone cationique de développement optimum mesuré par le poids sec (F + T).

Composition anionique :

Équivalents NO_3	37,6 % \pm 7,2
$\text{SO}_4/2$	46,2 % \pm 6,6
$\text{PO}_4/3$	16,2 % \pm 3,6

Composition cationique :

Équivalents K	14,7 % \pm 2,5
Ca/2	53,2 % \pm 7,0
Mg/2	32,1 % \pm 6,4

L'ensemble de ces résultats est représenté dans les figures 1 à 4. Chaque valeur moyenne de composition est entourée de sa zone de variabilité.

On remarquera que les zones optima pour les feuilles et les tiges se recoupent largement, ce qui justifie l'adoption d'une valeur unique

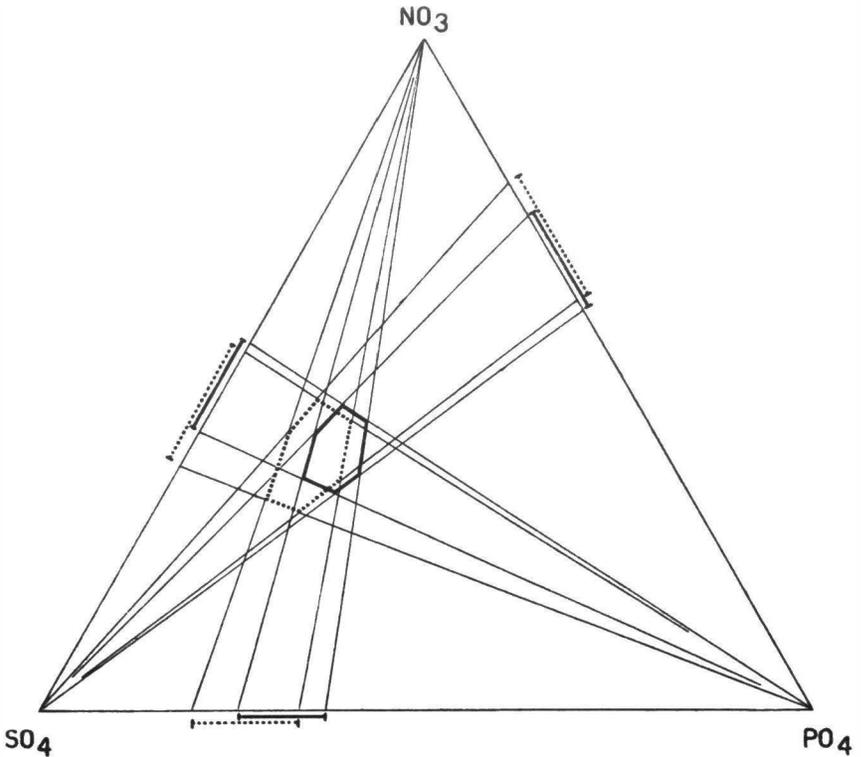


Figure 3. — Représentation graphique des zones optima pour les feuilles (—) et pour les tiges (- - -).

de proportions favorables. Cependant, les différences de valeur moyenne accusent, sous une forme numérique, les variations de classement décelées précédemment lors de la comparaison statistique des traitements. De plus, elles dénotent une divergence physiologique dans les exigences alimentaires de ces deux types d'organes.

Enfin, on sera frappé par la variabilité plus grande affectant les proportions optima des tiges, et ce surtout pour la composition anionique. Ce fait vient corroborer les démonstrations antérieures sur la dépendance plus étroite des feuilles de l'équilibre cationique.

Dans son ensemble, la détermination des proportions optima selon la méthode des variantes systématiques a livré autant d'informations physiologiques que les autres voies de raisonnement mais certes à moindres frais.

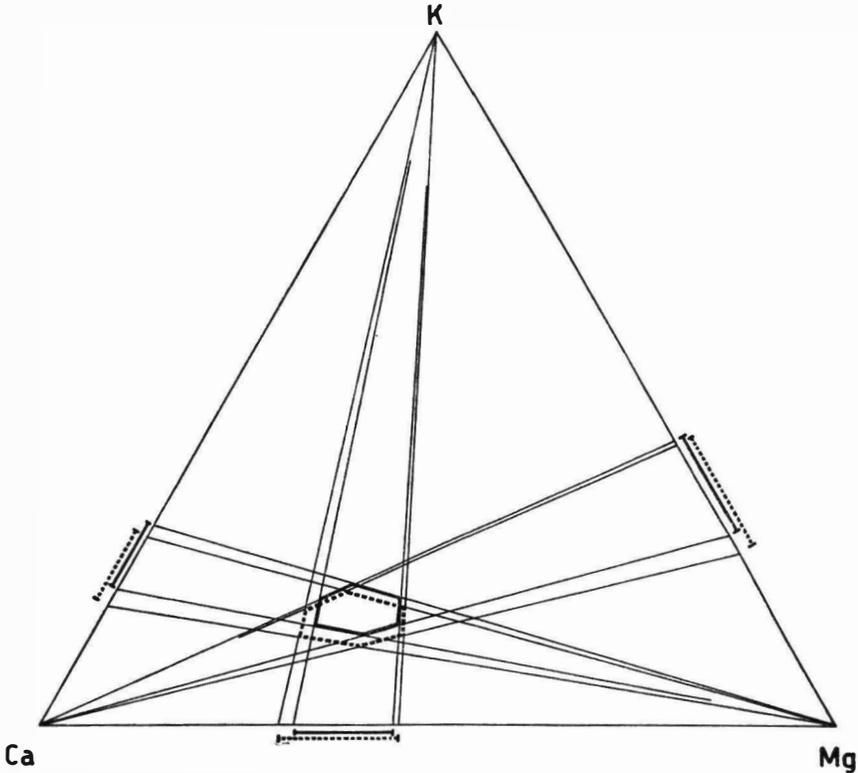


Figure 4. — Représentation graphique des zones optima pour les feuilles (—) et pour les tiges (- - - -).

2. *Le cas des équilibres à quatre constituants.*

Aux trois éléments anioniques vient s'adjoindre le chlore, aux trois cations le sodium au sein de la série B.

Rappelons que, dans cette série, deux niveaux de dominance ont été utilisés réalisant les sommets de deux tétraèdres concentriques et symétriques dans chaque groupe ionique. C'est sur cette base que sont faites les déterminations des proportions optima. Le calcul des optima pour divers types d'organes a été fait et décèle des différences du même ordre et dans le même sens que celles trouvées pour les équilibres à trois constituants. Aussi, il a été jugé préférable de ne pas alourdir le texte avec ces développements complémentaires. L'ensemble des résultats se réfère donc uniquement aux données pondérales à l'état sec de la partie aérienne du végétal (F+T).

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

En raison de l'apport alimentaire uniforme de composition constante effectué au départ de l'expérience, on peut raisonnablement admettre que le niveau de fertilité du substrat est plus élevé dans les séries B et C que dans A. Ce point est d'ailleurs confirmé par la comparaison du rendement du témoin à la moyenne générale traitée soit : témoin $42,5 \pm 4,44$ grammes, moyenne générale traitée $112,17$ grammes où la moyenne s'établit à 264% du témoin.

Le facteur F choisi dans ces deux séries est de 0,3.

Les compositions cationiques le plus probablement favorables seraient :

Équivalents	Proportions établies au départ d'un niveau de dominance	
	élevé	faible
K	$22,8 \%$ $\pm 3,4$	$21,3 \%$ $\pm 5,1$
Ca/2	$33,9 \%$ $\pm 4,3$	$36,5 \%$ $\pm 4,0$
Mg/2	$33,9 \%$ $\pm 4,5$	$28,5 \%$ $\pm 4,9$
Na	$5,4 \%$ $\pm 4,4$	$13,7 \%$ $\pm 4,7$

On constate, d'une part, une variabilité plus grande dans la composition moyenne établie pour un niveau de dominance faible et, d'autre part, une modification appréciable bien que sans portée biométrique suffisante dans les taux de magnésium et de sodium. Il conviendrait donc d'étudier le comportement des équilibres binaires où le magnésium et le sodium prennent part.

Les compositions anioniques seraient :

Équivalents	Proportions établies au départ d'un niveau de dominance	
	élevé	faible
NO ₃	$42,2 \%$ $\pm 5,6$	$28,2 \%$ $\pm 4,1$
SO ₄ /2	$21,0 \%$ $\pm 2,3$	$27,7 \%$ $\pm 2,5$
PO ₄ /3	$18,9 \%$ $\pm 2,7$	$23,3 \%$ $\pm 2,5$
Cl	$17,9 \%$ $\pm 3,0$	$20,8 \%$ $\pm 2,9$

Les modifications de composition sont ici fort importantes et affectent particulièrement l'azote au profit des autres éléments mais surtout du soufre. Les équilibres binaires comportant ces deux constituants devraient être étudiés.

Les résultats de cette étude apparaissent au tableau LVI dans lequel les valeurs se réfèrent toujours à la proportion centésimale de l'ion figurant au numérateur devant la somme de ceux du dénominateur.

Dans la colonne médiane, on a indiqué les différences de comportement lors du passage de l'un à l'autre niveau de dominance. Une seule de ces valeurs, celle relative au rapport $\text{NO}_3 / (\text{NO}_3 + \text{SO}_4/2)$ est statistiquement valable. Cela signifie que, pour l'ensemble des points expérimentaux relatifs aux proportions successives de ces ions, la courbe qui rend compte de l'évolution des rendements présente une

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

TABLEAU LVI

Influence du niveau de dominance sur la proportion optimale de quatre éléments dans diverses combinaisons binaires.

(Série B, données de poids sec F + T).

$\frac{N}{N+S}$	66,51 ± 5,43	-16,27 ± 8,02	50,24 ± 5,91	$\frac{n}{n+s}$
$\frac{N}{N+P}$	68,86 ± 5,94	-14,34 ± 8,65	54,52 ± 6,29	$\frac{n}{n+p}$
$\frac{N}{N+Cl}$	70,00 ± 6,30	-12,44 ± 9,37	57,56 ± 6,94	$\frac{n}{n+cl}$
$\frac{S}{S+N}$	33,49 ± 5,43	+16,27 ± 8,02	49,76 ± 5,91	$\frac{s}{s+n}$
$\frac{S}{S+P}$	52,75 ± 6,42	+ 1,55 ± 8,13	54,30 ± 4,99	$\frac{s}{s+p}$
$\frac{S}{S+Cl}$	54,15 ± 6,97	+ 3,22 ± 8,98	57,37 ± 5,67	$\frac{s}{s+cl}$
$\frac{Mg}{Mg+K}$	59,66 ± 6,80	- 2,40 ± 12,14	57,26 ± 10,06	$\frac{mg}{mg+k}$
$\frac{Mg}{Mg+Ca}$	47,19 ± 6,19	- 3,48 ± 9,30	43,71 ± 6,94	$\frac{mg}{mg+ca}$
$\frac{Mg}{Mg+Na}$	86,34 ± 11,25	-18,84 ± 15,90	67,50 ± 11,24	$\frac{mg}{mg+na}$
$\frac{Na}{Na+K}$	18,44 ± 14,95	+20,83 ± 20,36	39,27 ± 13,82	$\frac{na}{na+k}$
$\frac{Na}{Na+Ca}$	12,32 ± 10,13	+14,78 ± 17,13	27,10 ± 8,95	$\frac{na}{na+ca}$
$\frac{Na}{Na+Mg}$	13,66 ± 11,25	+18,84 ± 15,90	32,50 ± 11,24	$\frac{na}{na+mg}$

asymétrie assez marquée. De plus, cette asymétrie se situe probablement au voisinage de la dominance azotique.

Considérons la série suivante des traitements. Ils contiennent :

Nc	58,0 % NO ₃	et	14,3 % SO ₄
nc	40,0 % NO ₃	et	20,0 % SO ₄
sc	20,0 % NO ₃	et	40,0 % SO ₄
Sc	14,3 % NO ₃	et	58,0 % SO ₄

ce qui donne pour la somme NO₃ + SO₄, les proportions relatives suivantes :

Nc	80 % NO ₃	et	20 % SO ₄
nc	66 % NO ₃	et	34 % SO ₄
sc	34 % NO ₃	et	66 % SO ₄
Sc	20 % NO ₃	et	80 % SO ₄

et constituent par conséquent une suite de quatre proportions symétriques dans le couple binaire N-S.

Ils fournissent les rendements (F+T) :

Nc	160,1 grammes
nc	128,1 grammes
sc	126,6 grammes
Sc	95,9 grammes.

Si la courbe ne présentait pas d'asymétrie, le traitement Nc fournirait un rendement égal ou inférieur au traitement nc. On constate l'inverse. En prenant en considération les points se rapportant aux traitements nc et sc dans la méthode des variantes systématiques, on commettrait donc l'erreur d'assimiler le début de la courbe, entre les origines et les points expérimentaux symétriques, à sa tangente, alors qu'en fait la droite serait sécante. La proportion définie comme optima serait totalement erronée.

Le même type de renseignements indique, d'autre part, que l'allure de la courbe représentative des rendements pour les proportions successives entre SO₄ et Cl, par exemple, affecte la forme d'une courbe à maximum situé vers le centre du graphique et assez largement étalé.

Au point de vue physiologique, cette constatation permettrait donc de conserver une autonomie assez grande dans le choix de la proportion optima entre ces deux éléments.

En conclusion, on pourrait donc penser :

1° que le choix des points symétriques à prendre en considération n'est pas indifférent;

2° que c'est aux effets de dominance les plus élevés qu'il faudrait faire appel;

3° que le cas des équilibres cationiques peut être séparé de celui des proportions anioniques.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

Enfin, pour la suite des raisonnements, on peut, sans grand risque, faire abstraction des résultats relatifs aux traitements « centraux » de la série B.

E. Confrontation de l'interprétation physiologique et du choix sur une base empirique.

Les conclusions auxquelles on arrive par les deux modes de raisonnement statistique et biométrique, d'une part, et physiologique, d'autre part, ne peuvent être identiques. C'est en fait un aphorisme puisque le premier principe consiste essentiellement à faire état de la meilleure composition ionique parmi une série de traitements dont rien ne permet de croire que la formule optima s'y trouve représentée. Cependant, l'existence d'une zone de composition optima établie permet de voir si l'un des traitements au moins en est suffisamment voisin et de constater ensuite si parmi l'ensemble des traitements il se montre supérieur statistiquement aux autres.

Comparons ci-après les proportions supposées les plus favorables selon les deux modes de raisonnement.

SÉRIE A		
Équivalents anioniques	Proportions optima selon une base	
	empirique	physiologique
NO ₃	40 %	38,3 % ± 6,6
SO ₄ /2	40 %	43,7 % ± 5,2
PO ₄ /2	20 %	18,0 % ± 3,5
Équivalents cationiques		
K	26 %	15,6 % ± 2,4
Ca/2	47 %	52,2 % ± 5,8
Mg/2	27 %	33,2 % ± 5,5

SÉRIE B		
Équivalents anioniques		
NO ₃	53,8 %	42,2 % ± 5,6
SO ₄ /2	15,4 %	21,0 % ± 2,3
PO ₄ /2	15,4 %	18,9 % ± 2,7
Cl	15,4 %	17,9 % ± 3,0
Équivalents cationiques		
K	19,7 %	22,8 % ± 3,4
Ca/2	44,0 %	37,9 % ± 4,3
Mg/2	24,7 %	33,9 % ± 4,5
Na	11,6 %	5,4 % ± 4,4

Les deux interprétations concordent sensiblement. En effet, elles ont en commun l'influence favorable de la dominance azotée, alliée très souvent à la dominance sulfurique, et l'effet déprimant d'une proportion phosphorique supérieure à 20 % du total anionique.

Du côté cationique, elles rendent également compte de l'action dominante de la proportion calcique et des effets dépressifs du sodium et du potassium.

Le fait que les valeurs numériques exactes ne concordent pas pour certains éléments, ne doit pas être retenu. Sur la base de l'interprétation empirique, on peut mettre sur un même plan les traitements à proportion potassique de 20 %, par exemple (valeur dont les deux interprétations se rapprochent également), mais il est impossible de faire entrer dans cette classe ceux à proportion dominante (60 %).

Dans les deux séries B et C où l'on dispose d'un nombre assez élevé de traitements, on remarque que les deux meilleurs (N_c : 160,1 g; aCa : 161,4 g) ont des compositions cationiques fort voisines des optima cationiques et que les proportions anioniques sont analogues à l'équilibre optimum par l'existence d'une dominance azotique. C'est là un commencement de preuve expérimentale de l'exactitude du raisonnement physiologique.

En conclusion, la confrontation des deux types de raisonnement n'infirme pas l'interprétation théorique sur une base physiologique. Les avantages de cette dernière ont d'ailleurs été suffisamment soulignés dans les chapitres précédents pour que l'on puisse admettre comme valables les proportions ioniques données ci-dessus comme étant la représentation des exigences alimentaires du caféier.

F. Influence du quatrième ion.

On a établi les proportions relatives les plus probablement favorables qu'il convient de respecter entre certains ions, dans un cas pris par groupe de trois constituants, dans l'autre par groupe de quatre.

Or si l'on peut reconnaître le caractère plus important des éléments communs à ces deux groupes en leur conférant le qualificatif de « majeurs », les expérimentateurs s'accordent à reconnaître que le sodium et le chlore ne sont pas des éléments « majeurs ».

Pour le chlore tout au moins, et sans préjuger de son sort ultérieur dans la chaîne des synthèses organiques au sein du végétal, on a démontré expérimentalement que l'on ne pouvait le considérer à aucun moment comme un élément mineur. De fait, il intervient à un tel taux dans la composition anionique favorable qu'il se place immédiatement sur le même pied que l'ion sulfurique, par exemple.

En ce qui concerne le sodium, la réponse est plus douteuse. En effet, la proportion sodique optima est de 5,4 % du total cationique.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

La variabilité dont cette valeur est affectée conduit d'une part à 9,8 % (5,4 + 4,4) mais de l'autre à 1,0 %, concentration qui se rapproche singulièrement de celle d'éléments mineurs tel le bore. Enfin, de nombreux auteurs admettent que dans certaines réactions, particulièrement l'échange d'ions entre racines et milieu pédologique, le sodium pourrait remplacer le potassium déficient.

Pour ces diverses raisons, il a paru souhaitable d'étudier de plus près le comportement du végétal à divers niveaux de chacun de ces éléments. On utilisera à cette fin les données pondérales sur base sèche de la partie aérienne (F+T) de la série C et certaines données de la série B, en les introduisant soit dans des confrontations statistiques, soit dans la détermination des équilibres optima.

L'étude doit se faire en deux phases.

Dans la première, on compare l'effet de dominance relative des ions N, S, P, K, Ca et Mg pour un même niveau de Cl et de Na.

Dans la seconde, on étudie sur des équilibres à trois constituants identiques l'effet de taux croissants du quatrième constituant. Ces deux phases sont nécessaires en raison des modifications de proportions optima décelées précédemment en fonction des niveaux de dominance choisis.

Influence du chlore.

En admettant une teneur constante de 14 % de chlore, la composition anionique la plus probablement favorable prend les valeurs suivantes en fonction des niveaux de dominance :

Équivalents anioniques	Niveau de dominance	
	élevé (série B)	faible (série C)
NO ₃	51,9 % ± 6,9	43,4 % ± 4,6
SO ₄ /2	25,4 % ± 3,0	31,0 % ± 3,2
PO ₄ /3	22,7 % ± 3,5	25,6 % ± 2,9

Si maintenant, on étudie le même type de variation de composition pour des niveaux de dominance identiques mais un taux croissant de chlore (de 14 à 20 %), il vient :

Équivalents anioniques	Taux de chlore	
	faible (série C)	élevé (série B)
NO ₃	43,4 % ± 4,6	35,6 % ± 5,2
SO ₄ /2	31,0 % ± 3,2	35,0 % ± 3,2
PO ₄ /3	25,6 % ± 2,9	29,4 % ± 3,3

On constate ainsi que la variation due à l'influence de l'ion chlore est de même nature du point de vue physiologique que celle décrite et étudiée précédemment à propos du choix du niveau de dominance anionique dans la méthode des variantes systématiques. Les variations enregistrées s'inscrivent exactement dans une progression dont elles ne sont en somme qu'un stade intermédiaire. Il paraît difficile, dans ces conditions, d'attribuer à l'ion chlore un comportement physiologique différent dans ses caractères premiers de celui des autres anions étudiés.

De plus, la toxicité de l'ion chlore n'est pas plus importante que celles des autres éléments ainsi qu'il ressort du tableau LVII (p. 99) où les traitements sont comparés par couple. Dans la partie gauche (A) du tableau est estimé l'effet de dominance, dans la partie droite (B) l'effet de concentration en chlore.

En résumé, l'action du chlore est identique dans ses principes à celles des autres éléments ainsi qu'il ressort du tableau LVII (p. 99) l'alimentation minérale ne saurait se concevoir sur la base de certains éléments seulement introduits dans un même mélange, mais bien au départ des proportions relatives de tous les constituants actuellement présents. Faute de ce faire, on doit admettre une discrimination empirique entre les éléments et une méconnaissance des réactions physiologiques du végétal.

Influence du sodium.

Envisageons maintenant l'effet du sodium en établissant tout d'abord les variations des proportions optima :

Équivalents cationiques	Niveau de dominance	
	élevé (série B)	faible (série C)
K	23,5 % ± 3,9	28,0 % ± 4,4
Ca/2	40,5 % ± 4,9	41,4 % ± 4,0
Mg/2	36,0 % ± 5,2	30,6 % ± 4,3

Équivalents cationiques	Taux de sodium	
	faible (série C)	élevé (série B)
K	28,0 % ± 4,4	24,3 % ± 6,1
Ca/2	41,4 % ± 4,0	42,7 % ± 4,9
Mg/2	30,6 % ± 4,3	33,0 % ± 5,9

On constate que l'influence du sodium n'est probablement pas comparable à celle du chlore. En effet, si les variations notées par suite de l'influence du niveau de dominance choisi sont sensibles encore que non significatives, l'augmentation de la concentration relative en so-

TABLEAU LVII

Étude du comportement des ions chlorhydrique et sodique.

