

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

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE  
DES DÉFICIENCES MINÉRALES  
DU CAFÉIER D'ARABIE  
AU KIVU**

PAR

**J. P. CULOT**

Ingénieur chimiste  
et des Industries agricoles Gx

ET

**A. VAN WAMBEKE**

Ingénieur agronome Gd

Assistants à la Division d'Agrologie de l'I.N.É.A.C.

*avec la collaboration de*

**J. CROEGAERT**

Chef de la Division de Chimie agricole de l'I.N.É.A.C.

---

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 73  
1958

---

---

PRIX : 120 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 BRUYNE, E.,** Président du Conseil académique de l'Institut Universitaire des Territoires d'Outre-Mer;
- DE WILDE, L.,** Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gand;
- DONIS, C.,** Professeur à l'Institut Agronomique de Gembloux;
- 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;
- 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;
- JANSSENS, P.,** Professeur à l'Institut de Médecine tropicale « Prince Léopold »;
- MAQUET, M.,** Membre de la Commission de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo belge;
- 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;



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE  
DES DÉFICIENCES MINÉRALES  
DU CAFÉIER D'ARABIE  
AU KIVU



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

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE  
DES DÉFICIENCES MINÉRALES  
DU CAFÉIER D'ARABIE  
AU KIVU**

PAR

**J. P. CULOT**  
Ingénieur chimiste  
et des Industries agricoles Gx

ET

**A. VAN WAMBEKE**  
Ingénieur agronome Gd

Assistants à la Division d'Agrologie de l'I. N. É. A. C.

*avec la collaboration de*

**J. CROEGAERT**

Chef de la Division de Chimie agricole de l'I. N. É. A. C.

**SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 73  
1958**



## TABLE DES MATIÈRES

	Pagea
AVANT-PROPOS . . . . .	9
INTRODUCTION . . . . .	11
PREMIÈRE PARTIE : <i>Les conditions écologiques des plantations de caféier d'Arabie</i> . . . . .	15
§ 1. Le milieu . . . . .	15
A. Généralités . . . . .	15
B. Climat . . . . .	15
§ 2. Les sols et leur classification . . . . .	18
A. Introduction et généralités . . . . .	18
B. Eléments de la classification . . . . .	20
1. Nature du matériau originel . . . . .	20
2. Mode et degré d'évolution du profil pédologique . . . . .	25
C. Les groupes de sol . . . . .	28
§ 3. Description des sols . . . . .	30
A. Les lithosols . . . . .	30
B. Les régosols . . . . .	30
C. Les sols colluviaux jeunes . . . . .	33
D. Les sols bruns . . . . .	36
E. Les sols bruns d'altitude . . . . .	38
F. Les sols bruns podzoliques . . . . .	40
G. Les latosols . . . . .	41
H. Les sols hydromorphes . . . . .	42



<b>DEUXIÈME PARTIE : Les déficiences en éléments nutritifs et la composition chimique des feuilles du caféier d'Arabie . . . . .</b>	<b>44</b>
§ 1. Les déficiences en éléments nutritifs . . . . .	44
A. Aperçu général des symptômes observés . . . . .	44
B. La méthode d'échantillonnage . . . . .	45
C. La déficience en azote . . . . .	46
D. La déficience en calcium . . . . .	47
E. La déficience en magnésium . . . . .	51
F. La déficience en potassium . . . . .	54
G. La déficience potassique et azotée . . . . .	55
H. La chlorose calcaire . . . . .	56
I. La chlorose internervienne en sol acide . . . . .	60
J. La carence en manganèse . . . . .	61
K. La déficience en bore . . . . .	66
L. Le syndrome d'un excès d'acidité du sol . . . . .	69
M. Autres faciès . . . . .	74
1. La décoloration marginale des jeunes feuilles . . . . .	75
2. Le retournement des feuilles des branches hautes . . . . .	75
3. La brûlure . . . . .	76
§ 2. Composition chimique des feuilles du caféier d'Arabie . . . . .	77
A. Teneurs en éléments majeurs . . . . .	78
B. Teneurs en éléments mineurs . . . . .	80
C. Interactions et rapports entre éléments nutritifs . . . . .	84
<b>TROISIÈME PARTIE : Les exigences édaphiques du caféier d'Arabie . . . . .</b>	<b>89</b>
§ 1. La profondeur du sol meuble . . . . .	90
§ 2. Les propriétés de la couche humifère . . . . .	91
§ 3. L'économie en eau . . . . .	92
§ 4. La composition du matériau originel . . . . .	93
§ 5. Le développement du profil pédologique . . . . .	94
§ 6. La nature et les caractères de saturation du complexe sorbant . . . . .	94
§ 7. Conditions extra-édaphiques . . . . .	95
<b>CONCLUSIONS GÉNÉRALES . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE . . . . .</b>	<b>103</b>

## AVANT-PROPOS

Dans la présente étude seront tirées les principales conclusions d'une mission que les auteurs ont effectuée au Kivu en mai et juin 1956. Celle-ci avait pour but d'étudier, en fonction des conditions écologiques et édaphiques de cette région, les symptômes de carences que peut manifester le caféier d'Arabie, leurs causes et les variations dans la composition chimique du feuillage qu'elles induisent.

Les auteurs tiennent à remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail :

M. W. GAIE, alors Assistant à la Station de Recherches agronomiques de l'INÉAC à Mulungu, qui les a accueillis et aidés dans l'organisation matérielle de cette mission;

MM. SCHOENMAECKERS, WATTÉ et HERMAN de l'Office des Produits Agricoles de Costermansville (OPAC) qui les ont accompagnés durant une partie de leurs pérégrinations et leur ont évité bien des aléas par leur connaissance des plantations et de leurs problèmes;

Messieurs les planteurs, pour l'empressement avec lequel ils se sont mis à leur disposition pour la visite de leurs plantations.

Les analyses pédologiques et la fraction « éléments majeurs » des analyses foliaires ont été réalisées par M. J. CROEGAERT, alors chef du Laboratoire central de Pédologie de Yangambi et ses collaborateurs, MM. E. PAMPFER et G. QUIDOUSSE.

M. H. LAUDELOUT, Conseiller technique de l'I.N.É.A.C., a bien voulu se charger de