Traitement		Effet	
		de dominance	de concentration
		A	B
CHLORE			
Nc	160,1 ± 16,6 g	20,0	-12,5%
N'c	140,1 ± 10,7 g	P = 0,65	
nc	128,1 ± 13,0 g	12,0	-8,6%
Sc	95,9 ± 6,4 g	P = 0,55	
S'c	110,0 ± 7,0 g	14,1	+12,8%
sc	126,6 ± 7,6 g	P = 0,84	
Pc	89,4 ± 7,7 g	16,6	+13,1%
P'c	96,6 ± 6,3 g	P = 0,87	
pc	112,1 ± 7,7 g	7,2	+7,5%
		P = 0,56	
		15,5	+13,8%
		P = 0,86	
SODIUM			
aK	106,0 ± 10,1 g	16,7	-13,6%
aK'	122,7 ± 12,0 g	P = 0,69	
ak	98,8 ± 15,4 g	23,9	-19,5%
		P = 0,75	
aCa	153,9 ± 13,3 g	7,5	+4,6%
aCa'	161,4 ± 10,9 g	P = 0,33	
aca	145,9 ± 12,0 g	15,5	-9,6%
		P = 0,65	
aMg	141,2 ± 14,0 g	11,2	-7,9%
aMg'	130,0 ± 11,9 g	P = 0,47	
amg	121,0 ± 14,8 g	9,0	-6,9%
		P = 0,35	

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

dium a pour effet de ramener les proportions optima des trois autres constituants cationiques du milieu approximativement aux valeurs initiales. A l'inverse de ce que l'on notait pour le chlore parmi les anions, le sodium apparaît comme toxique puisque toute augmentation

TABLEAU LVIII

Étude de la valeur de l'équilibre N : P : K.

Signification des résultats					
Comparaison	Nombre de cas	Certitude d'identité	Présomption		Certitude de différence
			d'identité	de différence	
Recherche de différence					
3 ions					
identiques . . .	8	0	4	4	0
voisins . . .	4	0	2	0	2
Total . . .	12	0	6	4	2
4 ions					
identiques . . .	9	0	2	3	4
voisins . . .	17	0	7	5	5
Total . . .	26	0	9	8	9
3 ions-4 ions					
voisins . . .	32	0	7	15	10
Total . . .	70	0	22	27	21
Recherche d'identité					
3 ions	8	2	6	0	0
4 ions	11	3	8	0	0
Total . . .	19	5	14	0	0

de sa teneur a une action dépressive sur les rendements (tabl. LVII, partie B, sodium). D'après les calculs établis précédemment, la concentration optima ne dépasserait d'ailleurs pas 50 % du total des cations.

Il apparaît donc que le sodium est nettement plus toxique, c'est-à-dire que cette action l'emporte nettement sur les effets favorables qu'il pourrait avoir sur le métabolisme. De plus, la somme $K + Na$ dans l'alimentation cationique n'est pas constante pour tous les niveaux de K ou de Na .

Cette somme vaut 28,2 % (22,8 + 5,4) du total des cations quand le sodium est présent à 58/14 % et 35,0 % (21,3 + 13,7) lorsque sa concentration passe à 40/20 %.

En résumé, il est douteux que le sodium puisse remplacer, ne fût-ce que partiellement, le potassium du point de vue de la physiologie de la plante étudiée, en raison notamment de sa toxicité relative plus élevée.

Enfin, la recherche de l'influence des proportions relatives $N : P : K$ des traitements sur le rendement montre que les conclusions antérieures¹ ne sont nullement modifiées mais au contraire renforcées lorsque l'on fait appel à une composition minérale du milieu extérieur étendue à un plus grand nombre d'éléments.

C'est ce qui apparaît dans la partie du tableau LVIII (p. 100) qui traite des comparaisons à quatre ions et de celles à trois et quatre ions.

De l'ensemble de cet exposé, on conclura donc à l'importance primordiale des proportions relatives de tous les constituants du milieu extérieur, considérés en termes d'équivalence chimique, lors de la définition de l'alimentation minérale d'un végétal.

G. Évolution des proportions ioniques favorables dans le temps.

Par diverses étapes de raisonnement, ont été successivement établis :

- la validité de la méthode des variantes systématiques en se basant sur le principe de l'indépendance large des équilibres optima anionique et cationique;
- les besoins alimentaires du caféier en utilisant cette même méthode;
- le fait que tous les constituants, introduits dans la définition du milieu nutritif, doivent y être pris en considération d'une manière analogue, ceci en comparant la référence équivalente à d'autres modes d'expression connus et en utilisant le principe analytique de la méthode des variantes systématiques.

1. HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale des végétaux. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, - note 2, LXXXIV, p. 101-122, 1951 et HOMÈS, M. V., L'alimentation minérale du cacaoyer, (*Theobroma Cacao* L.) Public. I.N.É.A.C., sér. scient., n° 58, p. 55 (1953).

Il reste encore à retracer le mode d'évolution des proportions le plus probablement favorables en fonction du temps. Une des préoccupations essentielles en effet de tout expérimentateur est de se rendre compte jusqu'à quel point les résultats acquis sont extrapolables au delà des limites tangibles de son expérience. Pour faire de l'extrapolation, il convient tout d'abord de retracer l'histoire détaillée entre les limites connues, c'est-à-dire faire de l'interpolation.

Logiquement, pour ce travail, il faudrait faire appel à des intervalles de temps égaux et à des données pondérales de nature identique à celles utilisées en fin d'essai. Pratiquement, cela revient à multiplier l'expérience décrite par le nombre de points intermédiaires choisis, travail énorme et malheureusement irréalisable avec les moyens matériels dont on dispose.

Les diverses mesures faites en cours d'expérience sur la partie aérienne des végétaux permettent de tourner cette difficulté. On admet que la plante occupe une portion déterminée de l'espace. Pour être satisfaisante, toute combinaison des mesures faites sur le végétal devra donc exprimer un volume, délaissant les mesures simples telles la hauteur ou la largeur ou leur produit.

Une première combinaison de ces deux données, dont l'une élevée au carré, ne permettait pas une approximation suffisante du poids correspondant utilisé comme critère de valeur. Il est probable qu'en dépit des précautions prises, la largeur des plants se soit quelque peu trouvée gênée par le rapprochement de ceux-ci les uns des autres et que cette mesure ne traduisait plus strictement le seul effet de l'alimentation minérale apportée mais aussi celui des conditions particulières de milieu et notamment de la compétition pour la lumière.

On s'est alors adressé à la formule : hauteur (H) \times diamètre du collet au carré (DC²) = poids, assimilant ainsi la plante à un cylindre de hauteur et bases connues.

Cette combinaison donne avec le rendement pondéral sec de la partie aérienne les coefficients de corrélation suivants :

$$r = + 0,973 \text{ pour la série A,}$$

$$r = + 0,997 \text{ pour la série B.}$$

Le tableau LIX (p. 103) reproduit d'autre part les facteurs obtenus pour chaque traitement et leur écart en fonction de la moyenne générale (témoin compris).

L'ordre de grandeur moyen n'est pas supérieur à la variabilité observée en moyenne pour les rendements pondéraux sur base sèche de la partie aérienne. Il y a donc quelque espoir de mener l'enquête à bonne fin sur cette base. Il ne paraît cependant pas que les coefficients, même obtenus dans les essais, soient d'une manière quelconque utilisables dans une autre recherche, que celle-ci soit conduite dans des conditions écologiques identiques (et comment pourrait-on l'apprécier ?)

TABLEAU LIX
Valeur de la combinaison retenue.

		Traitement																
		T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
SÉRIE A	Poids sec F + T Combinaison H × DC*	0,509	0,524	0,573	0,770	0,511	0,466	0,426	0,490	0,458	0,659	0,581	0,464	0,692	0,498	0,469	0,650	0,595
	Écart de ce facteur en % de la moyenne générale 0,5176	1,5	1,3	10,8	48,9	1,1	9,8	17,6	5,2	11,4	27,4	12,3	10,2	33,8	3,6	9,2	25,7	15,0
		Écart moyen 14,4 % Corrélation r = + 0,973																
SÉRIE B	Poids sec F + T Combinaison H × DC*	0,335	0,377	0,333	0,354	0,341	0,372	0,385	0,403	0,659	0,386	0,332	0,347	0,340	0,464	0,380	0,418	0,487
	Écart de ce facteur en % de la moyenne générale 0,3802	11,8	7,8	12,3	6,8	10,2	2,1	1,3	6,0	73,4	1,6	12,6	8,7	10,5	22,1	0,0	10,0	28,1
		Écart moyen 13,2 % Corrélation r = + 0,997																

TABLEAU LX

Évolution de la composition ionique la plus probablement favorable au cours du temps sur la base d'une combinaison de mesures dans la série B.

	Nombre de jours depuis le début de l'alimentation minérale				
	30	66	186	247	308
Composition anionique	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Équivalents :					
NO ₃	33,9 ± 8,6	40,3 ± 11,2	40,5 ± 9,5	40,1 ± 7,4	40,3 ± 6,6
SO ₄ /2	27,2 ± 6,6	25,3 ± 7,6	20,5 ± 5,3	20,1 ± 2,9	21,1 ± 2,4
PO ₄ /3	13,0 ± 1,9	11,1 ± 2,2	15,7 ± 3,7	18,7 ± 3,8	19,0 ± 3,6
Cl	25,9 ± 6,3	23,3 ± 6,7	23,3 ± 5,6	21,1 ± 4,1	19,6 ± 3,5
Composition cationique	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Équivalents :					
K	27,8 ± 7,1	26,2 ± 7,4	24,3 ± 6,6	26,4 ± 5,5	24,6 ± 4,3
Ca/2	29,8 ± 8,5	32,8 ± 9,2	35,0 ± 8,0	36,2 ± 6,8	38,3 ± 5,4
Mg/2	25,1 ± 6,8	26,3 ± 5,7	30,0 ± 6,0	31,1 ± 5,6	32,8 ± 5,2
Na	17,3 ± 5,6	14,7 ± 6,9	10,7 ± 6,1	6,3 ± 4,8	4,3 ± 4,1

ou non. L'écart notable entre les facteurs propres aux séries A et B en est un sûr avertissement. Le principe seul de cette combinaison peut être retenu mais il doit être appliqué avec doigté à des études limitées telles que celle-ci.

Le tableau LX (p. 104) résume les nombreux calculs auxquels on s'est livré pour la série B (huit traitements dominants seulement).

La première constatation qu'il convient de faire porte sur la parfaite concordance des proportions optima estimées par ce qu'on a appelé la combinaison et par les données pondérales (cfr tabl. LIX), confirmant ainsi la valeur du mode de calcul.

En principe, si la population de départ est homogène au moment où l'essai débute et avant qu'il y ait une quelconque action des traitements, les proportions optima ne présentent aucune dominance. On enregistre un premier phénomène, c'est la variation très rapide dans les premiers temps des proportions favorables anioniques, en particulier l'importance de la dominance azotique. On assiste ensuite, parmi les équivalents anioniques, à une sorte de nivellement des différences entre les anions moins importants que l'azote. Par contre, si les différences sont moins accusées au départ entre cations, l'importance relative des ions va croissant avec le temps : ainsi 29,8 % des cations doivent être représentés par du calcul au 30^e jour, mais 38,3 % à la fin de l'essai. De même, le sodium tombe de 17,3 % du total des cations à 4,3 %.

Il semble donc bien que, dans le cas des anions, les effets du métabolisme, dépendant plutôt de la loi d'action des masses, l'emportent généralement sur les actions toxiques de ces éléments. Le phénomène se présenterait différemment pour les cations où l'effet toxique, qui ne se manifeste qu'à la longue, c'est-à-dire par accumulation, équilibrerait nettement les effets des concentrations (masses).

Il est cependant douteux que la toxicité l'emporte définitivement sur le métabolisme sauf dans des cas extrêmes. On peut d'ailleurs illustrer par les figures 5 et 6 cette proposition : celles-ci représentent l'évolution dans le temps du mélange équilibré, soit K-Ca, soit NO₃-PO₄. Pour le couple cationique, l'équilibre est atteint progressivement alors que l'état de régime s'impose tout de suite pour le couple anionique.

En résumé, cette étude a permis de dégager une différence fondamentale d'action des équivalents de l'un et l'autre groupe, qui est généralement sanctionnée par les vocables « éléments constructeurs » *versus* « éléments catalyseurs ». Nous pouvons penser que ce comportement assurerait la continuité des besoins alimentaires anioniques et entraînerait éventuellement une modification des proportions relatives les plus favorables au cours du temps.

Les indications tirées de la série A sont analogues mais ne méritent pas d'être introduites ici en raison de la plus grande variabilité des valeurs trouvées.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

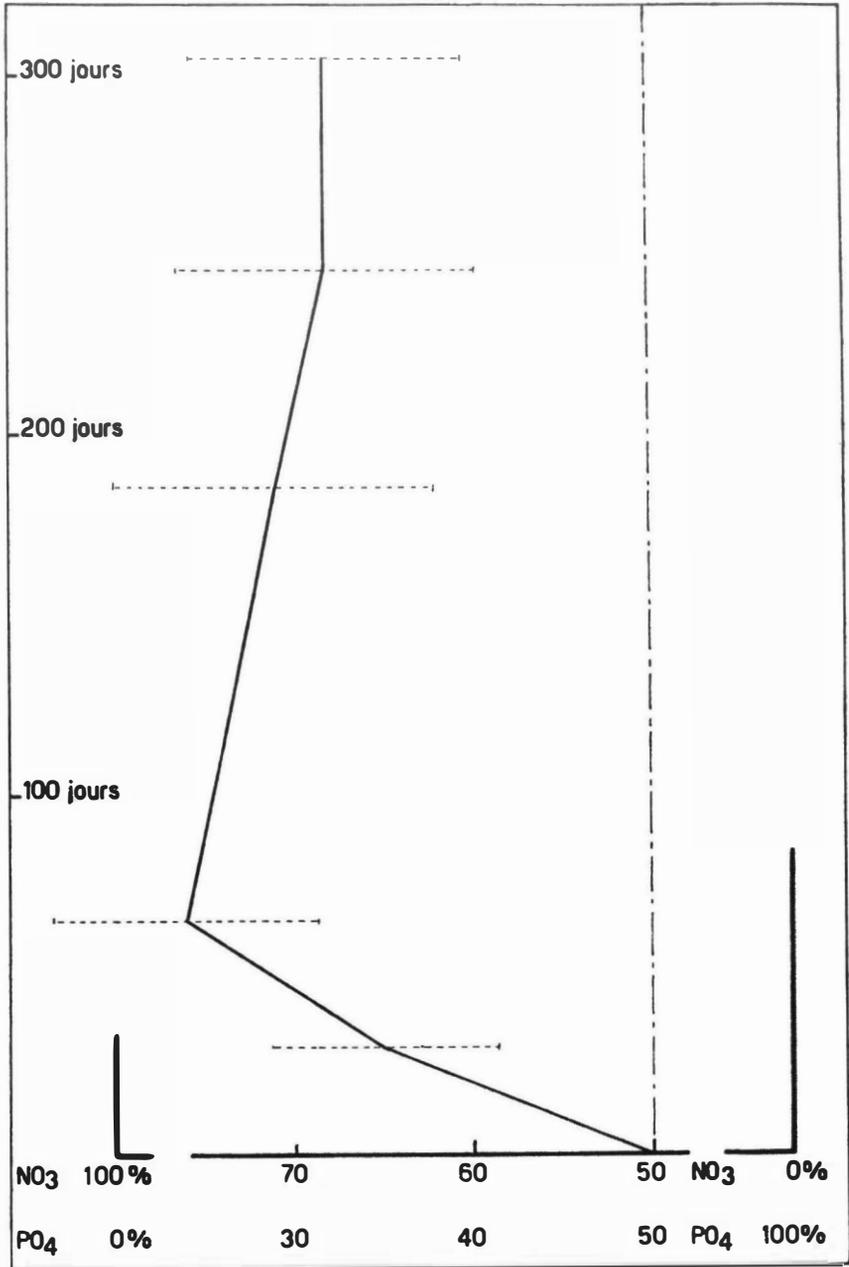


Fig. 5. — Évolution du point équilibré optimum entre NO₃ et PO₄ dans le temps.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU CAFÉIER

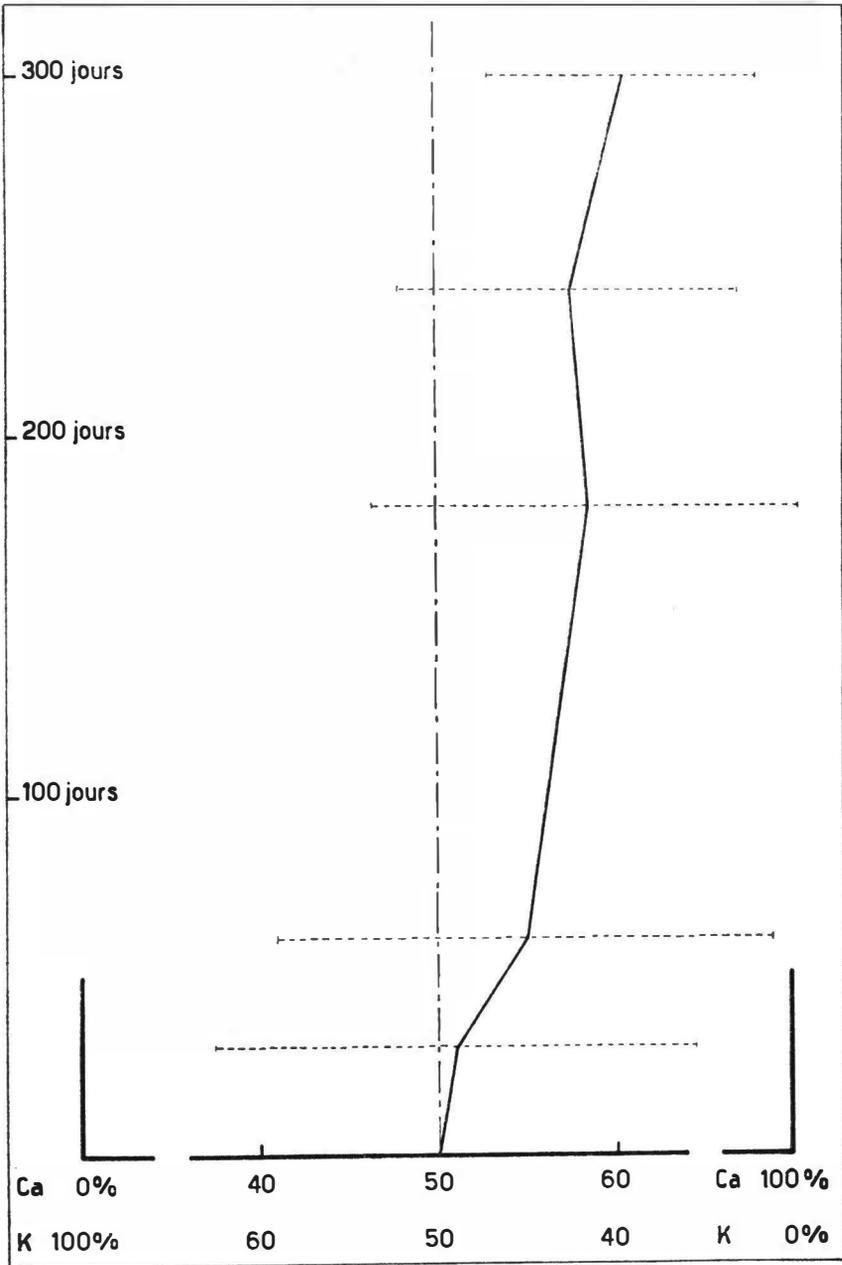


Fig. 6. — Évolution du point équilibré optimum entre K et Ca dans le temps.

IV. FUMURE MINÉRALE DU CAFÉIER

Une expérimentation approfondie, basée sur les principes physiologiques, nous a conduit à établir les besoins alimentaires du caféier aux stades juvéniles.

Selon les notations conventionnelles, ces exigences sont exprimées par les proportions suivantes, le plus probablement favorables entre divers éléments pris sous leur forme équivalente :

Équivalents anioniques	Proportions centésimales	
NO ₃	38,3 % ± 6,6	42,2 % ± 5,6
SO ₄ /2	43,7 % ± 5,2	ou 21,0 % ± 2,3
PO ₄ /3	18,0 % ± 3,5	18,9 % ± 2,7
Cl	—	17,9 % ± 3,0
Équivalents cationiques		
K	15,6 % ± 2,4	22,8 % ± 3,4
Ca/2	52,2 % ± 5,8	ou 37,9 % ± 4,3
Mg/2	32,2 % ± 5,5	33,9 % ± 4,5
Na	—	5,4 % ± 4,4

L'ensemble des données recueillies permet d'admettre que ces caractéristiques ne changeront guère au cours de la période de croissance végétative de la plante. L'étude de l'évolution des proportions optima au cours du temps et la comparaison des besoins propres à divers types d'organes — foliacés *versus* ligneux, formation de bois fructifère et floraison — paraissent concluants.

Les chances de modification des besoins ainsi définis seront vraisemblablement faibles lorsque le caféier atteindra la période de croissance générative et de production proprement dite.

Un argument supplémentaire paraît être que les caféières actuelles accusent non seulement une bonne croissance au départ mais aussi une production suffisamment abondante et constante pour autant que l'ensemble des méthodes culturales convenables soit respecté. L'existence d'une discordance nette, en culture non fumée, entre les phases végétative et générative a été rarement observée lorsque ces prescriptions sont suivies. Les cas connus se rapportent soit à l'interférence de facteurs climatiques, que nous n'avons pas à connaître ici, soit à la détérioration progressive des qualités physico-chimiques du sol par suite de façons culturales inadéquates.

Nous pensons donc, qu'en première approximation et jusqu'à ce que des études ultérieures aient prouvé des modifications de besoins qui ne puissent être mises en rapport avec tel facteur du milieu écologique, pouvoir admettre la constance des exigences alimentaires au cours du temps.

Par contre, le problème de l'évolution des besoins alimentaires en raison des caractères propres du sol reste entier. M. V. HOMÈS d'ailleurs en fait état assez longuement dans un travail sur l'alimentation minérale du cacaoyer ¹.

L'expérience acquise dans ce domaine depuis la publication de cette étude, nous incline à penser que ce sont essentiellement les caractéristiques physico-chimiques des sols qui sont susceptibles d'expliquer les modifications d'exigences alimentaires.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons dès à présent retenir qu'en ce qui concerne les exigences alimentaires d'un végétal donné, le sol peut se montrer soit indifférent, soit efficient. Ces qualités ne sont pas synonymes, dans notre esprit, de sol pauvre ou riche. Un sol riche peut se montrer inefficient dans le cas actuel, lorsque le débit alimentaire qu'il met à la disposition du végétal est identique aux exigences absolues. Son effet sera alors strictement limité au choix de la dose d'engrais à apporter mais non aux proportions optima du mélange. Il va sans dire que de telles eventualités sont rares, mais la richesse du sol s'exprime généralement sous forme de sels solubles directement disponibles indiquant que le complexe adsorbant des éléments argileux qui le composent est fortement saturé. Cette garniture ou saturation étant essentiellement composée d'éléments cationiques, le sol riche contiendra, vraisemblablement, plus de ces éléments qu'il n'est nécessaire à la plante. Nous voyons donc poindre un élément nouveau de l'appréciation de l'effet du sol sur la composition ionique des formules alimentaires qui porterait surtout sur le choix judicieux du rapport à y respecter entre les apports anioniques d'une part et cationiques d'autre part.

En résumé, à côté des modifications que le sol est susceptible d'apporter aux proportions relatives des éléments pris par groupe ionique, il convient de se préoccuper également de la relation entre ces groupes (rapport anions/cations ou A/C).

Notre expérimentation n'a pu envisager l'étude de ce point que nous réservions pour des investigations ultérieures. Cette absence d'éléments expérimentaux propres au caféier n'est cependant pas un obstacle majeur parce qu'il est plus que probable que ce végétal réagisse d'une manière au moins analogue à d'autres.

Toutes les études faites, tous les modes de raisonnement relatifs à la physiologie végétale en général conduisent à une conclusion identique : le rapport A/C des formules alimentaires doit, pour être pleinement efficace, être supérieur à l'unité.

Dans les conditions mêmes de notre étude, ce rapport pourrait être d'environ 1,2 ou plus, en sol *in situ* il atteindrait vraisemblablement 1,5. De ce fait, les anions dont l'importance du point de vue métabolisme du végétal est connue reçoivent une avance nette sur les cations.

1. *Op. cit.*, p. 122.

Il est probable que la connaissance du rapport A/C adéquat dans chaque condition de sol fasse faire dans l'avenir des progrès considérables dans l'utilisation des engrais chimiques et que par suite d'une expérimentation bien conduite dans ce domaine on s'aperçoive que les proportions relatives des ions par groupe seraient moins influencées qu'on ne le croit actuellement à condition d'adopter judicieusement le rapport A/C du sol choisi.

Reprenons maintenant notre raisonnement relatif à l'effet du sol. Il peut être indifférent à l'égard des proportions choisies soit par suite de sa très grande pauvreté chimique en général, soit par suite de l'abondance, au contraire, des sels solubles qu'il contient.

Dans le premier cas, la nature granulométrique, la texture, sera soit nettement sableuse, et dans ce cas les résultats de notre expérimentation y seront directement applicables, soit au contraire argileuse indiquant un sol érodé, vieilli, sans réserves chimiques, mal ou peu saturé, dans lequel toute fumure minérale se montrera peu rentable¹.

Si au contraire, le sol considéré est supposé efficient, son effet portera non seulement sur la fumure, mais aussi sur le comportement du végétal préalablement à celle-ci. Une enquête soigneusement conduite tant sur le végétal que sur le sol superficiel permettra vraisemblablement alors de définir dans quel domaine particulier des modifications sont à craindre et par suite quelles exigences alimentaires particulières sont à respecter. C'est précisément le but de la troisième partie de ce travail de définir les modifications de composition minérale interne du caféier en raison des changements survenus dans le milieu extérieur.

En résumé, il existe indiscutablement des effets dus au sol mais aussi des moyens de les prévoir, encore faibles et imprécis il est vrai.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous pensons pouvoir recommander l'usage des formules décrites plus haut (p. 95) avec un rapport A/C 1,2 à 1,5 environ. On se souviendra également que :

- la proportion chlorhydrique ne devrait vraisemblablement pas dépasser 20 % du total des anions présents;
- sur le plan strictement pratique et en raison de la nature particulière des proportions optima à respecter entre les ions SO_4 et Cl au sein des anions, on pourrait admettre que l'introduction du chlore dans un mélange puisse se faire principalement aux dépens de l'ion sulfurique;
- l'introduction du sodium doit être envisagée comme un pis-aller et que, de toute façon, sa concentration par rapport au total des cations présents ne devrait probablement pas excéder 5 % et certainement pas 10 %.

1. La rentabilité d'une fumure est prise ici sous son sens technique et s'exprime par le nombre de kilogrammes du produit récolté obtenu en excédent sur le témoin pour un kilogramme d'engrais apporté.

TROISIÈME PARTIE

Composition minérale du caféier en fonction du milieu nutritif.

I. EXPOSÉ DES DONNÉES ANALYTIQUES

Pour les pesées à frais et à sec, les différentes parties des végétaux soumis à l'expérience ont été récoltées en prenant soin de tenir les feuilles séparées des tiges et les parties de la tige principale de celles des branches.

Aucun problème d'échantillonnage ne se posait du fait que la totalité de la matière appartenant à chaque classe décrite a été soumise au broyage par traitement.

Le matériel végétal, séché à 100°, a été broyé et tamisé au tamis 0-50 PB jusqu'à passage intégral.

La poudre ainsi obtenue a été soumise à l'analyse suivant les méthodes décrites par GILS ¹.

Les teneurs en azote, soufre, phosphore, potasse, chaux et magnésium ont été déterminées dans de nombreux cas. Elles ont uniformément été exprimées en milliéquivalents ioniques pour 100 g de matière sèche. Ce mode d'expression a été choisi préférentiellement afin d'établir les relations physiologiques qui nous intéressent.

Conventionnellement, tout l'azote dosé a été ramené en milliéquivalents nitriques bien qu'aucune donnée analytique ne nous permette d'affirmer que telle est bien la forme sous laquelle cet élément existe dans le végétal. Comme toute convention elle est arbitraire, ne préjuge cependant pas de la nature anionique éventuelle de cet élément dans la plante.

1. A. GILS, Méthodes rapides d'analyse minérale, C.R. Recherches IRSIA, Bruxelles, 3, p. 115-136 (1950).

TABLEAU LXI

Teneur en milliequivalents pour 100 g de matière sèche.
Feuilles.

Groupement chimique dosé		SÉRIE A																
		Traitement																
		T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
ANIONS																		
NO ₃	104,0	165,1	164,1	160,6	143,9	117,3	141,6	169,1	142,8	152,3	156,3	163,1	167,9	169,1	153,3	161,6	148,2	
SO ₄ /2	9,5	7,8	9,9	9,4	9,5	10,4	9,3	2,4	10,2	10,9	10,7	11,0	10,6	9,1	10,7	11,2	9,6	
PO ₄ /3	20,5	33,8	30,2	34,2	29,1	26,7	28,8	60,0	48,2	63,1	40,2	35,5	49,4	23,8	30,6	55,5	40,5	
Total	134,0	206,7	204,2	204,2	182,5	154,4	179,7	241,5	201,2	226,3	207,2	209,6	227,9	202,0	194,6	228,3	198,3	
CATIONS																		
K	73,0	115,0	79,3	70,5	98,0	65,6	59,4	107,9	79,7	73,6	114,7	77,1	74,6	75,6	76,7	96,5	86,5	
Ca/2	63,0	29,1	64,1	40,9	28,1	55,0	35,1	43,0	54,3	38,9	29,1	63,0	38,4	37,9	46,2	43,5	45,7	
Mg/2	5,0	25,7	24,4	46,7	22,3	19,9	46,2	25,9	29,4	50,6	22,0	24,8	54,4	32,0	31,7	40,0	36,6	
Total	141,0	169,8	167,8	158,1	148,4	140,5	140,7	176,8	163,4	163,1	165,8	164,9	167,4	145,5	154,6	180,0	168,8	
Total anions et cations	275,0	376,5	372,0	362,3	330,9	294,9	320,4	418,3	364,6	389,4	373,0	374,5	395,3	347,5	349,2	408,3	367,1	
Total sans N	171,0	211,4	207,9	201,7	187,0	177,6	178,8	249,2	221,8	237,1	216,7	211,4	227,4	178,4	195,9	246,7	218,9	

TABLEAU LXII

Teneur en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche.
Tiges.

Groupement chimique dosé		SÉRIE A															
		Traitement															
T		N K	N Ca	N Mg	S K	S Ca	S Mg	P K	P Ca	P Mg	a K	a Ca	a Mg	Nc	Sc	Pc	ac
ANIONS	NO ₃	38,0	77,6	62,0	62,2	38,6	59,7	54,1	53,3	61,8	83,6	57,0	73,8	64,6	53,1	66,3	57,7
	SO ₄ /2	4,0	4,6	2,4	3,3	4,2	3,3	3,8	3,5	4,3	5,3	4,1	5,0	4,0	4,2	4,3	4,0
	PO ₄ /3	10,0	11,1	6,4	12,0	10,3	9,2	22,2	15,6	24,5	14,3	12,6	19,0	9,2	10,6	18,2	14,7
Total		52,0	93,3	70,8	77,5	53,1	72,2	80,1	72,4	90,6	103,2	73,7	97,8	77,8	67,9	88,8	76,4
CATIONS	K	17,0	40,6	26,5	28,6	39,1	26,9	32,8	28,4	30,4	39,0	26,5	26,3	36,7	29,8	35,6	34,8
	Ca/2	30,0	18,4	28,5	15,9	21,7	11,4	21,2	21,0	15,0	18,1	25,4	20,0	16,0	17,6	18,0	17,3
	Mg/2	6,0	18,9	12,4	22,7	8,7	17,5	15,4	13,3	25,3	16,7	13,2	22,8	17,2	15,6	22,8	18,4
Total		53,0	77,9	67,4	67,2	52,5	55,8	69,4	62,7	70,7	73,8	65,1	69,1	69,9	63,0	76,4	70,5
Total anions et cations		105,0	171,2	138,2	144,7	105,6	128,0	149,5	135,1	161,3	177,0	138,8	166,9	147,7	130,9	165,2	146,9
Total sans N		67,0	93,6	76,2	82,5	67,0	68,3	69,4	81,8	99,5	93,4	81,8	93,1	83,1	77,8	98,9	89,2

TABEAU LXIII

*Teneur en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche.
Feuilles.*

Groupement chimique dosé		SÉRIE B									
		Traitement									
	T	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa		
Anions	NO ₃	88,5	163,2	130,3	121,5	108,9	192,4	166,0	178,2	187,6	
	SO ₄ /2	8,6	7,6	7,3	7,7	5,5	8,7	7,3	7,1	11,2	
	PO ₄ /3	18,9	19,8	21,3	44,6	18,5	20,8	20,3	26,7	23,3	
	Total	116,0	190,6	159,4	173,8	132,9	221,9	193,6	212,0	222,1	
Cations	K	62,2	75,5	72,8	76,6	69,4	120,6	62,7	59,1	91,3	
	Ca/2	81,9	59,1	61,2	45,7	66,3	29,4	90,3	51,9	48,8	
	Mg/2	8,5	38,8	29,9	34,6	35,4	13,3	25,7	60,2	26,5	
	Total	152,6	173,4	163,9	156,9	171,1	163,3	178,7	171,2	166,6	
Total anions et cations		268,6	364,0	323,3	330,7	304,0	385,2	372,3	383,2	388,7	
Na		1,6	1,4	—	1,5	—	1,5	1,7	1,1	7,7	

TABLEAU LXIV

Teneur en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche.

Tiges.

Groupement chimique dosé		SÉRIE B									
		Traitement									
		T	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa	
Anions	NO ₃	28,0	43,5	32,6	32,0	30,0	53,5	41,9	40,2	48,8	
	SO ₄ /2	2,9	3,3	3,1	2,3	1,8	3,1	3,4	3,8	3,6	
	PO ₄ /3	8,6	7,0	11,8	14,9	9,6	8,1	5,7	7,3	8,0	
	Total	39,5	53,8	47,5	49,2	41,4	64,7	51,0	51,3	60,4	
Cations	K	19,0	25,2	25,5	26,4	25,8	39,2	24,3	25,2	27,6	
	Ca /2	24,9	16,1	19,7	13,6	17,2	17,7	25,4	11,7	21,5	
	Mg/2	4,6	12,5	11,4	13,1	10,6	9,4	8,9	16,3	10,7	
	Total	48,5	53,8	56,6	53,1	53,6	66,3	58,6	53,2	59,8	
Total anions et cations		88,0	107,6	104,1	102,3	95,0	131,0	109,6	104,5	120,2	
Na		—	2,6	—	2,4	—	2,0	3,8	3,6	7,8	

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

La précision analytique n'est pas donnée, mais doit être, d'une manière générale, de l'ordre de 5 pour cent.

Certaines données plus particulièrement importantes seront exprimées en termes élémentaires plus courants afin de faciliter la comparaison avec les données recueillies par d'autres expérimentateurs.

TABLEAU LXV

Teneur en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche.

Racines.

SÉRIE B				
Traitement	Groupement chimique dosé (anions)			
	NO ₃	SO ₄ /2	PO ₄ /3	Total
T	80,0	19,7	10,5	110,2
Nc	111,0	21,0	11,5	143,5
Sc	84,0	32,2	15,3	131,5
Pc	88,2	25,5	24,2	137,9
Clc	89,2	23,0	11,0	123,2
aK	117,0	21,7	9,5	148,2
aCa	104,8	22,0	22,5	149,3
aMg	107,0	20,8	12,5	140,3
aNa	100,5	18,0	9,5	128,0

Toutes les données analytiques relatives aux essais A et B figurent aux tableaux LXI à LXV (pp. 112-115).

On remarquera que la distinction entre branches et tige principale n'y apparaît pas, étant fondue dans la seule notion de matériel foliacé et matériel ligneux.

II. INTERPRÉTATION DES DONNÉES ANALYTIQUES

A. Remarques générales.

Dans une étude antérieure sur le cacaoyer ¹, M. V. HOMÈS et G. VAN SCHOOOR ont traité assez longuement du point fondamental du mode de référence utilisé et du mode d'expression des éléments dosés.

En ce qui concerne le premier, nous avons adopté la référence au poids sec comme étant celle le plus généralement admise et celle qui tient le mieux compte des méthodes actuelles de dosage des éléments.

Il est bien clair cependant que du point de vue de la physiologie végétale la référence à la matière fraîche aurait une importance plus grande.

La concentration élémentaire sur la base des cendres introduit une variabilité supplémentaire analogue à celle de la référence du poids frais puisque les teneurs en cendres sont calculées au départ du poids sec. Mais de plus, la détermination même des cendres entraîne généralement une certaine perte de substances volatiles aux températures d'incinération.

Nous présentons donc uniformément nos données analytiques sur base de la matière sèche.

En ce qui concerne le mode d'expression, notre façon de traduire les effets du milieu extérieur sur la composition interne par le truchement des équivalents-grammes ioniques est adoptée par maints expérimentateurs dans des travaux récents, à tout le moins en ce qui concerne les cations.

Les teneurs en oxyde et anhydride ne sont pratiquement plus utilisées actuellement en ce qui concerne les matières végétales. Il n'en sera pas fait mention dans le présent travail.

Un premier coup d'œil sur les données analytiques montre que les feuilles ont un contenu total considérablement plus élevé que les parties ligneuses (environ 2,5 fois). Ce phénomène traduit l'importance de cet organe dans la physiologie de l'élaboration des matières organiques de la plante et justifie le grand intérêt que nous y avons apporté jusqu'ici.

On remarque ensuite qu'en dépit de certaines différences apparaissant entre les teneurs d'un même élément dans les divers traitements, les teneurs en azote, soufre et phosphore sont peu variables, à l'exception toutefois du témoin. Ceci est surtout vrai pour les feuilles.

Cette constatation relative au témoin s'impose aussi bien dans la série A que dans la série B. Elle justifie l'élimination des valeurs relatives

1. *Op. cit.*, p. 80-82.

à ce traitement lors du calcul des teneurs moyennes entre tous les traitements expérimentaux.

D'ailleurs, cette solution est plus prudente en l'absence d'éléments de connaissance suffisants relatifs à ce milieu.

B. Proportions relatives des éléments dosés.

A partir des données analytiques, nous pouvons calculer les proportions centésimales des différents constituants minéraux. Dans les tableaux LXVI et LXVII (pp. 119-120) ainsi obtenus, nous avons respecté la distinction entre anions et cations établie précédemment.

On constate ainsi (tabl. LXVI) que dans la série A on obtient une constance de composition anionique assez remarquable touchant les feuilles, pour pouvoir admettre que ce caractère appartient à l'espèce, et ne définit qu'ensuite le milieu extérieur.

Ces données confirment l'hypothèse que M. V. HOMÈS a formulée dans son étude sur l'alimentation minérale du cacaoyer ¹; cette hypothèse, comme le rapporte G. VAN SCHOOR ², se révéla également applicable au palmier à huile.

Par contre, les proportions relatives des cations traduisent nettement des effets de traitement, tant sur les parties ligneuses que sur les feuilles, et par suite sur la composition entière de la plante.

Le rapport du total des anions au total des cations (rapport A/C) dans les deux types d'organes est renseigné au tableau LXVIII (p. 121). Les traitements sont chaque fois classés en ordre décroissant de qualité sur la base du rendement pondéral sec de la partie aérienne.

On constate ainsi que les feuilles présentent régulièrement un rapport A/C supérieur à celui des parties ligneuses. Ce rapport est toujours supérieur à l'unité, sauf en ce qui concerne le traitement témoin.

Dans la série B, la supériorité du rapport A/C des feuilles sur celui des tiges se maintient. Mais le niveau moyen se situe plus bas dans ce dernier type d'organes. Nous avons placé entre parenthèses certaines valeurs parce que ne tenant pas compte de la teneur en Cl qui pourrait se révéler non négligeable et par la suite influencer le calcul.

Il est probable que le rapport A/C plus élevé dans les feuilles traduise la présence constante dans ces organes de matériaux d'origine minérale non encore élaborés dont le lieu de stockage ultérieur serait normalement les tiges en attendant la maturation des fruits. La concentration moyenne en éléments d'origine minérale y est donc moind-

1. *Op. cit.*, p. 33-34.

2. G. VAN SCHOOR, Composition minérale du palmier à huile *Elaeis guineensis* JACQ. en fonction du milieu nutritif, C. R. V^e Congrès Int. Sci. Sol, Léopoldville, 16-22 août 1954, III, p. 335 (1955).

TABLEAU LXVI

Rapport entre anions ou cations en pour cent de leur total respectif.

SÉRIE A																	
Traitement	T	NK	NCa	NMg	SK	SCa	SMg	PK	PCa	PMg	aK	aCa	aMg	Nc	Sc	Pc	ac
<i>Feuilles.</i>																	
NO ₃ .	78	80	80	79	79	76	79	70	71	67	75	79	74	84	79	71	75
SO ₄ .	7	4	5	4	5	7	5	5	5	5	6	4	4	4	5	5	5
PO ₄ .	15	16	15	17	16	17	16	25	24	28	19	17	22	12	16	24	20
K . .	52	68	47	45	66	47	42	61	49	45	69	47	45	52	50	54	51
Ca . .	45	17	38	26	19	39	25	24	33	24	18	38	23	26	30	24	27
Mg . .	3	15	15	29	15	14	33	15	18	31	13	15	32	22	20	22	22
<i>Tiges.</i>																	
NO ₃ .	73	83	88	80	78	73	83	68	74	68	81	77	75	83	78	75	76
SO ₄ .	8	5	4	5	7	8	4	4	5	5	5	6	6	5	6	5	5
PO ₄ .	19	12	9	15	15	19	13	28	21	27	14	17	19	12	16	20	19
K . .	32	52	39	43	54	43	48	47	45	42	53	41	38	53	47	46	49
Ca . .	57	24	42	23	30	40	20	31	33	21	25	39	29	23	28	24	25
Mg . .	11	24	19	34	16	17	32	22	22	37	22	20	33	24	25	30	26

TABLEAU LXVII

Rapport entre anions ou cations en pour cent de leur total respectif.

SÉRIE B

Groupement chimique dosé	Traitement										Organes
	T	Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa		
Anions	76	86	82	70	82	87	86	84	84		Feuilles
	8	4	5	4	4	4	4	3	6		
	16	10	13	26	14	9	10	13	10		
Cations	41	44	44	49	41	74	35	35	55		Feuilles
	54	34	37	29	39	18	51	30	29		
	5	22	19	22	20	8	14	35	16		
Anions	71	81	69	65	72	83	82	79	81		Tiges
	7	6	6	5	5	4	7	7	6		
	22	13	25	30	23	13	11	14	13		
Cations	39	47	45	50	48	59	41	47	46		Tiges
	51	30	35	26	32	27	43	22	36		
	10	23	20	24	20	14	16	31	18		

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXVIII

*Rapport entre les totaux d'anions et les totaux de cations.**(Rapport A/C).*

SÉRIE A			SÉRIE B		
Traitement	Feuilles	Tiges	Traitement	Feuilles	Tiges
S Ca	1,099	1,011	Nc	1,099	1,000
Nc	1,388	1,113	aCa	1,083	0,870
S Mg	1,277	1,293	aMg	1,238	0,964
N Ca	1,217	1,050	aK	1,358	0,975
aCa	1,271	1,132	Sc	(0,972)	(0,839)
Sc	1,258	1,077	Pc	1,107	(0,926)
P Ca	1,281	1,154	Clc	(0,776)	(0,772)
ac	1,174	1,083	aNa	1,333	1,010
N Mg	1,291	1,153	T	0,760	0,814
aMg	1,361	1,415			
aK	1,249	1,398			
P Mg	1,387	1,281			
N K	1,217	1,197			
S K	1,229	1,166			
Pc	1,268	1,162			
T	0,950	0,981			
P K	1,366	1,154			

dre. Les substances de réserve étant vraisemblablement glucidiques, la proportion d'éléments anioniques doit y être plus faible que dans les feuilles. Il ne s'agit bien entendu ici, que d'une hypothèse qui devrait être vérifiée par la détermination parallèle de la nature des composés organiques et de la fraction de l'azote et du phosphore.

Dans la série B, alors que les teneurs anioniques semblent assez variables, les proportions entre l'azote, le soufre et le phosphore subissent assez peu les modifications de composition anionique du milieu extérieur, confirmant ainsi notre conception. Il ne semble pas que la teneur plus faible en azote dans les feuilles des plantes du traitement Clc puisse même être retenue comme interprétable, la valeur devant

être comparée à celles des traitements P_c et S_c à même niveau d'azote dans le milieu extérieur.

Il est délicat de lier une variation possible du rapport A/C à la qualité du traitement. Tout au plus pourrait-on penser qu'il existe une tendance à l'augmentation du rapport A/C lorsque la qualité du traitement baisse. Ce phénomène traduirait alors ce que plusieurs expérimentateurs nomment une « consommation de luxe », entendant par là que la plante accumule dans ses tissus une plus grande quantité d'éléments que ce qui lui est réellement nécessaire au maintien d'un fonctionnement normal. Outre le fait que l'appréciation exacte de ces quantités apparaît délicate, on reconnaîtra aisément que le terme « consommation de luxe » appliqué à un phénomène d'accumulation paraît assez peu judicieux. En effet, le vocable consommation porte en lui l'idée d'utilisation, de modification par l'usage et même de destruction dans un but utile qui n'est certes pas commune au phénomène décrit. Le mot thésaurisation conviendrait certainement mieux dans ce cas.

En résumé, nous retiendrons de cette étude que :

- le rapport A/C des feuilles est toujours supérieur à celui des tiges ;
- dans les deux organes, les variations de ce quotient pourraient être liées à la qualité du traitement, point qu'il conviendrait d'élucider expérimentalement.

C. Étude de la variabilité.

Il n'entre pas dans l'objet de ce paragraphe de faire l'étude de la variabilité des méthodes d'analyse (dont nous avons dit qu'elles fournissaient des résultats reproductibles à 5 % près), ni de l'hétérogénéité du matériel végétal (susceptible d'influencer les moyennes faisant l'objet des tableaux analytiques antérieurs), mais bien d'estimer l'ordre de grandeur des variations possibles en fonction des traitements appliqués.

Ainsi, nous avons établi la teneur moyenne en chacun des éléments étudiés dans les feuilles et dans les tiges des plants de la série A, abstraction faite du témoin. Cette série se prêtait mieux à cette analyse que la série B tant en raison du nombre de traitements disponibles que de l'ensemble des données recueillies.

Le tableau LXIX (p. 123) reproduit la valeur moyenne des teneurs, l'écart moyen en pour cent de cette moyenne, écart provoqué par l'effet des traitements, et l'écart extrême de la moyenne.

On constate ainsi que la variabilité est plus grande dans les tiges que dans les feuilles en ce qui concerne les anions et que la situation est inverse pour les cations. On peut en conclure que les traitements affectent plus particulièrement la composition anionique des tiges et la composition cationique des feuilles.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

Si l'on veut établir l'effet d'un traitement par l'analyse chimique en rapportant les données analytiques à des normes préétablies, c'est surtout à l'analyse cationique des feuilles ou anionique des tiges que l'on peut espérer demander la réponse.

TABLEAU LXIX

Étude de la variabilité.

Groupement chimique dosé			SÉRIE A					
			Feuilles			Tiges		
			Moyenne	Écart moyen (%)	Écart extrême (%)	Moyenne	Écart moyen (%)	Écart extrême (%)
Sur 100 g de matière sèche	Anions	NO ₃	154,8	6,6	24,0	61,9	12,0	38,0
		SO ₄ /2	10,2	7,9	23,0	4,1	14,1	42,0
		PO ₄ /3	39,4	25,9	60,0	13,9	28,2	60,0
		Total	204,4	7,0	24,0	79,9	10,7	34,0
	Cations	K	84,4	18,0	34,0	31,5	15,0	29,0
		Ca ₂ /2	43,3	19,9	47,0	19,1	16,2	49,0
		Mg ₂ /2	33,3	28,2	63,0	17,0	21,6	49,0
		Total	161,0	6,6	19,0	67,6	7,4	23,0

On remarquera de plus que les variations de teneurs en cations dans les feuilles ont une nette tendance à se compenser mutuellement ainsi qu'il apparaît dans le coefficient de variabilité plus faible du total des cations dans cet organe. Cette compensation s'exerce moins dans les tiges.

Ainsi il existe dans les feuilles, une assez bonne constance de composition anionique, une excellente constance de teneur totale en cations et, enfin, la variabilité de la composition cationique sous l'effet des traitements y est maximum.

D. Influence du milieu extérieur sur les données analytiques.

Rechercher l'influence des divers composantes du milieu nutritif sur la composition interne de la plante en la réduisant à ses éléments premiers paraît délicat à entreprendre sur la base des tableaux LXVI et LXVII.

Aussi avons-nous réduit les données en groupant les traitements d'après la dominance d'un anion ou d'un cation et en calculant alors la teneur moyenne observée pour ces traitements.

TABLEAU LXX

Influence des traitements sur la composition des plantes.

Feuilles.

(Teneur en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche).

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	164,7	139,0	156,5	158,6	146,8	155,6
	SO ₄ /2	9,0	10,0	11,2	10,1	10,4	10,0
	PO ₄ /3	30,5	28,8	56,7	40,8	35,1	43,9
	Total	204,2	177,8	224,4	209,5	192,3	209,5
Cations	K	85,1	74,9	89,4	108,9	75,4	69,5
	Ca/2	43,0	41,1	44,9	32,3	59,1	38,3
	Mg/2	32,2	30,0	36,5	24,0	24,6	49,5
	Total	160,3	146,0	170,8	165,2	159,1	157,3
Total général		364,5	323,8	395,2	374,7	351,4	366,8

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

Exemple :

La donnée 164,7 figurant en tête de la première colonne du tableau LXX, est la moyenne des teneurs en NO₃ dans tous les traitements où NO₃ est dominant à 60 % dans le total des anions, c'est-à-dire : tableau LXI première ligne, teneur en azote : 165,1 (NK), 164,1 (NCa), 160,6 (NMg) et 169,1 (Nc) soit au total 658,9 et en moyenne 164,725 ou 164,7.

TABLEAU LXXI

Influence des traitements sur la composition des plantes.

Tiges.

(Teneurs en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche).

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	66,6	54,3	58,9	70,3	52,7	64,4
	SO ₄ /2	3,6	4,4	4,0	4,9	3,6	4,0
	PO ₄ /3	9,7	10,6	20,1	15,0	11,2	16,2
	Total	79,9	69,3	83,0	90,2	67,5	84,6
Cations	K	33,1	29,6	31,8	37,9	26,0	28,0
	Ca/2	19,7	18,0	18,8	19,9	24,0	15,6
	Mg/2	17,8	13,3	19,2	15,6	11,9	22,1
	Total	70,6	60,9	69,8	73,4	61,9	65,7
Total général		150,5	130,2	152,8	163,6	129,4	150,3

De même, la valeur 158,6 (tabl. LXX, première ligne, 4^e colonne) rend compte de l'effet du potassium dominant dans le milieu extérieur à partir des valeurs suivantes (tabl. LXI, première ligne) : 165,1 (NK), 143,9 (SK), 169,1 (PK), 156,3 (aK) soit 634,4 au total et 158,6 en moyenne. On remarquera que les neuf premiers traitements sont utilisés deux fois au total dans ce calcul pour chaque teneur élémentaire, alors que les six traitements suivants ne représentant qu'une seule dominance ionique n'y figurent qu'une fois.

Le dernier traitement (ac) et le témoin ne sont pas pris en considération.

1. TENEURS PROPREMENT DITES

Nous renvoyons le lecteur aux tableaux LXX et LXXI pour ce qui concerne les valeurs absolues et aux tableaux LXXIV et LXXV où ces données sont fournies en pour cent des valeurs moyennes établies précédemment (cfr tabl. LXIX).

Ces tableaux facilitent la compréhension des phénomènes. On ne perdra pas de vue que le total des pourcentages suivant une même ligne n'atteint que rarement la valeur de 600, en raison du mode de calcul des données.

Teneurs en anions.

TOTAL DES ANIONS :

Dans les feuilles, les variations de ce total par rapport à la moyenne sont inférieures à celles observées dans les tiges sous l'influence des diverses dominances anioniques. L'effet des diverses dominances cationiques est net sur la variabilité de cette valeur dans les tiges.

L'importance de la composition cationique du milieu extérieur est ainsi confirmée.

Teneur en azote.

Dans les feuilles, la plus forte teneur en azote se rencontre lorsque cet élément est dominant. Il y a lieu de remarquer que l'ion sulfurique dominant a un effet dépressif important sur la teneur en azote des feuilles. Cet effet dépressif s'étend d'une manière générale à toutes les teneurs élémentaires et même à tous les organes.

Par contre, la teneur en soufre varie moins que les autres éléments.

Il convient de retenir cette diminution de l'accumulation des éléments nutritifs en présence d'une dominance sulfurique, notamment si l'on doit corriger une insuffisance éventuelle d'un élément cationique isolément. En général, et c'est notamment le cas pour le potassium

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

et pour le magnésium, on fait appel au sel sulfurique de ces corps comme étant moins coûteux. Nous savons maintenant qu'une telle pratique peut modifier défavorablement la concentration absolue d'autres éléments.

D'autre part, la teneur en azote varie assez sensiblement et en sens inverse sous l'influence des dominances potassique et calcique. Le rapport entre ces deux cations (K/Ca) joue donc, vraisemblablement, un rôle considérable dans l'absorption et l'utilisation de l'azote dans la plante.

Il ne semble pas que le magnésium intervienne d'une manière directe et, à première vue, il n'influence pas la nutrition azotée du caféier, du moins lorsqu'il est présent en quantités suffisantes.

Teneur en soufre.

Un des éléments les moins variables dans la plante et sa concentration y est toujours assez négligeable malgré sa présence dans le milieu extérieur.

Teneur en phosphore.

C'est de loin l'élément dont la teneur dans la plante est la plus variable en fonction du milieu nutritif.

L'amplitude des variations dans les tiges, légèrement supérieure à celle dans les feuilles, est telle que l'on rencontre des concentrations de phosphore dans les tiges aussi importantes que dans les feuilles pour certains traitements alors que le niveau azoté y est constamment inférieur.

La présence de l'ion phosphorique à l'état dominant dans le milieu extérieur augmente notablement les concentrations internes en cet élément, sans que cette augmentation porte préjudice, semble-t-il, aux teneurs des autres éléments, qui voient leur niveau également relevé.

Les variations de la teneur en phosphore sont également fonction de la composition cationique du milieu. On remarquera que les ions potassium et magnésium favorisent l'accumulation du phosphore dans les feuilles et surtout dans les tiges alors que le calcium la déprime. Il est probable que le rapport Ca/Mg, et peut-être aussi le rapport Ca/(K + Mg) conditionne, en grande partie, cette absorption.

Teneurs en cations.

TOTAL DES CATIONS :

Les variations de ce total sont moindres que celles du total des anions. On peut donc utiliser ce terme comme base de comparaison de l'effet des traitements appliqués.

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

On notera cependant que le potassium dominant entraîne une augmentation assez notable de cette valeur.

Teneur en potassium.

A part l'effet dépressif de l'ion sulfurique sur l'accumulation du potassium, il semble que des variations importantes de teneur en cet élément ne doivent pas être redoutées en fonction de la composition anionique du milieu.

Si les feuilles contiennent plus de potassium lorsque le phosphore domine, par contre les tiges accumulent plus de potassium en présence d'une forte concentration nitrique. Il y a donc là une sorte d'équilibre dans la répartition du potassium au sein de la plante, mais guère d'influence prépondérante des anions sur sa teneur totale.

Un fait analogue existe pour les cations Ca et Mg dont l'effet négatif sur l'accumulation du potassium est très marqué. Enfin, la teneur

TABLEAU LXXII

Influence des traitements sur la composition des plantes.

Feuilles.

(Rapport entre anions ou cations en pour cent de leur total respectif.)

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	81	78	70	76	76	74
	SO ₄ /2	4	6	5	5	6	5
	PO ₄ /3	15	16	25	19	18	21
Cations	K	53	51	52	66	47	44
	Ca/2	27	28	26	20	37	24
	Mg/2	20	21	22	14	16	32
Rapport A/C		1,273	1,217	1,313	1,268	1,208	1,331

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXIII

*Influence des traitements sur la composition des plantes.**Tiges.**(Rapport entre anions ou cations en pour cent de leur total respectif).*

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	83	78	71	78	78	76
	SO ₃ /2	5	7	5	5	5	5
	PO ₄ /3	12	15	24	17	17	19
Cations	K	47	49	46	52	42	43
	Ca/2	28	29	27	27	39	23
	Mg/2	25	22	27	21	19	34
Rapport A/C		1,131	1,137	1,189	1,228	1,090	1,287

en potassium, tant dans les feuilles que dans les tiges, croît lorsque sa concentration dans le milieu augmente.

Ainsi, il semble que le rapport $K/(Ca + Mg)$ joue un rôle important dans les variations de la teneur en potassium dans la plante.

Teneur en calcium.

On observe l'augmentation de la teneur en calcium sous l'effet de la dominance calcique dans le milieu extérieur.

Toutefois, la dominance magnésique déprime la teneur en calcium des feuilles, suggérant l'effet probable du rapport Ca/Mg sur la concentration en calcium.

La composition anionique du milieu nutritif n'influence pas la teneur en calcium de la plante; un effet légèrement favorable pourrait être attribué à l'ion phosphorique.

Du point de vue pratique, nous avons vu antérieurement que le taux de phosphore dans la plante peut être relevé par apport de phosphate. Toutefois la forme sous laquelle ce supplément sera distribué peut revêtir une importance considérable. En effet, la fraction cationique de cet apport, généralement calcique, pourrait, si elle est mal équilibrée par les autres éléments, d'une part nuire à l'absorption du phosphore (effet de la dominance calcique sur le teneur en phosphore), d'autre part modifier le rapport K/Ca et Ca/Mg dans la plante (tabl. LXXII et LXXIII).

Teneur en magnésium.

La teneur en magnésium est influencée par la dominance de l'ion phosphorique, de même que par la prépondérance du magnésium dans le milieu extérieur.

D'autre part, la dominance magnésique agit favorablement sur l'accumulation de l'ion phosphorique dans le végétal.

On serait assez tenté de croire que les mouvements de ces deux ions soient parallèles dans les organes de la plante. Il est évidemment difficile d'admettre, sur la base des seules données analytiques, que ce parallélisme puisse être autre chose qu'une simple coïncidence, une liaison sous une forme chimique définie du type phytine, par exemple. Cette hypothèse du déplacement commun des ions phosphorique et magnésique a été émise par LOEW et nous avons pu en donner une démonstration partielle lors de l'étude sur *Lycopersicum esculentum*.

Il semble ainsi que certaines carences phosphoriques observées chez le caféier et le palmier à huile en Afrique aient comme cause primaire la déficience magnésique dans le milieu extérieur.

Signalons enfin, l'effet nettement dépressif de la dominance calcique sur la teneur en magnésium dans les tiges et conjointement de celle des ions calcium et potassium sur le magnésium dans les feuilles. Dans le premier cas, intervient le rapport Ca/Mg alors que dans le second ce serait plutôt le rapport $K + Ca/Mg$.

2. PROPORTIONS RELATIVES DES ÉLÉMENTS DANS LA MATIÈRE VÉGÉTALE

a. Proportions relatives des anions.

Les proportions relatives entre anions sont pratiquement invariables en fonction de la composition cationique du milieu extérieur, tant en ce qui concerne l'effet du magnésium sur le rapport N/P.

L'examen des tableaux LXXII et LXXIII montre également que la proportion du soufre dans l'ensemble anionique est, à la fois, peu importante et peu variable en fonction du milieu extérieur.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXIV

*Influence des traitements sur la composition des plantes.**Feuilles.**(Expression des teneurs élémentaires en pour cent de leur moyenne respective).
(ex. Tableau LXX)*

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	106	90	101	102	95	100
	SO ₄ /2	88	98	110	99	102	98
	PO ₄ /3	77	73	144	104	89	111
Cations	K	100	88	105	127	88	81
	Ca/2	99	94	103	74	136	88
	Mg/2	96	90	109	72	74	148
Total anions		100	87	110	102	94	102
Total cations		99	90	105	102	98	97

L'azote et le phosphore évoluent généralement en sens inverse. En fonction de la composition anionique du milieu, leur rapport varie de 6,86 à 2,93 dans les tiges et de 5,40 à 2,76 dans les feuilles.

b. Proportions relatives des cations.

Dans les feuilles, les proportions relatives des cations sont peu affectées par les variations anioniques de composition du milieu extérieur. Ces mêmes proportions sont moins stables dans les tiges sans qu'il soit cependant possible de leur assigner un sens déterminé eu égard du milieu nutritif.

Par contre, elles sont directement liées aux proportions cationiques prévalant dans le milieu extérieur, et ce, tant pour les feuilles que pour

ALIMENTATION MINÉRALE DU CAFÉIER

les tiges. En d'autres termes, dans ces organes, et surtout dans les feuilles, la dominance d'un cation (soit donc 60 % du total des cations) entraîne sa plus grande abondance dans le végétal, mais pas en proportion directe (66 % pour K, 37 % pour Ca et 32 % pour Mg).

Par contre, l'inverse n'est pas vrai si le cation n'est présent qu'à raison de 20 % du total des cations dans le milieu nutritif, ce cation peut être présent dans la plante à une concentration encore appréciable mais égale (47 et 44 % pour K) ou peu importante (20 et 24 % pour Ca; 14 et 16 % pour Mg).

Ainsi, le potassium, plus mobile tant dans le substrat qu'au sein du végétal, est susceptible de s'accumuler facilement.

Quoi qu'il en soit, la proportion de ces corps dans la plante semble plus nettement sous la dépendance de la proportion de l'ensemble (Ca + Mg) que des proportions isolées de Ca ou de Mg.

TABLEAU LXXV

Influence des traitements sur la composition des plantes.

Tiges.

(Expression des teneurs élémentaires en pour cent de leur moyenne respective).

(ex. Tableau LXXI)

SÉRIE A							
Groupement chimique dosé		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	108	88	95	114	85	104
	SO ₄ /2	88	107	98	120	88	98
	PO ₄ /2	70	76	145	108	81	117
Cations	K	105	94	101	120	83	89
	Ca/2	103	94	98	104	126	82
	Mg/2	105	78	113	92	70	130
Total anions		100	87	104	113	84	106
Total cations		104	90	103	108	92	97

La teneur en K de la plante étant plus spécialement liée à celle du même élément dans le milieu nutritif, et celle-ci l'étant au total (Ca + Mg), la somme des trois cations étant une constante, un peut admettre en définitive que le rapport $K/(Ca + Mg)$ commande en grande partie la composition cationique de la plante.

Dans le cas du caféier si, dans le milieu extérieur, on a

$$\frac{K}{Ca + Mg} = \frac{40}{20 + 20} = \frac{60}{40} = 1,5$$

on observe dans les feuilles :

$$\frac{K}{Ca + Mg} = \frac{66}{20 + 14} = \frac{66}{34} = 1,94 ;$$

ou encore, dans le milieu extérieur :

$$\frac{K}{Ca + Mg} = \frac{60 + 20}{20} = \frac{80}{20} = 0,25$$

on obtient dans les feuilles :

$$\frac{K}{Ca + Mg} = \frac{47 + 44}{37 + 16 + 24 + 32} = \frac{91}{109} = 0,83.$$

En résumé, il semble bien que la valeur du rapport $K/(Ca + Mg)$ dans le milieu détermine de façon principale la valeur du même rapport dans la plante.

E. Discussion des données analytiques en fonction de la qualité du milieu nutritif.

Dans le paragraphe précédent, on a principalement étudié les relations entre la composition minérale interne de la plante et la composition du milieu extérieur. On a tenté de mettre en évidence les principaux facteurs de variation inhérents au milieu nutritif.

On a vu dans la seconde partie de ce travail que l'on pouvait admettre que ces variations de composition du milieu extérieur entraînaient des effets certains et mesurables sur le développement et la croissance de la plante. A ce titre, on peut donc parler de la qualité, bonne ou mauvaise, des traitements.

Le but de cette étude est d'étudier la possibilité d'existence d'une relation analogue entre cette qualité et la composition chimique de la plante. Elle pourrait avoir deux conséquences, écrivent M. V. HOMÈS et G. VAN SCHOOR¹ : « la première constitue la base même du diagnostic chimique : il serait éventuellement possible de juger par l'analyse chimique de la plante, si le terrain sur lequel elle pousse peut être

1. HOMÈS, M. V., *op. cit.*, p. 96.

considéré comme bon ou mauvais et, par conséquent, s'il est susceptible d'amélioration. Une fois ce point établi, l'étude des relations entre les compositions externe et interne à la plante serait susceptible de guider le praticien sur la façon d'améliorer le milieu. La seconde conséquence consiste en la possibilité de déterminer sur une base logique les normes de la constitution de la plante. Ces normes doivent en effet correspondre à une plante en bon état et cela se dégagera éventuellement de l'étude des relations entre la qualité des traitements expérimentaux et la composition de la plante ».

Nous ne pouvions faire mieux que de reprendre les termes même de ces auteurs.

1. CRITÈRES DE LA QUALITÉ DES TRAITEMENTS

Dans la seconde partie de ce travail, on a démontré qu'un classement cohérent des traitements était possible sur diverses bases (rendement, taille, etc.) se recoupant mutuellement. La notion de qualité étant ainsi établie, on peut choisir l'un des éléments d'information utilisés précédemment et le choix s'arrête sur la considération du poids sec de la partie aérienne (F + T) (cinquième ligne du tabl. XXXIII).

Dans le groupe des bons traitements, on retiendra donc les cinq premiers, c'est-à-dire SCa, Nc, SMg, aCa et NCa, dans celui des mauvais traitements viennent aK, PMg, NK, SK, Pc et PK. Les autres traitements sont dits moyens : Sc, PCa, NMg, ac et aMg.

Les données analytiques primaires sont alors groupées suivant ces classes afin d'en établir les moyennes se rapportant à toutes les plantes de chaque classe.

Le résultat de ce travail apparaît au tableau LXXVI qui est commenté dans le paragraphe ci-dessous.

2. TENEURS DANS LA PLANTE

Afin d'en faciliter la lecture, on a réuni dans la partie gauche du tableau les teneurs moyennes telles qu'elles ressortent du calcul et dans la partie droite les proportions et rapports ioniques divers auxquelles elles conduisent.

a. *Teneurs en anions.*

La teneur totale en anions varie moins dans les feuilles que dans les tiges sous l'influence de la qualité des traitements, mais dans les deux types d'organes le sens de la variation est identique : la concentration globale en anions augmente lorsque la qualité du traitement diminue.

Cette augmentation n'est d'ailleurs que la répercussion de l'élévation progressive de tous les constituants anioniques dans ces organes. Il semble donc qu'une des premières caractéristiques d'un traitement

TABLEAU LXXVI

Teneurs et rapports ioniques dans les plantes en fonction de la qualité du traitement appliqué.

Organes	Groupement chimique dosé	Traitement	Teneurs pour 100 g de matière sèche				Proportions centésimales			
			Bon	Moyen	Mauvais	Bon	Moyen	Mauvais	Traitement	
FEUILLES	Anions	NO ₃ .	151,0	154,9	158,0	80	75	73	Rapports anioniques	
		SO ₄ /2 .	9,9	10,1	10,4	5	5	5		
		PO ₄ /2 .	29,0	40,7	47,0	16	20	22		
	Total .	189,9	205,7	215,4	100	108	113	Évolution du total		
	Cations	K . . .	71,4	81,2	100,9	47	49	60	Rapports cationiques	
Ca/2 . .		51,0	46,1	35,3	34	27	21			
Mg/2 . .		29,5	40,0	31,1	19	24	19			
Total .	151,9	167,3	167,3	100	110	110	Évolution du total			
Total général . . .			341,8	373,0	382,7	1,250	1,230	1,287	Rapport A/C	
TIGES	Anions	NO ₃ .	56,4	60,0	68,2	81	77	76	Rapports anioniques	
		SO ₄ /2 .	3,6	4,0	4,7	5	5	5		
		PO ₄ /3 .	9,5	14,4	17,1	14	18	19		
	Total .	69,5	78,4	90,0	100	113	129	Évolution du total		
	Cations	K . . .	27,9	29,6	36,2	45	44	49	Rapports cationiques	
Ca/2 . .		20,5	18,4	18,7	33	28	26			
Mg/2 . .		13,8	18,6	18,4	22	28	25			
Total .	62,2	66,6	73,3	100	107	118	Évolution du total			
Total général . . .			131,7	145,0	163,3	1,117	1,177	1,227	Rapport A/C	

défavorable est de provoquer l'accumulation croissante des éléments du groupe anionique.

On remarque également que la teneur en phosphore réagit plus à la qualité des traitements que les teneurs en azote et en soufre, ce dernier élément étant en somme assez peu variable. On peut donc s'attendre à trouver des variations assez considérables des rapports ioniques entre azote et phosphore.

Si l'on étudie suivant le même critère de qualité des traitements l'hydratation des tissus, soit de feuilles, soit de parties ligneuses, on constate que les meilleurs traitements correspondent à une hydratation minimum. Ainsi, l'élévation des teneurs en anions traduirait essentiellement une moindre synthèse des glucides, puisque au total les variations de teneurs en azote sont moindres et qu'elles donnent une image des synthèses protéidiques.

b. *Teneurs en cations.*

On a vu que les teneurs en cations sont surtout variables dans les feuilles sous l'influence des traitements appliqués. C'est donc essentiellement dans ce type d'organe que l'on peut s'attendre à trouver une influence selon la qualité des traitements.

La teneur en potassium augmente fortement lorsque la qualité du milieu nutritif est mauvaise. Il n'y a, par ailleurs, guère de différences entre les groupes bon et moyen à cet égard. Comme cette conclusion est valable pour les deux types d'organes, il est vraisemblablement exact de dire qu'une forte accumulation de potassium dans le caféier traduit l'existence d'un milieu défavorable.

La teneur en calcium décroît nettement et progressivement lorsqu'on passe des bons aux mauvais traitements.

Il est donc probable que le potassium pourrait remplacer le calcium dans certaines liaisons organiques lorsque le traitement appliqué est défavorable, mais qu'un tel processus est douteux dans le cas du magnésium, tout au moins dans les tiges et parties ligneuses.

Les variations de la teneur en magnésium sont moins nettement caractérisables puisque l'on constate une augmentation de la teneur dans les traitements moyens par rapport tant aux bonnes qu'aux mauvaises conditions du milieu, ces deux dernières présentant assez sensiblement les mêmes concentrations.

Toutefois, les différences relatives au magnésium sont mieux marquées dans les feuilles que dans les tiges, ce qui indiquerait qu'une certaine proportion du magnésium non chlorophyllien se comporte dans la plante d'une manière analogue aux autres cations.

En ce qui concerne la teneur totale en cations, on a vu qu'elle était assez peu variable d'un traitement à l'autre. On constate cependant une légère augmentation de cette valeur dans les mauvais traitements.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

On en conclura donc que ceux-ci se traduisent d'abord, et surtout, par des réactions de substitutions entre cations sur les radicaux négatifs disponibles dans le végétal, par l'accumulation totale plus forte ensuite dans les différents organes.

3. RAPPORTS NUMÉRIQUES DIVERS

a. *Rapports anioniques.*

Dans la partie droite du tableau LXXVI, on relève que ces rapports écrits dans l'ordre $\text{NO}_3\text{—SO}_4\text{—PO}_4$, sont :

dans les bons traitements :

80—5—15 dans les feuilles,
81—5—14 dans les tiges ;

et dans les mauvais traitements :

73—5—22 dans les feuilles,
76—5—19 dans les tiges.

On remarquera ainsi que la proportion relative de soufre dans le total anionique étudié n'est pas influencée par le traitement. Il peut donc, sans inconvénient pour la compréhension des phénomènes intimes de la physiologie du caféier, être fait abstraction de cette donnée.

Restent ainsi en présence, l'azote et le phosphore qui évoluent en sens inverse en fonction de la qualité des milieux nutritifs, phénomène que l'on peut mettre en évidence en calculant leur rapport relatif :

Qualité du traitement	Organes	
	Feuilles	Parties ligneuses
Bon	5,2	5,9
	de 7,6 à 4,1	de 7,3 à 5,2
Moyen	3,8	4,2
Mauvais	3,4	4,0
	de 4,2 à 2,8	de 4,9 à 3,5

On voit immédiatement que les variations sont nettes entre bon traitement et l'ensemble des autres, mais que la notion de traitement moyen n'exprime en fait qu'une nuance de peu d'utilité pratique.

Cette conception est encore renforcée par le calcul des limites probables de variation de ces coefficients, travail que l'on peut déduire des données de variabilité moyenne des teneurs (tabl. LXIX) en admettant, bien entendu, qu'elles varient simultanément dans le même sens : augmentation en cas de milieu défavorable, diminution dans le cas inverse.

On conclura donc en disant que lorsque le rapport N/P exprimé en termes ioniques équivalents varie entre 7,6 et 4,2 dans les feuilles et entre 7,3 et 5,2 dans les tiges, le milieu est favorable.

Lorsqu'il varie entre 4,2 et 2,8 dans les feuilles et entre 4,9 et 3,5 dans les tiges, il est très défavorable.

De plus, au-delà de 7,6 dans les feuilles et 7,3 dans les tiges, il est probable qu'une déficience en phosphore ou un excès toxique d'azote soit à redouter dans le milieu extérieur. Le cas inverse se produirait pour des valeurs inférieures à 2,8 dans les feuilles et 3,5 dans les tiges. Il reste cependant à rechercher des cas de l'espèce et à démontrer qu'il s'agit bien d'un des facteurs décrits.

b. *Rapports cationiques.*

De même que pour les rapports anioniques, mais en respectant l'ordre K—Ca—Mg, on peut écrire en se limitant aux feuilles seules, pour les bons traitements 47—34—19 et pour les traitements très défavorables 60—21—19. On pourrait dans ces conditions considérer la proportion magnésienne comme suffisamment constante pour être négligeable.

Heureusement, la notation relative aux traitements moyens donne 49—27—24 indiquant par là que tous les éléments doivent intervenir.

C'est ce qui a été fait, ci-dessous, pour les feuilles :

	Bons	Moyens	Mauvais
K/(Ca + Mg)	0,8	0,9	1,5
K/Ca	1,4	1,7	2,8
K/Mg	2,4	2,0	3,2
Ca/Mg	1,7	1,1	1,1

Le rapport K/(Ca + Mg) revêt une importance considérable dans l'interprétation des phénomènes physiologiques.

Il est conditionné par le même rapport dans le milieu extérieur.

Le rapport K/Ca est également fondamental alors qu'il semble nettement admissible que les rapports K/Mg et Ca/Mg ne puissent intervenir que comme étape seconde lorsque l'influence prépondérante de l'ion non représenté dans ces quotients a tout d'abord été éliminée : le calcium pour l'un, le potassium pour l'autre.

c. *Rapport A/C (anions/cations).*

Nous citons ici pour mémoire l'évolution de ce rapport qui semble faiblement influencé par la qualité du traitement.

L'ensemble de ces discussions relatives aux relations entre qualité des traitements et valeurs numériques (ou rapports de proportion entre éléments dosés dans telle partie du végétal) peut être synthétisé dans le tableau LXXVII.

Il semble bien démontré que l'effet favorable d'un traitement ne s'accompagne jamais d'une concentration élevée en éléments dans l'une des parties de la plante, mais bien l'inverse.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXVII

*Coefficients de corrélation établis entre qualité des traitements
et des teneurs internes.*

	Teneur globale en ions dans la plante (F + T)	Teneur en anions des feuilles	Teneur en anions des tiges	Teneur globale (azote excepté) dans la plante (F + T)
Poids sec de la partie aérienne	- 0,8263	- 0,7142	- 0,7455	- 0,8311
Teneur en matière sèche des feuilles		- 0,6043		- 0,7415
Teneur en matière sèche des tiges			- 0,2216	

Au point de vue physiologique, cette constatation s'interprète dans le sens d'une formation accrue de glucides dans la plante saine, et ce en grande partie au détriment de l'accumulation des protides.

On pourrait d'ailleurs admettre également que la synthèse glucidique dans la même plante saine se poursuit normalement jusqu'à son stade ultime, c'est-à-dire la formation de produits complètement saturés (sucres ou amidon) et ne laisse qu'une faible quantité de produits intermédiaires (acides organiques ou alcools supérieurs) susceptibles de servir de supports aux éléments minéraux ionisés excédentaires. On doit les trouver, par contre, lors d'une synthèse incomplète et c'est ce qui explique, à notre avis, l'accumulation plus grande des matières minérales dans ce cas qui coïncide d'ailleurs avec un milieu physiologiquement non favorable.

F. Étude de l'utilisation effective des éléments minéraux fournis.

Le calcul de l'utilisation des aliments est basé sur la comparaison en fin d'essai de la quantité d'éléments minéraux immobilisée par la plante à la quantité d'éléments fournie sous forme de sels nutritifs.

Les données relatives aux deux séries expérimentales figurent dans les tableaux LXXVIII et LXXIX.

TABLEAU LXXVIII

*Immobilisation minérale en fin d'essai dans la partie aérienne.
(Quantités absolues en milliéquivalents-grammes par plante).*

Groupement chimique dosé		SÉRIE A																							
		Traitement											Pc	Sc	Nc	aMg	aCa	aK	PMg	PCa	PK	SMg	SCa	SK	NMg
Anions		NO ₃	30,7	65,9	43,9	25,1	60,7	63,1	8,7	51,4	28,3	33,7													
		SO ₄ /2	1,5	3,7	2,5	1,8	5,7	4,0	0,7	3,6	2,0	2,3	4,4	2,3	4,8	3,9	1,4	3,1							
		PO ₄ /3	5,9	11,1	9,1	5,0	14,3	12,1	3,3	16,9	11,6	8,0	14,2	10,3	12,1	10,8	6,5	12,6							
Total		38,1	80,7	55,5	31,9	80,7	79,2	13,7	71,9	41,9	44,0	83,5	48,6	102,4	68,8	27,7	62,5								
Cations		K	20,3	31,1	19,4	16,6	34,3	27,0	5,8	28,4	13,7	22,5	30,6	15,3	40,4	27,7	11,6	27,5							
		Ca/2	5,8	26,6	11,2	5,6	29,4	14,8	2,6	19,7	7,2	6,5	25,7	8,6	19,6	16,6	5,3	14,3							
		Mg/2	5,3	10,4	13,4	4,0	11,0	20,1	1,6	11,0	9,8	5,2	10,8	11,6	17,6	12,1	5,2	12,2							
Total		31,4	68,1	44,0	26,2	74,7	61,9	10,0	59,1	30,7	34,2	67,1	35,5	77,6	56,5	22,1	54,0								
Total général		69,5	148,8	99,5	58,1	155,4	141,1	23,7	131,0	72,6	78,2	150,6	84,1	180,0	125,3	49,8	116,5								

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXIX

*Immobilisation minérale en fin d'essai dans la partie aérienne.**(Quantités absolues en milliéquivalents-grammes par plante).*

SÉRIE B									
Groupement chimique dosé		Traitement							
		Nc	Sc	Pc	Clc	aK	aCa	aMg	aNa
Anions	NO ₃	171,8	80,3	71,2	61,9	133,7	168,7	165,8	63,2
	SO ₄ /2	9,0	5,3	4,6	3,2	6,5	8,5	8,0	4,0
	PO ₄ /3	22,1	16,1	27,5	12,3	15,6	57,1	25,6	8,3
	Total	209,9	101,7	103,3	77,4	155,8	234,3	199,4	75,5
Cations	K	83,3	48,2	47,5	42,2	86,6	69,7	62,3	31,7
	Ca/2	62,5	39,7	27,5	37,2	25,3	93,7	48,3	18,5
	Mg/2	42,5	20,3	22,0	20,4	12,1	27,8	57,7	9,8
	Total	188,3	108,2	97,0	99,8	124,0	191,2	168,3	60,0
Total général		391,2	209,9	200,3	177,2	279,8	425,5	367,7	135,5

Ces calculs sont le résultat de la combinaison des données de rendement pondéral sec de la partie aérienne de la plante et des données analytiques correspondantes.

Les tableaux fournissent, par conséquent, des nombres de milliéquivalents-grammes par 100 grammes de matière sèche immobilisés dans la seule partie aérienne de la plante en fin d'essai.

Connaissant les quantités d'éléments nutritifs distribuées à la plante au cours des expériences, on peut calculer le taux d'utilisation réel pour les divers éléments fournis en fonction de chaque traitement.

TABLEAU LXXX

Influence des traitements sur le coefficient d'utilisation moyen des éléments (%).

SÉRIE A							
Ion dont l'utilisation est exprimée dans le tableau		Traitement caractérisé par la dominance de					
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	K	Ca	Mg
Anions	NO ₃	10,8	29,2	15,5	14,1	34,2	24,6
	SO ₄ /2	1,8	0,7	1,1	0,9	2,4	1,5
	PO ₄ /3	5,5	6,1	1,8	3,3	8,1	6,3
	Total	8,0	7,5	4,5	3,7	9,1	6,5
Cations	K	15,9	15,3	8,4	3,1	17,9	10,8
	Ca/2	9,0	9,6	5,1	2,9	4,9	6,0
	Mg/2	6,7	6,8	4,0	2,3	6,2	2,6
	Total	6,4	6,3	3,5	2,9	7,7	4,9

Il a paru préférable de lui substituer le même coefficient en fonction uniquement des dominances de chaque élément séparément (tabl. LXXX,) comme pour les teneurs (cfr tabl. LXX et LXXI).

Le tableau LXXX met en évidence le fait que le coefficient d'utilisation de chaque élément varie considérablement avec la nature de l'anion ou du cation dominant dans la solution.

Il montre également que l'utilisation est d'autant meilleure que le corps considéré est moins abondant dans le milieu nutritif.

Ce fait est particulièrement sensible pour les anions où l'on constate que l'azote, par exemple, est utilisé à 10,8 % lorsqu'il domine dans le milieu extérieur mais à 29,2 % ou 15,5 % lorsqu'il n'y est que présent. Le même raisonnement peut être tenu pour le soufre et le phosphore.

Le cas des cations semble quelque peu différent puisque l'on voit que, à côté de l'effet dépressif de la dominance du corps sur son utili-

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

sation par la plante, il existerait un effet propre du potassium agissant dans le même sens.

On remarquera enfin que l'ion calcium dominant dans le milieu extérieur entraîne simultanément une utilisation maxima de tous les éléments pris en particulier (on y rencontre les coefficients d'utilisation les plus élevés) excepté pour le calcium lui-même.

Il est enfin possible, sur la base des éléments ainsi recueillis, d'établir un coefficient d'utilisation global de l'ensemble de l'alimentation minérale (tabl. LXXXI).

TABLEAU LXXXI

Influence des traitements sur le coefficient d'utilisation moyen des éléments (%).

SÉRIE B									
Ion dont l'utilisation est exprimée dans le tableau		Traitement caractérisé par la dominance de							
		NO ₃	SO ₄	PO ₄	Cl	K	Ca	Mg	Na
Anions	NO ₃	36,1	69,8	61,9	53,8	32,3	40,7	40,0	15,2
	SO ₄ /2	7,8	1,1	4,0	2,8	4,8	6,3	5,9	3,0
	PO ₄ /3	19,2	14,0	5,8	8,8	11,6	42,2	19,0	6,1
Cations	K	40,6	23,5	23,2	20,6	18,2	60,6	54,2	27,5
	Ca/2	25,4	16,1	15,1	15,1	22,0	19,7	42,0	16,0
	Mg/2	14,8	7,1	7,7	7,1	10,5	24,2	12,1	8,5

Les données relatives à la qualité des traitements (rendement pondéral sec de la partie aérienne, teneur en matière sèche des feuilles et des tiges) figurent au tableau LXXXII.

Un coefficient d'utilisation très nettement supérieur, correspond précisément aux meilleurs traitements. Cette constatation est d'ailleurs corroborée par le calcul des coefficients de corrélation entre qualités des traitements d'une part et leurs effets sur l'utilisation et la minéralisation globale dans la plante d'autre part.

Dans le tableau LXXXII, on relève des coefficients de corrélation extrêmement élevés et positifs entre la qualité des traitements et

TABLEAU LXXXII

Minéralisation et utilisation en fonction du développement des plantes.

Classement	Rendement en poids sec (g) de la partie aérienne (F + T)	Traitement	Coefficient utilisation (%)	Concentration en ions		Teneur en matière sèche dans les	
				Teneur globale moyenne (m.ég.)	Idem sans azote (m.ég.)	feuilles (%)	tiges (%)
1	73,6	S Ca	8,88	211,1	128,7	28,4	41,3
2	67,9	Nc	10,28	265,1	139,2	26,4	38,6
3	59,2	S Mg	7,86	232,5	125,8	27,8	40,5
4	53,1	N Ca	8,51	280,6	156,4	26,4	40,7
5	53,0	aCa	8,61	284,2	161,8	25,7	39,0
6	48,1	Sc	7,16	260,4	147,9	26,5	41,2
7	47,2	P Ca	7,48	277,2	168,6	25,7	40,7
8	41,2	ac	6,66	283,1	169,5	25,2	39,0
9	35,9	N Mg	5,69	277,4	155,1	25,6	39,0
10	27,3	aMg	4,81	308,4	176,3	26,4	41,3
11	26,1	aK	4,46	299,6	170,4	22,3	38,7
12	23,4	P Mg	4,15	310,6	189,6	24,8	41,0
13	23,0	NK	3,97	302,5	169,0	22,1	39,4
14	22,1	SK	3,32	263,0	149,5	23,3	40,5
15	15,3	Pc	2,84	325,6	196,4	22,2	37,2
16	7,4	PK	1,35	320,5	202,5	21,1	45,3

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

l'utilisation. La corrélation est par contre négative entre la qualité et la minéralisation même des tissus de la plante.

	Coefficient d'utilisation	Minéralisation globale
Qualité des traitements	+ 0,9703	— 0,8263
Teneur en matière sèche des feuilles	+ 0,8364	— 0,8115

Du point de vue physiologique, il existerait donc, au sein du végétal, une opposition nette entre l'utilisation des éléments minéraux et la minéralisation des tissus. Ce qui est confirmé par l'existence d'un coefficient de corrélation négatif entre ces deux grandeurs ($r = -0,7497$).

En conclusion, du point de vue physiologique, les effets d'une alimentation minérale équilibrée se traduiraient comme suit :

- développement et croissance maxima;
- rendement pondéral sec maximum;
- teneurs élevées en matière sèche dans les différents organes traduisant l'effet d'un métabolisme des glucides accru;
- utilisation de l'alimentation minérale fournie très nettement supérieure;
- enfin, minéralisation globale des tissus réduite.

On remarquera d'autre part qu'aucune des conclusions n'est infirmée par les calculs auxquels on pourrait se livrer à propos de la série B. Tout au plus pourrait-on dire que la valeur numérique des estimations du coefficient d'utilisation, par exemple, apparaît considérablement plus élevée dans les meilleurs traitements de cette série mais que le sens général de leur variation reste identique.

Par là, l'effet des conditions du milieu extérieur autres que celles relatives à l'alimentation minérale est mise en évidence.

G. Effet simultané de l'âge des tissus et des traitements sur la composition minérale de la plante.

On sait que la tige principale et les branches primaires des plantes prélevées en fin d'essai ont été maintenues séparées. Les feuilles des branches primaires ont été analysées séparément de celles de la tige principale. Les résultats acquis sont synthétisés dans les tableaux LXI-LXV.

On peut donc comparer les données relatives à l'une des parties à l'ensemble de la partie aérienne. Le choix s'est arrêté sur les seules feuilles; elles ont une composition chimique plus variable et sont d'un intérêt plus grand dans l'application pratique ultérieure que les tiges.

Une telle comparaison tend à introduire la notion d'évolution de la composition chimique en fonction de l'âge des organes. En effet, les feuilles des branches primaires apparaissent plus tardivement que celles de la tige principale, elles sont donc plus jeunes, sans nier qu'elles puissent cependant être adultes. La différence d'âge sera d'autant plus grande que les branches primaires seront apparues plus récemment ou, si l'on veut, que la proportion de branches primaires sera plus faible dans l'ensemble de l'appareil aérien sur la base pondérale sèche (tabl. XXXVI). On constate que les traitements les plus favorables du point de vue du rendement en poids sec de la partie aérienne présentent en même temps une plus grande proportion de feuilles de branches primaires.

On se bornera à signaler les points pour lesquels des différences sensibles apparaissent par rapport aux données des tableaux.

On constate ainsi que les feuilles des branches primaires ont :

- une teneur totale en cations inférieure à celle du matériel foliacé en général;
- une concentration totale en ions (minéralisation globale) très semblable.

Par suite, la concentration totale en anions y est plus élevée et le rapport A/C (total des anions au total des cations) y montre également des valeurs supérieures. Un des premiers effets du vieillissement des tissus foliaires est donc l'abaissement de la valeur de ce rapport.

Le rapport K/Ca varie dans de larges proportions en raison de la qualité du milieu nutritif distribué. Le tableau LXXXIII montre que ce rapport évolue dans le même sens, qu'il s'agisse d'organes jeunes ou adultes, mais que les valeurs numériques sont plus élevées dans le premier cas. L'exception relative au traitement PK ne doit pas être prise en considération en raison de l'imprécision probable des déterminations analytiques sur les quantités réduites de matériel et de la très faible proportion des branches primaires en général dans ce traitement.

Puisque les effets du vieillissement et de la qualité des traitements agissent en sens inverse, il conviendrait, semble-t-il, de prendre des précautions particulières pour qu'on puisse aisément les distinguer l'un de l'autre. Le moyen le plus simple est de ne s'adresser qu'à des tissus de même âge et surtout adultes.

De plus, on se souviendra que la plante jouant le rôle d'un intégrateur vis-à-vis des diverses conditions de milieu auxquelles elle est soumise au cours de son développement, il sera toujours avantageux de faire appel à un organe parfaitement adulte.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXXIII

*Effet de l'âge sur le rapport K/Ca dans les feuilles
en fonction des traitements.*

SÉRIE A			
Traitements classés par qualité	Valeur du rapport K/Ca		
	dans la partie aérienne (a)	dans les branches primaires (b)	b en % de a
S Ca	1,19	1,67	140,3
Nc	1,99	2,57	129,1
S Mg	1,69	2,63	155,6
N Ca	1,24	1,73	139,5
aCa	1,22	1,88	154,0
Sc	1,66	2,42	145,7
P Ca	1,47	2,15	146,2
ac	1,89	2,83	149,7
N Mg	1,72	2,59	150,5
aMg	1,94	2,35	121,1
aK	3,94	5,36	136,0
P Mg	1,89	2,56	135,4
N K	3,95	6,00	151,8
S K	3,49	4,27	122,3
Pc	2,22	4,17	187,8
P K	2,51	2,13	84,8

H. Influence des ions chlorhydrique et sodique sur la composition minérale interne.

Le but de cette étude particulière est de se rendre compte dans quelle mesure l'introduction de ces ions dans le milieu extérieur est susceptible de modifier les conclusions antérieures.

Pour ce faire, on comparera les données analytiques des séries A et B.

Cette comparaison s'avère délicate. Tout d'abord parce que le nombre de traitements pour lesquels on dispose des données analytiques est plus faible dans la série B (8 contre 16). Ensuite, les schémas expérimentaux des deux expériences sont différents dans leur essence même. Ainsi, dans la série B, la recherche des variations de composition interne ne peut se concevoir que pour le groupe chimique, positif ou négatif, qui varie précisément dans le milieu extérieur.

L'étude est limitée aux renseignements divergents des conclusions antérieures relatives à l'influence de la qualité des traitements.

1. VARIATION DES TENEURS

Pour la série B, on a établi le tableau LXXXIV, analogue au tableau LXXVI, en rassemblant les données en fonction de la qualité des traitements.

Dans la classe des traitements favorables, ont été inscrits Nc et aCa. Celle des traitements défavorables a été divisée en deux groupes suivant que le caractère défavorable était dû à des variations anioniques du milieu nutritif (traitements Pc et Sc) ou cationiques (traitements aK et aMg) on tient compte du schéma expérimental particulier de l'essai.

A ces données, on compare enfin les teneurs relevées pour le traitement Clc (dominance chlorhydrique) et pour le traitement aNa (dominance sodique).

Le tableau LXXXIV (p. 149) ainsi construit appelle les commentaires suivants :

1° Un équilibre défavorable du point de vue cationique se traduit dans la plante par une augmentation de la concentration en anions, particulièrement en azote, les teneurs en potassium et calcium évoluent en sens inverse, la première étant nettement plus forte que dans la situation favorable. La teneur en magnésium est peu affectée.

2° Un équilibre défavorable du point de vue anionique se traduit dans la plante par une augmentation sensible de la teneur en phosphore, accompagnée d'une diminution notable de la teneur en azote, fait nouveau par rapport à la série A.

Si l'on se souvient cependant de l'effet généralement dépressif de la dominance calcique dans le milieu extérieur sur l'accumulation de tous les ions dans le végétal et de l'existence de ce caractère dans les traitements considérés, on ne sera pas exagérément frappé par la diminution de teneur totale en anions, et par suite en azote.

De même, les teneurs en cations sont assez peu modifiées.

Le point essentiel ainsi mis en évidence est l'identité de réaction générale. On voit de plus que, dans le cas d'un schéma expérimental additif, on peut limiter les investigations aux groupes chimiques variables dans le milieu extérieur.

Examinons maintenant les effets propres aux ions chlorhydrique et sodique.

La dominance chlorhydrique dans le milieu extérieur provoquerait essentiellement une moindre accumulation des autres anions (N, S et P) dans la plante. Il serait en cela analogue aux effets de l'ion sulfurique. Aucun élément d'information n'est malheureusement disponible en ce qui concerne son effet sur sa propre concentration dans la plante. Il est

TABLEAU LXXXIV

Teneurs dans les plantes en fonction de la qualité du traitement appliqué et effets propres des ions chlorhydrique et sodique dominants.

Groupement chimique dosé	SÉRIE B										
	Feuilles			Tiges							
	Traitement favorable	Traitement défavorable par		Traitement favorable	Traitement défavorable par						
	les cations	les anions	Ion Cl dominant	Ion Na dominant	les cations	les anions					
Anions	NO ₃	164,6	185,3	125,9	108,9	187,6	42,7	46,9	32,3	30,0	48,8
	SO ₄ /2	7,5	7,9	7,7	5,5	11,2	3,4	3,5	2,7	1,8	3,6
	PO ₄ /3	20,0	23,8	33,0	18,5	23,3	6,4	7,7	13,4	9,6	8,0
Total	192,1	217,0	166,6	132,9	222,1	52,5	58,1	48,4	41,4	60,4	
Cations	K	69,1	90,0	74,3	69,4	91,3	24,8	32,2	26,0	25,8	27,6
	Ca/2	74,7	40,7	53,5	66,3	48,8	20,8	14,7	16,7	17,2	21,5
	Mg/2	32,2	36,8	32,2	35,4	26,5	10,7	12,9	12,3	10,6	10,7
	Na	1,6	1,3	(1,5)	—	7,7	3,2	2,8	(2,4)	—	7,8
Total	177,6	168,8	161,5	171,1	174,3	59,5	62,6	57,4	53,6	67,6	
Total général . . .	369,7	385,8	328,1	304,0	396,4	112,0	120,7	105,8	95,0	128,0	

probable que la concentration en chlore pourrait être plus forte dans le cas présent ainsi que la chute du rapport A/C dans les feuilles semblerait l'indiquer.

La teneur en azote est particulièrement affectée (108,9 m.éq. contre 164,6 normalement) d'où on conclut que l'existence d'une dominance chlorhydrique dans le milieu extérieur agit principalement sur le rapport N/P en le déprimant, et ce au détriment de la teneur en azote.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, les teneurs en cations ne paraissent pas défavorablement affectées par l'abondance de chlore dans le milieu nutritif.

L'évolution des teneurs en anions dans les plantes soumises au traitement à dominance sodique est parallèle à celle relevée précédemment pour un traitement défavorable.

En dépit de la faible concentration en potassium de la formule appliquée, on relève une teneur en cet élément dans la plante aussi élevée que dans les mauvais traitements à dominance potassique. De même que chez ceux-ci, le taux de calcium est déprimé.

Les points sur lesquels les différences les plus sensibles apparaissent, sont d'une part l'accumulation du sodium et d'autre part la moindre teneur en magnésium. Il semblerait donc possible d'admettre certains phénomènes de substitution entre les cations dans la plante, mais conduisant cependant à des conditions défavorables au jeu harmonieux des fonctions physiologiques principales.

2. VARIATIONS DES RAPPORTS IONIQUES

Le tableau LXXXV résume les calculs de différents rapports auxquels a conduit l'étude précédente. Les valeurs se rapportent uniquement aux feuilles (tissus les plus réactifs du végétal et ceux pour lesquels les phénomènes cationiques apparaissent le plus nettement).

Si l'on compare ces données à celles de la page 138, on s'aperçoit que le sens des variations enregistrées est identique dans son interprétation en fonction de la qualité du milieu extérieur, mais que les valeurs numériques sont généralement plus faibles dans la série B pour les rapports cationiques et plus élevées pour le rapport N/P.

On voit également que :

— une dominance chlorhydrique dans le milieu extérieur pourrait être décelée par :

un rapport P/Mg faible (0,5);

un rapport N/P normal à élever au sens de la série A (environ 6,0);

— une dominance sodique dans les mêmes conditions impliquerait :

un rapport K/Mg supérieur à 3,0;

un rapport Mg/Na faible (de l'ordre de 5);

un rapport N/P élevé au sens de la série A (environ 8,0).

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXXV

Rapport ionique dans les feuilles en fonction de la qualité du traitement appliqué et influence propre des ions Cl et Na.

SÉRIE B				
Rapport ionique	Traitement		Traitement à dominance	
	Bon	Mauvais	Cl	Na
K/(Ca+Mg) . . .	0,65	1,16	0,68	1,21
K/Ca	0,9	2,2	1,0	1,9
Ca/Mg	2,3	1,1	1,9	1,8
K/Mg	2,1	2,4	2,0	3,4
Mg/Na	20,1	28,3	—	3,4
N/P	8,2	3,8	5,9	8,0
P/Mg	0,6	0,6	0,5	0,9

Ainsi, au cours de cette étude, on a pu montrer les conséquences des dominances chlorhydrique et sodique sur la composition minérale du caféier et établir des critères de leur présence dans le milieu.

III. CONSIDÉRATIONS SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Du fait qu'il s'agit de l'étude d'un échantillon, on conçoit qu'il faille se plier, lors du prélèvement de l'échantillon, à un ensemble de règles qui sont généralement déterminées par la biométrie. Ces règles évolueront en raison de la population considérée et il n'entre pas dans l'objet de ce travail d'en traiter plus avant.

Par contre, le mode de raisonnement qui permet de passer de l'examen des données analytiques du diagnostic des causes de trouble, puis aux remèdes à y apporter, est proprement physiologique et découle, dans le cas présent, des diverses investigations.

Il réside dans la « considération des écarts existants entre la composition d'un échantillon et des normes préétablies »¹.

Le choix de ces normes devrait être fait avec circonspection, par exemple, à l'issue d'une expérimentation analogue à celle présentée ici.

1. HOMÈS, M. V., *op. cit.*, p. 110.

Il ne semble pas que ces normes puissent être utilisées comme critère direct de déficience :

ni globalement,

— parce qu'il a été établi que la relation liant la concentration totale en éléments (ou minéralisation) et la qualité du milieu extérieur a de très fortes chances d'être négative; ainsi un niveau général bas de l'ensemble des teneurs ne signifierait pas nécessairement que le milieu extérieur est chimiquement pauvre en éléments biogènes;

ni individuellement,

— parce qu'il a été établi également d'une part que l'adjonction d'un élément dans le milieu extérieur qui aurait pour effet de l'y rendre prépondérant abaisserait notablement son coefficient d'utilisation, d'où gaspillage, et d'autre part que, s'il est probablement exact de dire que la teneur de cet élément augmentera dans la plante, il convient avant tout de tenir compte des modifications de proportions entre ions que cette pénétration entraînera et qui pourraient être néfastes.

Dans ces conditions, le meilleur mode d'utilisation ou du moins celui qui est le moins susceptible d'entraîner des désordres pernicieux dans le végétal consiste essentiellement à prendre en considération les proportions relatives des éléments présents.

C'est sur cette base qu'est présentée l'étude ci-après qui peut être utilisée dans la pratique mais qui fera, sans doute, l'objet d'amélioration ultérieure.

A. Normes de composition minérale du caféier.

Voici donc les normes de composition des feuilles et des tiges du caféier.

Ces normes sont établies à partir des données du tableau LXXVI relatif à l'effet de la qualité des traitements sur la composition minérale dans la série A. La variabilité dont chaque donnée est affectée a été prise au tableau LXIX traitant de la variabilité des données analytiques en fonction des traitements dans la colonne relative aux écarts moyens.

Comme la comparaison des données des séries A et B a montré qu'il y avait une minéralisation générale probablement trop élevée dans la série A, il est vraisemblable que les normes qui en sont tirées sont entachées d'une erreur par excès. Conclusion sans conséquence grave si l'on s'attache aux rapports de proportions entre éléments.

Une autre norme d'un grand intérêt est le coefficient d'utilisation moyen d'une formule complètement équilibrée qu'on peut raisonnablement fixer à 30 % du total des ions fournis, compte tenu de la partie de ceux-ci fixés dans le système racinaire de la plante, point sur lequel les informations sont incomplètes.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

TABLEAU LXXXVI

*Normes de composition du caféier.**Teneurs en milliéquivalents-grammes ioniques pour 100 g de matière sèche avec la variabilité due aux traitements.*

Élément dosé	Organes	
	Feuilles	Tiges
Anions NO ₃	151 ± 10,0	56 ± 6,7
SO ₄	10 ± 0,8	4 ± 0,5
PO ₄	29 ± 7,5	10 ± 2,8
Total	190	70
Cations K	71 ± 13,0	28 ± 4,2
Ca	51 ± 10,0	21 ± 3,4
Mg	30 ± 8,5	14 ± 3,0
Na	2 ± 1,0	—
Total	154	63
TOTAL ANIONS ET CATIONS	344	133

Enfin, à titre d'indication seulement, sont données ci-après les mêmes normes de composition des feuilles mais transcrites en notation élémentaire de manière à permettre la comparaison des résultats avec d'autres.

Azote sous forme de	N	2,11 %	de la matière sèche
Phosphore sous forme de	P	0,29 %	de la matière sèche
Potassium sous forme de	K	2,76 %	de la matière sèche
Calcium sous forme de	Ca	1,05 %	de la matière sèche
Magnésium sous forme de	Mg	0,36 %	de la matière sèche

Ces teneurs ne peuvent pas être utilisées comme « niveaux critiques de concentrations » dans notre esprit.

B. Prélèvement de l'échantillon.

On prélèvera un assez grand nombre de feuilles adultes en veillant à les répartir uniformément sur la périphérie complète de la couronne de l'arbre. Les prélèvements affecteront plusieurs individus de la popu-

lation considérée, par exemple en échantillonnant une quinzaine de caféiers.

Il est évident que, dans cette étude, il est d'une importance capitale de n'écarter aucun individu du prélèvement qui puisse sembler différent des autres, puisque le but même de cette opération doit être de rendre compte d'une manière aussi fidèle que possible de la moyenne de la population considérée.

L'ordre de grandeur de l'échantillon prélevé doit être d'environ 200 à 300 g de matière fraîche donnant au minimum 50 g de matière sèche.

Après dessiccation rapide et réduction en poudre, on procèdera à l'analyse selon les techniques habituelles.

C. Interprétation des analyses.

Sur l'échantillon ainsi constitué, on déterminera les teneurs en N, P, K, Ca et Mg.

Seules les proportions entre ces diverses teneurs seront utilisées.

Il va sans dire que toutes les déterminations de concentrations doivent être uniformément exprimées en équivalents-grammes pour 100 grammes de matière sèche, sinon les valeurs numériques citées ci-après n'auraient aucun sens.

Dans la clé ci-après, les modifications proposées se rapportent à l'équilibre idéal décrit plus haut (cfr IV. Fumure minérale du caféier).

1. VALEUR DU RAPPORT $\frac{K}{Ca + Mg}$.

a. Supérieure à 1,5 :

Le milieu extérieur est déséquilibré par excès de potassium et nécessite une correction dont l'importance apparaîtra par suite de l'étude des autres rapports calculés.

b. Inférieure à 1,5 :

La proportion potassique dans le milieu extérieur n'est pas excédentaire.

Envisager le rapport K/Ca.

2. VALEUR DU RAPPORT $\frac{K}{Ca}$.

a. Inférieure à 1,4 :

Le milieu extérieur est très bon, bien équilibré.

b. Supérieure à 2,5 :

Le milieu extérieur est déséquilibré par excès de potassium.

COMPOSITION MINÉRALE DU CAFÉIER

c. Comprise entre 1,4 et 2,5 :

Il y a lieu de suspecter un excès de magnésium ou de phosphore dans le milieu extérieur.

Envisager les rapports P/Mg, N/P et K/Mg.

3. VALEURS DU RAPPORT $\frac{P}{Mg}$.

a. Inférieure à 1,2 :

Il faut diminuer la proportion magnésique soit seule, soit conjointement avec le calcium.

Envisager le rapport Ca/Mg.

b. Supérieure à 1,4 :

Il y a excès de phosphore dans le milieu extérieur.

4. VALEUR DU RAPPORT $\frac{Ca}{Mg}$.

a. Inférieure à 1,0 :

La proportion magnésique au sein du total (Ca + Mg) doit être diminuée.

b. Comprise entre 1,1 et 1,7 :

Il y a lieu de suspecter un excès de potassium. Cette valeur confirme éventuellement les enseignements précédents.

c. Supérieure à 3,0 :

La proportion calcique parmi les cations est trop élevée dans le milieu extérieur. Il y a lieu de se préoccuper de la quantité d'azote fournie qui devrait être plus élevée. Cette dernière indication n'est pas nécessairement impérative et l'emploi de la formule complète pourrait être admise.

Envisager le rapport N/P.

5. VALEUR DU RAPPORT $\frac{N}{P}$.

a. Inférieure à 3,5 :

Il convient de diminuer la proportion de phosphore dans la formule équilibrée devant le total (SO₄ + NO₃).

b. Supérieure à 7,0 :

Il convient d'augmenter la proportion phosphorique dans la formule équilibrée devant le total (NO₃ + SO₄).

c. Comprise entre 3,5 et 7,0 :

Les plantes présentant cette valeur ont déjà été étudiées en ce qui concerne les différents rapports cationiques et ne peuvent être traitées qu'à cette occasion.

6. VALEUR DU RAPPORT $\frac{K}{Mg}$.

Il y a lieu de suspecter une déficience en magnésium lorsque conjointement :

- le rapport K/Mg excède 6,0;
- le rapport Ca/Mg excède 9,0;
- le rapport K/Ca est inférieur à 1,4.

D. Remarques générales et limitations du diagnostic foliaire.

a. Il paraît nécessaire d'admettre une certaine échelle de valeur entre les diverses prescriptions du paragraphe précédent, réservant la priorité au diagnostic découlant notamment des trois premières sur les autres.

b. Certains remèdes préconisés envisagent des modifications des proportions ioniques de la formule complètement équilibrée idéale, particulièrement en ce qui concerne les proportions N/P.

Il est probable qu'une recherche ultérieure montrera que certaines de ces modifications seraient plus aisément atteintes et avec plus de bénéfice pour la plante par la modification du rapport anions/canions (A/C) au sein de la formule.

c. Le diagnostic foliaire conçu comme un moyen de prévoir la qualité du besoin d'engrais du caféier laisse par ailleurs complètement dans l'ombre le problème de la quantité d'engrais à épandre.

Cependant, il apparaît nettement que toutes les conclusions tirées de l'étude des essais tendent à prouver l'importance qu'il convient de réserver aux proportions ioniques dans le milieu extérieur.

L'apport d'engrais à une culture de caféiers implique, pour être totalement fructueux, la connaissance parfaite des nouvelles proportions ioniques qu'il crée dans le milieu radicalaire en général.

LOUE tente d'établir une méthode de diagnostic en se servant de la composition minérale de la partie exploitable de la récolte, c'est-à-dire des drupes. Il semble que cette voie pourrait être prise en considération notamment dans l'estimation de la quantité de substances fertilisantes, comme d'ailleurs tout ce qui concerne l'estimation du rendement dans le contrôle réel du diagnostic chimique au champ.

QUATRIÈME PARTIE

Conclusions générales.

I. CONCLUSIONS DE CARACTÈRE THÉORIQUE

A. Étude de la croissance et du développement de la plante au cours des expériences.

1. Dans nos expériences, la croissance et le développement des plants ont été au moins égaux à ceux des plantes de pépinière, et dans certains cas (bons traitements) supérieurs (cfr p. 67).

2. La production de matériel foliacé, mesurée en poids, répond mieux que le matériel ligneux (tiges) aux variations de traitement expérimentalement appliquées (cfr tabl. LIII et p. 81).

Toutefois les variations se produisent dans le même sens pour les deux types d'organes (cfr tabl. LII).

3. Une action favorable, ou déprimante, sur une partie quelconque du végétal, reflète une action favorable, ou déprimante, sur l'ensemble de la plante (cfr p. 67).

4. Lors de l'étude de la croissance et du développement pondéral de la plante en suite aux traitements chimiques appliqués, on peut sans danger pour la validité des conclusions négliger les mensurations et pesées relatives aux racines. Dans la comparaison de plantes entre elles, la mesure la plus représentative est celle de l'ensemble (feuilles + tiges), surtout à l'état sec (cfr. tabl. LII).

5. Entre poids frais et poids sec existe un coefficient de corrélation suffisamment élevé et significatif pour qu'on puisse utilement se con-

tenter de la première détermination si les conditions matérielles rendent la seconde difficile localement (cfr p. 61).

6. Une combinaison assez simple de mesures susceptibles d'être effectuées sur la plante en place (diamètre au collet élevé au carré, cette dernière valeur multipliée par la hauteur) permet la comparaison de plantes entre elles d'une façon très satisfaisante, pour autant que les conditions de milieu restent comparables pour toutes les plantes envisagées.

Les variations de cette combinaison rendent compte d'une manière suffisante du poids total de matière formée par la partie aérienne de la plante, en respectant toutefois les conditions particulières de conduite du caféier décrites dans le présent travail (monocaulie) (cfr p. 105).

7. L'emploi du schéma expérimental basé sur un raisonnement physiologique appelé « méthode des variantes systématiques », conduit à une interprétation des phénomènes observés que laissait prévoir la simple comparaison empirique des résultats obtenus à partir d'un nombre élevé de traitements (cfr pp. 85 sq.).

L'emploi de cette méthode est donc susceptible d'éviter les développements matériels considérables de certains essais.

8. Lors de l'utilisation de ce schéma expérimental, il est démontré que le choix des proportions ioniques des traitements de base n'est pas indifférent, sans que l'on puisse définir actuellement, d'une manière mathématique la règle à suivre (cfr p. 97).

Cependant, les meilleurs résultats sont obtenus pour un niveau de dominance élevé lors des investigations dans le groupe anionique, et quel que soit le niveau de dominance dans le groupe cationique (cfr pp. 87 sq.).

9. Partant de la combinaison dont il est question au point 6, l'étude de l'évolution dans le temps de la zone optima de croissance du caféier montre que l'on tend assez rapidement vers un « état de régime » qui coïncide avec les besoins alimentaires de cette plante (cfr pp. 78 et 101).

10. Une estimation quantitative de la floraison permet le calcul d'un optimum de composition minérale du milieu extérieur favorable à l'apparition de ce phénomène (cfr p. 51).

Cet optimum coïncide dans une large mesure avec celui établi à propos du rendement pondéral sec de la matière végétale formée.

On peut estimer, dans ces conditions, que la notion d'optimum a réellement le sens d'un optimum physiologique d'une part, et que, *vraisemblablement*, la production de fruits suivra les mêmes variations que le développement végétatif d'autre part.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

11. Le coefficient de variabilité trouvé dans une mesure phénologique ou pondérale est d'autant plus grand que le milieu nutritif est moins favorable. Il peut ainsi servir à mesurer la qualité d'un milieu naturel (cfr p. 83).

Cet effet est plus nettement lié à des proportions cationiques défavorables (cfr pp. 84 sq.).

B. Effets physiologiques.

12. Il est dangereux de conclure à l'effet, utile ou nocif, d'un élément quelconque en particulier.

13. Ce sont surtout les proportions entre les quantités disponibles de tous les éléments qui sont responsables des effets sur la croissance, le développement et la production de matière végétale.

14. Les proportions des éléments N—P—K n'ont pas, dans la constitution du milieu alimentaire, une importance prédominante et ne suffisent certainement pas à en déterminer la valeur.

Cette conclusion est également valable si le chlore et le sodium sont présents dans le milieu extérieur (cfr p. 101).

15. Un régime alimentaire abondant mais mal équilibré peut avoir un effet plus défavorable que la pauvreté générale du milieu alimentaire. Par conséquent, une fumure mal équilibrée peut être plus défavorable que l'absence de toute fumure.

16. L'indépendance des compositions optima anionique et cationique du milieu favorable est démontrée, mais il faut, dans le cas du caféier, recevoir cette notion dans un sens large (cfr tabl. LV et p. 84).

C. Constitution chimique de la plante.

17. Outre son influence sur la croissance et le développement de la plante, la composition chimique du milieu extérieur a également un retentissement sur la composition interne du végétal (cfr pp. 111 sq.).

18. Ainsi la présence d'un élément à l'état dominant dans le milieu extérieur influence directement et d'une manière simple la concentration interne de cet élément dans la plante, qui augmente (cfr. tabl. LXXI sq.).

19. Les teneurs et proportions relatives des éléments du groupe anionique sont variables sous l'effet des traitements appliqués.

Ces variations sont particulièrement sensibles dans les tiges (cfr tabl. LXVI et LXVII).

20. Les teneurs et proportions relatives des éléments du groupe cationique varient très nettement sous l'effet des variations de composition du milieu extérieur.

Ces variations sont particulièrement sensibles dans les feuilles et en raison des proportions entre cations dans le milieu extérieur.

21. La somme des éléments cationiques exprimée en nombre d'équivalents chimiques pour 100 grammes de matière sèche est remarquablement constante, surtout dans les feuilles, ce qui montre qu'il existe entre ces éléments des possibilités de substitution (cfr tabl. LXIX).

22. La valeur du rapport $K/(Ca + Mg)$ dans les feuilles dépend de la valeur du même rapport dans le milieu nutritif (cfr p. 133).

23. La valeur des proportions relatives des éléments du groupe cationique dans la plante varie en fonction de la qualité du milieu nutritif tel qu'on peut l'estimer par le développement que le végétal peut y atteindre (cfr tabl. LXXVI et pp. 137 sq).

24. La somme des ions dosés dans la plante (N, S, P, K, Ca, Mg), ou minéralisation globale, est liée par une relation simple mais inverse au développement pondéral sec de la partie aérienne et à la teneur en matière sèche du matériel foliacé (cfr tabl. LXXXII et p. 145).

On peut en conclure qu'une forte minéralisation n'est pas souhaitable dans le végétal.

25. Le rapport du total des éléments du groupe anionique au total des éléments du groupe cationique (rapport A/C) est plus élevé dans les feuilles que dans les tiges (cfr tabl. LXVIII et p. 122).

On constate, de plus, que ce rapport n'est pas constant selon les traitements appliqués. En correspondance d'ailleurs avec les conclusions 23 et 24, il semble que l'augmentation du rapport A/C dans ces organes traduise un effet défavorable des traitements appliqués.

26. Le coefficient d'utilisation globale est nettement proportionnel au développement de la plante mesuré par son poids sec (cfr pp. 142 sq).

Mais le coefficient d'utilisation de chaque élément en particulier est très variable. Il est notamment plus élevé quand le même élément est moins abondant dans le milieu nutritif (cfr tabl. LXXX et LXXI).

Il s'en suit que l'utilisation d'un élément isolé est conditionnée davantage par ses relations avec les autres ions présents dans le milieu extérieur, que par son effet de concentration absolue.

Cette conclusion rejoint la proposition 13 touchant l'effet physiologique des proportions relatives des ions sur la croissance.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

27. On a pu établir les normes de composition chimique en éléments dits majeurs du caféier Robusta (cfr p. 153 et tabl. LXXXVI).

28. En appliquant les conclusions antérieures, l'utilisation rationnelle de ces normes s'impose sur la base de la considération essentielle des proportions relatives entre les ions tant dans le végétal que dans le milieu extérieur.

Sur la base de l'analyse de la plante, une clé de diagnostic des défauts éventuels de composition du milieu extérieur permet l'ajustement d'une formule d'engrais la plus susceptible de reconstituer les conditions de l'optimum alimentaire du caféier (cfr p. 154).

D. Besoins alimentaires du caféier Robusta.

29. Les besoins alimentaires du caféier Robusta sont satisfaits au mieux lorsqu'il existe dans le milieu nutritif les proportions suivantes :

Proportions dans la composition « anionique » exprimée en équivalents chimiques pour un total de 100 :

NO_3^-	$38,3 \pm 6,6$	$42,2 \pm 5,6$
$\text{SO}_4^{--}/2$	$43,7 \pm 5,2$	$21,0 \pm 2,3$
$\text{PO}_4^{---}/3$	$18,0 \pm 3,5$	$18,9 \pm 2,7$
Cl^-	—	$17,9 \pm 3,0$

Proportions dans la composition « cationique » exprimée en équivalents chimiques pour un total de 100 :

K^+	$15,6 \pm 2,4$	$22,8 \pm 3,4$
$\text{Ca}^{++}/2$	$52,2 \pm 5,8$	$37,9 \pm 4,3$
$\text{Mg}^{++}/2$	$32,2 \pm 5,5$	$33,9 \pm 4,5$
Na^+	—	$5,4 \pm 4,4$

Ces compositions représentent les formules physiologiques optima en l'absence ou en présence de chlore et de sodium.

La signification des limites de variation est double. D'une part, entre ces limites pour tous les éléments d'un même groupe conjointement, on peut raisonnablement escompter une efficacité égale des diverses proportions possibles. D'autre part, tout ajustement au sens de la conclusion 28, doit dépasser ces limites pour avoir un sens physiologique (cfr p. 108).

30. Le rapport A/C physiologiquement optimum n'est pas défini expérimentalement. Toutefois, les éléments d'information disponibles permettent de croire qu'il se situerait approximativement entre 1,2 et 1,5.

E. Remarque générale.

31. D'aucuns seront frappés par l'analogie et même la répétition de certaines de nos conclusions avec celles émises par le Professeur M. V. HOMÈS à l'issue de son expérimentation sur le cacaoyer¹.

L'existence de ce parallélisme partiel, prévu par cet auteur, incite à penser que la théorie présentée mérite de retenir l'attention des chercheurs en raison même de son caractère d'explication généralisable de phénomènes physiologiques de l'alimentation minérale des végétaux.

II. CONCLUSIONS DE CARACTÈRE PRATIQUE

Le but initial de cette étude était de tenter de définir les exigences alimentaires du caféier Robusta du point de vue physiologique et non d'établir une formule d'engrais recommandable.

Dans la réalité, en effet, c'est le sol qui constitue le milieu nutritif des végétaux cultivés. Les apports d'engrais chimiques doivent donc tenir compte de ce fait afin d'en améliorer les caractéristiques et d'obtenir un accroissement de production.

Ce n'est d'ailleurs pas le seul facteur susceptible de modifier la qualité des formules d'engrais à recommander dans chaque cas particulier. Le développement antérieur de la plante, les processus culturaux, son état phytosanitaire et l'espèce également sont à prendre en considération. Il n'est pas jusqu'au climat, au sens écologique du terme, qui ne puisse intervenir par l'un ou l'autre de ses aspects.

En bref, dans la nature, la valeur alimentaire du milieu extérieur dépend du complexe sol-plante-climat et l'adjonction d'une fumure ne fait qu'y ajouter un facteur de plus.

C'est à une meilleure connaissance du constituant « plante » que cette étude apporte le plus d'informations et elle n'a pas la prétention de résoudre toute la question à partir de ce seul élément.

A la lumière des conclusions antérieures, nous penchons cependant à croire que cette étude permettra un nouveau pas vers la solution du problème pratique de la fumure du caféier.

C'est en ayant ce seul objectif en vue que nous donnons ci-après une formule d'engrais, comme étant la plus raisonnablement susceptible d'être utilisée en sols très pauvres et sans interférence importante probable avec la fumure appliquée. Pour tous les cas douteux, nous renvoyons les utilisateurs aux considérations relatives au diagnostic chimique grâce auquel il nous paraît possible des les guider vers de meilleures solutions, tout au moins à titre de conseil provisoire.

1. M. V. HOMÈS, L'alimentation minérale du Cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), Publ. I.N.É.A.C., Série scient. n° 58 (1953).

Publications de l'INÉAC

Les publications de l'INÉAC peuvent être échangées contre des publications similaires et des périodiques émanant des Institutions belges ou étrangères. S'adresser : 12, rue aux Laines, à Bruxelles. Elles peuvent être obtenues moyennant versement du prix de vente au n° 8737 du compte chèques postaux de l'Institut.

Les études sont publiées sous la responsabilité de leurs auteurs.

SÉRIE SCIENTIFIQUE

1. LEBRUN, J., **Les essences forestières des régions montagneuses du Congo oriental**, 264 pp., 28 fig., 18 pl., 25 F, 1935 (épuisé).
2. STEYAERT, R.-L., **Un ennemi naturel du *Stephanoderes*. Le *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILLEMIN**, 46 pp., 16 fig., 5 F, 1935 (épuisé).
3. GHESQUIÈRE, J., **État sanitaire de quelques palmeraies de la province de Coquilhatville**, 40 pp., 15 F, 1935 (épuisé).
4. STANER, P., **Quelques plantes congolaises à fruits comestibles**, 56 pp., 9 fig., 9 F, 1935 (épuisé).
5. BEIRNAERT, A., **Introduction à la biologie florale du palmier à huile**, 42 pp., 28 fig., 12 F, 1935 (épuisé).
6. JURION, F., **La brûlure des caféiers**, 28 pp., 30 fig., 8 F, 1936 (épuisé).
7. STEYAERT, R.-L., **Étude des facteurs météorologiques régissant la pullulation du *Rhizoctonia Solani* KÜHN sur le cotonnier**, 27 pp., 3 fig., 20 F, 1936.
8. LEROY, J.-V., **Observations relatives à quelques insectes attaquant le caféier**, 30 pp., 9 fig., 10 F, 1936 (épuisé).
9. STEYAERT, R.-L., **Le port et la pathologie du cotonnier. — Influence des facteurs météorologiques**, 32 pp., 11 fig., 17 tabl., 30 F, 1936 (épuisé).
10. LEROY, J.-V., **Observations relatives à quelques hémiptères du cotonnier**, 20 pp., 18 pl., 9 fig., 35 F, 1936 (épuisé).
11. STOFFELS, E., **La sélection du caféier *arabica* à la Station de Mulungu. (Premières communications)**, 41 pp., 22 fig., 12 F, 1936 (épuisé).
12. OPSOMER, J.-E., **Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. I. La technique des essais**, 25 pp., 2 fig., 15 tabl., 25 F, 1937.
13. STEYAERT, R.-L., **Présence du *Sclerospora Maydis* (RAC.) PALM (*S. javanica* PALM) au Congo belge**, 16 pp., 1 pl., 15 F, 1937.
14. OPSOMER, J.-E., **Notes techniques sur la conduite des essais avec plantes annuelles et l'analyse des résultats**, 79 pp., 16 fig., 20 fr., 1937 (épuisé).
15. OPSOMER, J.-E., **Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. II. Études de biologie florale. — Essais d'hybridation**, 39 pp., 7 fig., 25 F, 1938.
16. STEYAERT, R.-L., **La sélection du cotonnier pour la résistance aux stigmatomycoses**, 29 pp., 10 tabl., 8 fig., 20 F, 1939.
17. GILBERT, G., **Observations préliminaires sur la morphologie des plantules forestières au Congo belge**, 28 pp., 7 fig., 20 F, 1939.
18. STEYAERT, R.-L., **Notes sur deux conditions pathologiques de l'*Elaeis guineensis***, 13 pp., 5 fig., 10 F, 1939.
19. HENDRICKX, F.-L., **Observations sur la maladie verruqueuse des fruits du caféier**, 11 pp., 1 fig., 10 F, 1939.
20. HENRARD, P., **Réaction de la microflore du sol aux feux de brousse. — Essai préliminaire exécuté dans la région de Kisantu**, 23 pp., 15 F, 1939.
21. SOYER, D., **La "rosette" de l'arachide. — Recherches sur les vecteurs possibles de la maladie**, 23 pp., 7 fig., 18 F, 1939.
22. FERRAND, M., **Observations sur les variations de la concentration du latex *in situ* par la microméthode de la goutte du latex**, 33 pp., 1 fig., 20 F, 1941.

23. WOUTERS, W., Contribution à la biologie florale du maïs. — Sa pollinisation libre et sa pollinisation contrôlée en Afrique centrale, 51 pp., 11 fig., 30 F, 1941.
24. OPSOMER, J.-E., Contribution à l'étude de l'hétérosis chez le riz, 30 pp., 1 fig., 18 F, 1942.
- 24bis. VRIJDAGH, J., Étude sur la biologie des *Dysdercus supersticiosus* F. (Hemiptera), 19 pp., 10 tabl., 15 F, 1941.
25. DE LEENHEER, L., Introduction à l'étude minéralogique des sols du Congo belge, 45 pp., 4 fig., 25 F, 1944.
- 25bis. STOFFELS, E., La sélection du caféier *arabica* à la Station de Mulungu. (Deuxièmes communications), 72 pp., 11 fig., 30 tabl., 50 F, 1942 (épuisé).
26. HENDRICKX, F.-L., LEFÈVRE, P.-C. et LEROY, J.-V., *Les Antestia* spp. au Kivu, 69 pp., 9 fig., 5 graph., 50 F, 1942 (épuisé).
27. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., Contribution à l'étude génétique et biométrique des variétés d'*Elaeis guineensis* JACQUIN. (Communication n° 4 sur le palmier à huile), 100 pp., 9 fig., 34 tabl., 60 F, 1941 (épuisé).
28. VRIJDAGH, J., Étude de l'acarose du cotonnier, causée par *Hemitarsonemus latus* (BANKS) au Congo belge, 25 pp., 6 fig., 20 F, 1942.
29. SOYER, D., Miride du cotonnier, *Creontiades pallidus* RAMB. *Capsidae* (Miridae), 15 pp., 8 fig., 25 F, 1942 (épuisé).
30. LEFÈVRE, P.-C., Introduction à l'étude de *Helopeltis orophila* GHESQ., 46 pp., 6 graph., 10 tabl., 14 photos, 45 F, 1942 (épuisé).
31. VRIJDAGH, J., Étude comparée sur la biologie de *Dysdercus nigrofasciatus* STÅL, et *Dysdercus melanoderes* KARSCH., 32 pp., 1 fig., 3 pl. en couleur, 40 F, 1942.
32. CASTAGNE, E., ADRIAENS, L. et ISTAS, R., Contribution à l'étude chimique de quelques bois congolais, 30 pp., 15 F, 1946.
33. SOYER, D., Une nouvelle maladie du cotonnier. La Psyllose provoquée par *Paurocephala gossypii* RUSSELL, 40 pp., 1 pl., 9 fig., 50 F, 1947.
34. WOUTERS, W., Contribution à l'étude taxonomique et Caryologique du genre *Gossypium* et application à l'amélioration du cotonnier au Congo belge, 383 pp., 5 pl., 18 fig., 250 F, 1948.
35. HENDRICKX, F.-L., *Sylloge fungorum congensium*, 216 pp., 100 F, 1948.
36. FOUARGE, J., L'attaque du bois de Limba (*Terminalia superba* ENGL. et DIELS) par le *Lyctus brunneus* LE C., 17 pp., 9 fig., 15 F, 1947.
37. DONIS, C., Essai d'économie forestière au Mayumbe, 92 pp., 3 cartes, 63 fig., 70 F, 1948.
38. D'HOORE, J. et FRIPIAT, J., Recherches sur les variations de structure du sol à Yangambi (Congo belge), 60 pp., 8 fig., 30 F, 1948.
39. HOMÈS, M.-V., L'alimentation minérale du Palmier à huile *Elaeis guineensis* JACQ., 124 pp., 16 fig., 100 F, 1949.
40. ENGELBEEN, M., Contribution expérimentale à l'étude de la Biologie florale de *Cinchona Ledgeriana* MOENS, 140 pp., 18 fig., 28 photos, 120 F, 1949.
41. SCHMITZ, G., La Pyrale du Caféier Robusta, *Dichocrocis crocodora* MEYRICK, biologie et moyens de lutte, 132 pp., 36 fig., 100 F, 1949.
42. VANDERWEYEN, R. et ROELS, O., Les variétés d'*Elaeis guineensis* JACQUIN du type *albescens* et l'*Elaeis melanococca* GAERTNER (em. BAILEY). - Note préliminaire, 24 pp., 16 fig., 3 pl., 30 F, 1949.
43. GERMAIN, R., Reconnaissance géobotanique dans le Nord du Kwango, 22 pp., 13 fig., 25 F, 1949.
44. LAUDELOUT, H. et D'HOORE, J., Influence du milieu sur les matières humiques en relation avec la microflore du sol dans la région de Yangambi (Congo belge), 32 pp., 20 F, 1949.
45. LÉONARD, J., Étude botanique des copaliers du Congo belge, 158 pp., 23 photos, 16 fig., 3 pl., 130 F, 1950.
46. KELLOGG, C.E. et DAVOL, F.D., An exploratory study of soil groups in the Belgian Congo, 73 pp., 35 photos, 100 F, 1949.
47. LAUDELOUT, H., Étude pédologique d'un essai de fumure minérale de l'*Elaeis* à Yangambi, 21 pp., 25 F, 1950.

- 28bis. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Les graines livrées par la Station de Yangambi. (Communication n° 2 sur le palmier à huile)**, 41 pp., 15 F, 1941 (épuisé).
29. WÆLKENS, M. et LECOMTE, M., **Le choix de la variété de coton dans les Districts de l'Uele et de l'Ubangui**, 31 pp., 7 tabl., 25 F, 1941.
30. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Influence de l'origine variétale sur les rendements. (Communication n° 3 sur le palmier à huile)**, 26 pp., 8 tabl., 20 F, 1941 (épuisé).
31. POSKIN, J.-H., **La taille du Caféier Robusta**, 59 pp., 8 fig., 25 photos, 60 F, 1942 (épuisé).
32. BROUWERS, M.-J.-A., **La greffe de l'Hevea en pépinière et au champ**, 29 pp., 8 fig., 12 photos, 30 F, 1943 (épuisé).
33. DE POERCK, R., **Note contributive à l'amélioration des agrumes au Congo belge**, 78 pp., 60 F, 1945.
34. DE MEULEMEESTER, D. et RAES, G., **Caractéristiques de certaines variétés de coton spécialement congolaises**, Première partie, 110 pp., 40 F, 1947.
35. DE MEULEMEESTER, D. et RAES, G., **Caractéristiques de certaines variétés de coton spécialement congolaises**, Deuxième partie, 37 pp., 40 F, 1947.
36. LECOMTE, M., **Étude des qualités et des méthodes de multiplication des nouvelles variétés cotonnières au Congo belge**, 56 pp., 4 fig., 40 F, 1949.
37. VANDERWEYEN, R. et MICLOTTE, H., **Valeur des graines d'Elaeis guineensis JACQ. livrées par la Station de Yangambi**, 24 pp., 15 F, 1949.
38. FOUARGE, J., SACRÉ, E. et MOTTET, A., **Appropriation des bois congolais aux besoins de la Métropole**, 17 pp., 20 F, 1950.
39. PICHEL, R.-J., **Premiers résultats en matière de sélection précoce chez l'Hévéa**, 43 pp., 10 fig., 40 F, 1951.
40. BAPTIST, A.-G., **Matériaux pour l'étude de l'économie rurale des populations de la Cuvette forestière du Congo belge**, 63 pp., 50 F, 1951.
41. ISTAS, J.-R. et HONTOY, J., **Composition chimique et valeur papetière de quelques espèces de Bambous récoltées au Congo belge**, 23 pp., 7 tabl., 25 F, 1952.
42. CAPOT, J., DE MEULEMEESTER, D., BRYNAERT, J. et RAES, G., **Recherches sur une plante à fibres : L'Abroma augusta L. F.**, 113 pp., 59 fig., 100 F, 1953.
43. ISTAS, J.-R., HEREMANS, R. et RAEKELBOOM, E.-L., **Caractères généraux des bois feuillus du Congo belge en relation avec leur utilisation dans l'industrie des pâtes à papier. - Étude détaillée de quelques essences**, 123 pp., 46 photos, 80 F, 1954.
44. HELLINCKX, L., **Les propriétés des Copals du Congo belge en relation avec leur origine botanique**, 44 pp., 40 F, 1955.
45. HENNAUX, L. et COMPÈRE, R., **Le ravitaillement en calcium et en phosphore et le comportement du squelette du bétail au Congo belge**, 45 pp., 11 photos, 50 F, 1955.
46. ANTOINE, R.C. et LALOYAU, L.E., **Le débit des bois à la scie à ruban. I. Introduction à l'étude du sciage des principaux bois du Congo belge**, 31 pp., 8 fig., 25 F, 1955.
47. ANTOINE, R.C. et LALOYAU, L.E., **Le débit des bois à la scie à ruban. II. Étude du sciage de Chlorophora excelsa (Kambala, Mulundu)**, 77 pp., 33 fig., 2 abaques, 60 F, 1955.
48. HENNAUX, L., **L'alimentation minérale du bétail au Congo belge**, 118 pp., 11 photos hors texte, 160 F, 1956.
49. PICHEL, R., **Les pourridiés de l'Hévéa dans la Cuvette congolaise**, 480 pp., 149 fig. noir et couleur, 30 graph., 1 carte hors texte, 400 F, 1956.
50. LALOYAU, L., **Le travail de la scie circulaire. Application au sciage du Diambi (Guarea cedrata)**, 48 pp., 8 photos, 8+12 fig., 40 F, 1956.
51. ISTAS, J.R., RAEKELBOOM, E.L. et HEREMANS, R., **Étude biométrique, chimique et papetière de quelques bois**, 58 pp., 40 F, 1956.

FLORE DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI

SPERMATOPHYTES

Prix par volume : édition sur papier ordinaire : 300 F, édition sur papier bible : 500 F.
Volume I (1948). Volume II (1951). Volume III (1952). Volume IV (1953). Volume V (1954). Volume VI (1954).

ATLAS ANATOMIQUE DES BOIS DU CONGO BELGE

SPERMATOPHYTES

Volume I. LEBACQ, L., *Podocarpaceae, Cupressaceae, Ulmaceae, Moraceae, Proteaceae* et *Olacaceae*, 26 + 32 pp., 1 tabl., XXXII pl., 52 fig., 250 F, 1955.

Volume II. LEBACQ, L., *Annonaceae, Myristicaceae, Monimiaceae, Lauraceae, Cappari-*
daceae, 36 pp., 1 tabl., XXXVI pl., 250 F, 1955.

CARTE DES SOLS ET DE LA VÉGÉTATION DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI

Livraison 1. **Kaniama** (Haut-Lomami), 53 pp., 8 photos, 3 cartes, 150 F, 1955.

Livraison 2. **Mvuazi** (Bas-Congo), 40 pp., 2 cartes, 3 fig., 100 F, 1954.

Livraison 3. **Vallée de la Ruzizi**, 48 pp., 2 cartes, 100 F, 1955.

Livraison 4. **Nioka** (Ituri), 58 pp., 5 cartes, 3 fig., 7 pl., 450 F, 1954.

Livraison 5. **Mosso** (Urundi), 40 pp., 5 cartes, 200 F, 1955.

Livraison 6. **Yangambi**. Planchette 1 : Weko, 23 pp., 2 cartes, 100 F, 1954.

Planchette 2 : Yangambi, 36 pp., 2 cartes, 100 F, 1956.

Livraison 7. **Bugesera-Mayaga** (Ruanda), 58 pp., 1 fig., 3 cartes, 150 F, 1956.

Livraison 8. **Vallée de la Lufira**, 71 pp., 2 cartes, 1 fig., 100 F, 1956.

Livraison 9. **Région d'Élisabethville** (en préparation).

COLLECTION IN-4°

LOUIS J. et FOUARGE, J., **Essences forestières et bois du Congo.**

Fascicule 1. Introduction, 72 pp., 1 tabl. + 15 pl. hors texte, 180 F, 1953.

Fascicule 2. *Afrormosia elata*, 22 pp., 6 pl., 3 fig., 55 F, 1943.

Fascicule 3. *Guarea Thompsoni*, 38 pp., 4 pl., 8 fig., 85 F, 1944.

Fascicule 4. *Entandrophragma palustre*, 75 pp., 4 pl., 5 fig., 180 F, 1947.

Fascicule 5. *Guarea Laurentii*. XIV + 14 pp., 1 portrait héliogr., 3 pl., 60 F, 1948.

Fascicule 6. *Macarobium Dewevrei*, 44 pp., 5 pl., 4 fig., 90 F, 1949.

BERNARD, E., **Le climat écologique de la Cuvette centrale congolaise**, 240 pp., 36 fig., 2 cartes, 70 tabl., 300 F, 1945.

BULTOT, F., **Régimes normaux et cartes des précipitations dans l'Est du Congo belge (Long. : 26° à 31° Est, Lat. : 4° Nord à 5° Sud) pour la période 1930 à 1946** (Communication n° 1 du Bureau climatologique), 56 pp., 1 fig., 1 pl., 13 cartes, 300 F, 1950.

BULTOT, F., **Carte des régions climatiques du Congo belge établie d'après les critères de Köppen** (Communication n° 2 du Bureau climatologique), 16 pp., 1 carte, 80 F, 1950.

BULTOT, F., **Sur le caractère organisé de la pluie au Congo belge** (Communication n° 6 du Bureau climatologique), 16 pp., 8 cartes, 80 F, 1952.

BULTOT, F., **Saisons et périodes sèches et pluvieuses au Congo belge et au Ruanda-Urundi** (Communication n° 9 du Bureau climatologique), 70 pp., 1 fig., 7 cartes, 16 tabl., 250 F, 1954.

- BULTOT, F., **Étude statistique des pluies intenses en un point et sur une aire au Congo belge et au Ruanda-Urundi** (Communication n° 11 du Bureau climatologique), 90 pp., 100 F, 1956.
- BULTOT, F., **Risques d'années sèches et pluvieuses au Congo belge et au Ruanda-Urundi** (Communication n° 13 du Bureau climatologique), 22 pp., 5 cartes, 80 F, 1957.
- BULTOT, F., **Distribution conjointe de la température et de l'humidité de l'air au Congo belge** (Communication n° 14 du Bureau climatologique) (sous presse).
- *** **Chutes de pluie au Congo belge et au Ruanda-Urundi pendant la décade 1940-1949** (Communication n° 3 du Bureau climatologique), 248 pp., 160 F, 1951.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1950** (Communication n° 4 du Bureau climatologique), 103 pp., 100 F, 1952.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1951** (Communication n° 5 du Bureau climatologique), 99 pp., 100 F, 1952.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1952** (Communication n° 7 du Bureau climatologique), 145 pp., 120 F, 1953.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1953** (Communication n° 8 du Bureau climatologique), 153 pp., 120 F, 1954.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1954** (Communication n° 10 du Bureau climatologique), 161 pp., 120 F, 1955.
- *** **Bulletin climatologique annuel du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Année 1955** (Communication n° 12 du Bureau climatologique), 202 pp., 1 carte hors texte, 80 F, 1956.
- DE HEINZELIN, J., **Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo**, 168 pp., 52 fig., 1 tabl. + 8 pl. hors texte, 250 F, 1952.
- FOURGE, J., GÉRARD, G. et SACRÉ, E., **Bois du Congo**, 424 pp., 1 tabl. + 41 pl. hors texte, 400 F, 1953.

HORS SÉRIE

- *** **Renseignements économiques sur les plantations du Secteur central de Yangambi**, 24 pp., 10 F, 1935.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1936**, 143 pp., 48 fig., 30 F, 1937.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1937**, 181 pp., 26 fig., 1 carte hors texte, 40 F, 1938.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (1^{re} partie)**, 272 pp., 35 fig., 1 carte hors texte, 60 F, 1939.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (2^e partie)**, 216 pp., 50 F, 1939.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1939**, 301 pp., 2 fig., 1 carte hors texte, 50 F, 1941.
- *** **Rapport pour les Exercices 1940 et 1941**, 152 pp., 50 F, 1943 (imprimé en Afrique).
- *** **Rapport pour les Exercices 1942 et 1943**, 154 pp., 50 F, 1944 (imprimé en Afrique).
- *** **Rapport pour les Exercices 1944 et 1945**, 191 pp., 80 F, 1947.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1946**, 184 pp., 70 F, 1948.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1947**, 217 pp., 80 F, 1948.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1948**, 290 pp., 150 F, 1949.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1949**, 306 pp., 150 F, 1950.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1950**, 392 pp., 160 F, 1951.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1951**, 436 pp., 160 F, 1952.

4. BEIRNAERT, A., **Germination des graines d'Elaeis. Essais entrepris à Yangambi**, 39 pp., 7 fig., 8 F, 1936 (épuisé).
5. WAELKENS, M., **Travaux de sélection du coton**, 107 pp., 23 fig., 50 F, 1936 (épuisé).
6. FERRAND, M., **La multiplication de l'*Hevea brasiliensis* au Congo belge**, 34 pp., 11 fig., 12 F, 1936 (épuisé).
7. REYFENS, J.-L., **La production de la banane au Cameroun**, 22 pp., 20 fig., 8 F, 1936 (épuisé).
8. PITTEY, R., **Quelques données sur l'expérimentation cotonnière. — Influence de la date des semis sur le rendement. — Essais comparatifs**, 61 pp., 47 tabl., 23 fig., 40 F, 1936.
9. WAELKENS, M., **La purification du Triumph Big Boll dans l'Uele**, 44 pp., 22 fig., 30 F, 1936.
10. WAELKENS, M., **La campagne cotonnière 1935-1936**, 46 pp., 9 fig., 25 F, 1936.
11. WILBAUX, R., **Quelques données sur l'épuration de l'huile de palme**, 16 pp., 6 fig., 5 F, 1937 (épuisé).
12. STOFFELS, E., **La taille du caféier *arabica* au Kivu**, 34 pp., 22 fig., 8 photos, 9 planches, 15 F, 1937 (épuisé).
13. WILBAUX, R., **Recherches préliminaires sur la préparation du café par voie humide**, 50 pp., 3 fig., 12 F, 1937 (épuisé).
14. SOYER, L., **Une méthode d'appréciation du coton-graines**, 30 pp., 7 fig., 9 tabl., 8 F, 1937 (épuisé).
15. WILBAUX, R., **Recherches préliminaires sur la préparation du cacao**, 71 pp., 9 fig., 40 F, 1937 (épuisé).
16. SOYER, D., **Les caractéristiques du cotonnier au Lomami. — Étude comparative de cinq variétés de cotonniers expérimentées à la Station de Gandajika**, 60 pp., 14 fig., 3 pl., 24 tabl., 40 F, 1937.
17. RINGOET, A., **La culture du quinquina. — Possibilités au Congo belge**, 40 pp., 9 fig., 10 F, 1938 (épuisé).
18. GILLAIN, J., **Contribution à l'étude des races bovines indigènes au Congo belge**, 33 pp., 16 fig., 20 F, 1938.
19. OPSOMER, J.-E. et CARNEWAL, J., **Rapport sur les essais comparatifs du décorticage de riz exécutés à Yangambi en 1936 et 1937**, 39 pp., 6 fig., 12 tabl. hors texte, 25 F, 1938.
20. LECOMTE, M., **Recherches sur le cotonnier dans les régions de savane de l'Uele**, 38 pp., 4 fig., 8 photos, 20 F, 1938.
21. WILBAUX, R., **Recherches sur la préparation du café par voie humide**, 45 pp., 11 fig., 30 F, 1938 (épuisé).
22. BANNEUX, L., **Quelques données économiques sur le coton au Congo belge**, 46 pp., 25 F, 1938.
23. GILLAIN, J., **"East Coast Fever". — Traitement et immunisation des bovidés**, 32 pp., 14 graph., 20 F, 1939.
24. STOFFELS, E.-H.-J., **Le quinquina**, 51 pp., 21 fig., 3 pl., 12 tabl., 18 F, 1939 (épuisé).
- 25a. FERRAND, M., **Directives pour l'établissement d'une plantation d'*Hevea* greffés au Congo belge**, 48 pp., 4 pl., 13 fig., 30 F, 1941.
- 25b. FERRAND, M., **Aanwijzingen voor het aanleggen van een geënte *Hevea* aanplanting in Belgisch-Congo**, 51 pp., 4 pl., 13 fig., 30 F, 1941.
26. BEIRNAERT, A., **La technique culturale sous l'Équateur**, xi-86 pp., 1 portrait héliogr., 4 fig., 22 F, 1941 (épuisé).
27. LIVENS, J., **L'étude du sol et sa nécessité au Congo belge**, 53 pp., 1 fig., 16 F, 1943 (épuisé).
- 27^{bis}. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Note préliminaire concernant l'influence du dispositif de plantation sur les rendements. (Communication n° 1 sur le palmier à huile)**, 26 pp., 8 tabl., 10 F, 1940 (épuisé).
28. RINGOET, A., **Note sur la culture du cacaoyer et son avenir au Congo belge**, 82 pp., 6 fig., 36 F, 1944.

48. LEFÈVRE, P.-C., *Bruchus obtectus* SAY ou Bruche des haricots (*Phaseolus vulgaris* L.) 68 pp., 35 F, 1950.
49. LECOMTE, M., DE COENE, R. et CORCELLE, F., Observations sur les réactions du cotonnier aux conditions de milieu, 55 pp., 7 fig., 70 F, 1951.
50. LAUDELOUT, H. et DU BOIS, H., Microbiologie des sols latéritiques de l'Uele, 36 pp., 30 F, 1951.
51. DONIS, C. et MAUDOUX, E., Sur l'uniformisation par le haut. Une méthode de conversion des forêts sauvages, 80 pp., 4 fig. hors texte, 100 F, 1951.
52. GERMAIN, R., Les associations végétales de la plaine de la Ruzizi (Congo belge) en relation avec le milieu, 322 pp., 28 fig., 83 photos, 180 F, 1952.
53. ISTAS, J.-R. et RAERELBOOM, E.-L., Contribution à l'étude chimique des bois du Mayumbe, 122 pp., 17 pl., 3 tabl., 100 F, 1952.
54. FRIPIAT, J.-J. et GASTUCHE, M.-C., Étude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes du fer trivalent, 60 pp., 50 F, 1952.
55. DE LEENHEER, L., D'HOORE, J. et SYS, K., Cartographie et caractérisation pédologique de la catena de Yangambi, 62 pp., 50 F, 1952.
56. RINGOET, A., Recherches sur la transpiration et le bilan d'eau de quelques plantes tropicales (Palmier à huile, Cafier, Cacaoyer, etc.), 139 pp., 25 fig., 140 F, 1952.
57. BARTHOLOMEW, W.V., MEYER, J. et LAUDELOUT, H., Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) Region - With some preliminary results on the decomposition of plant material on the forest floor, 27 pp., 10 tabl., 30 F, 1953.
58. HOMÈS, M.-V., L'alimentation minérale du cacaoyer (*Theobroma Cacao* L.), 128 pp., 6 fig., 125 F, 1953.
59. RUHE, R.V., Erosion Surfaces of Central African Interior High Plateaus, 56 pp., 100 F, 1954.
60. WAEGEMANS, G., Les latérites de Gimbi (Bas-Congo), 28 pp., 4 fig., 4 photos, 25 F, 1954.
61. MULLENDERS, W., La végétation de Kaniama (Entre-Lubishi-Lubilash, Congo belge), 499 pp., 39 fig., 18 pl., 6 tabl. hors texte, 180 F, 1954.
62. D'HOORE, J., L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux, 132 pp., 37 photos, 24 fig., 80 F, 1954.
- 62^{bis}. D'HOORE, J., De accumulatie van vrije sesquioxiden in tropische gronden, 134 pp., 37 foto's, 24 fig., 80 F, 1954.
63. LEBRUN, J. et GILBERT, G., Une classification écologique des forêts du Congo, 90 pp., 1 fig., 1 carte hors texte, 16 photos, 60 F, 1954.
64. DE HEINZELIN, J., Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux, 37 pp., 14 fig., 30 F, 1955.
65. DEVRED, R., Les savanes herbeuses de la région de Mvuazi (Bas-Congo), 115 pp., 7 tabl., 100 F, 1956.
66. RUHE, V., Landscape evolution in the High Ituri, Belgian Congo, 92 pp., 8 fig., 7 photos, 6 tabl., 90 F, 1956.
67. GERMAIN, R. et EVRARD, C., Étude écologique et phytosociologique de la forêt à *Brachystegia laurentii*, 105 pp., 12 fig., 7 photos, 90 F, 1956.
68. BERNARD, E., Le déterminisme de l'évaporation dans la nature (sous presse).
69. MOLLE, A., L'alimentation minérale du cafier, (*Coffea canephora* PIERRE), 164 pp., 6 fig., 160 F, 1957.

SÉRIE TECHNIQUE

1. RINGOET, A., Notes sur la préparation du café, 52 pp., 13 fig., 5 F, 1935 (épuisé).
2. SOYER, L., Les méthodes de mensuration de la longueur des fibres de coton, 27 pp., 12 fig., 3 F, 1935 (épuisé).
3. SOYER, L., Technique de l'autofécondation et de l'hybridation des fleurs du cotonnier, 19 pp., 4 fig., 2 F, 1935 (épuisé).

- *** **Jaarverslag voor het dienstjaar 1952**, 398 pp., 160 F, 1953.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1953**, 507 pp., 160 F, 1954.
- *** **Jaarverslag voor het dienstjaar 1953**, 509 pp., 160 F, 1954.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1954**, 492 pp., 160 F, 1955.
- *** **Jaarverslag voor het dienstjaar 1954**, 492 pp., 160 F, 1955.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1955**, 570 pp., 160 F, 1956.
- *** **Jaarverslag voor het dienstjaar 1951**, 438 pp., 160 F, 1953.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1952**, 395 pp., 160 F, 1953.
- GOEDERT, P., **Le régime pluvial au Congo belge**, 45 pp., 4 tabl., 15 pl. et 2 graph. hors texte, 40 F, 1938 (épuisé).
- BELOT, R.-M., **La sériciculture au Congo belge**, 148 pp., 65 fig., 15 F, 1938 (épuisé).
- BAEYENS, J., **Les sols de l'Afrique centrale et spécialement du Congo belge**, Tome I. Le Bas-Congo, 375 pp., 9 cartes, 31 fig., 40 ph., 50 tabl., 150 F, 1938 (épuisé).
- LEBRUN, J., **Recherches morphologiques et systématiques sur les caffiés du Congo**, 183 pp., 19 pl., 80 fr., 1941 (épuisé).
- TONDEUR, R., **Recherches chimiques sur les alcaloïdes de l'« Erythrophleum »,** 52 pp., 50 F, 1950.
- *** **Communications de l'I.N.É.A.C., Recueil n° 1**, 66 pp., 7 fig., 60 F, 1943 (imprimé en Afrique) (épuisé).
- *** **Communications de l'I.N.É.A.C., Recueil n° 2**, 144 pages, 60 F, 1945 (imprimé en Afrique).
- *** **Comptes rendus de la Semaine agricole de Yangambi** (du 26 février au 5 mars 1947), 2 vol. illustr., 952 pp., 500 F, 1947.
- *** **L'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge (INÉAC). Son but. Son programme. Ses réalisations**, 3^e éd., juin 1956, 114 pp., 32 pl. hors texte, 100 F, 1956.

FICHES BIBLIOGRAPHIQUES

Les fiches bibliographiques éditées par l'Institut peuvent être distribuées au public moyennant un abonnement annuel de 500 F (pour l'étranger, port en plus). Cette documentation bibliographique est éditée bimensuellement, en fascicules d'importance variable, et comprend environ 3000 fiches chaque année. Elle résulte du recensement régulier des acquisitions des bibliothèques de l'Institut qui reçoivent la plupart des publications périodiques et des ouvrages de fond intéressant la recherche agronomique en général et plus spécialement la mise en valeur agricole des pays tropicaux et subtropicaux.

Outre les indications bibliographiques habituelles, ces fiches comportent un indice de classification (établi d'après un système empirique calqué sur l'organisation de l'Institut) et un compte rendu sommaire.

Un fascicule-spécimen peut être obtenu sur demande.

BULLETIN D'INFORMATION DE L'INÉAC

1. Publié sous la même couverture que le **Bulletin agricole du Congo belge** (s'adresser à la Rédaction de ce dernier Bulletin, au Ministère des Colonies, 7, place Royale, Bruxelles).

2. Publié séparément (s'adresser à l'INÉAC).

Vol. I, 1952 (trimestriel) : 75 F.

Vol. II, 1953 (bimestriel) : 100 F.

Vol. III, 1954 (bimestriel) : 100 F.

Vol. IV, 1955 (bimestriel) : 100 F.

Vol. V, 1956 (bimestriel) : 100 F.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Formule calculée en produits techniques en pour cent du total pondéral :

Kieserite (82-83 % Mg SO ₄)	21,6
Superphosphate triple	12,9
Sulfate de potasse	14,0
Nitrate de potasse	3,4
Nitrate ammonique (20,5 % N)	37,5
Plâtre	10,6
	100,0

Cette formule ne constitue qu'un exemple, d'une part, parce que d'autres formes de réalisation sont possibles, notamment en faisant appel à d'autres engrais chimiques disponibles sur le marché et, d'autre part, parce qu'à côté du mélange de constituants connus, d'autres modes de fabrication peuvent conduire directement aux solutions souhaitées.

Quoi qu'il en soit, nous conseillons aux utilisateurs de ne pas s'engager à la légère ni dans le choix des formules ni dans leur préparation sans prendre toutes les informations utiles.

L'introduction d'ammonium dans la formule d'engrais ci-dessus ne découle pas directement de l'expérimentation présentée dans ce travail, mais constitue une nécessité de la réalisation pratique des mélanges.

En dépit du fait que l'ammonium est ici considéré comme un anion en raison de son comportement physiologique dans le métabolisme de la plante, il va sans dire qu'il agit probablement comme un cation sur la perméabilité radiculaire. A ce titre, l'ammonium est vraisemblablement susceptible de modifier certains rapports favorables entre cations (particulièrement le rapport K/Ca) dans la plante et le milieu. On se souviendra de cette remarque lors de l'interprétation de données analytiques sur le végétal, postérieures à une application d'engrais comportant l'ammonium.

MM. SIMONART, P., Professeur à l'Université Catholique de Louvain;
STANER, P., Inspecteur royal des Colonies;
STOFFELS, E., Professeur à l'Institut Agronomique de Gembloux;
TULIPPE, O., Professeur à l'Université de Liège;
VAN DE PUTTE, M., Membre du Conseil Colonial;
VAN STRAELEN, V., Président de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge;
WILLEMS, J., Administrateur-Directeur du Fonds National de la Recherche Scientifique.

B. COMITÉ DE DIRECTION

Président :

M. JURION, F., Directeur général de l'I.N.É.A.C.

Représentant du Ministre des Colonies :

M. STANER, P., Inspecteur royal des Colonies.

Secrétaire :

M. LEBRUN, J., Secrétaire général de l'I.N.É.A.C.

Membres :

MM. GILLIEAUX, P., Membre du Comité Cotonnier Congolais;

HENRARD, J., Directeur de l'Agriculture, Forêts, Élevage et Colonisation, au Ministère des Colonies;

HOMÈS, M., Professeur à l'Université Libre de Bruxelles;

OPSOMER, J., Professeur à l'Institut Agronomique de Louvain;

STOFFELS, E., Professeur à l'Institut Agronomique de Gembloux;

VAN STRAELEN, V., Président de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge.

C. DIRECTEUR GÉNÉRAL

M. JURION, F.



Des Presses des Éts VROMANT, s. A.,
3, rue de la Chapelle, Bruxelles.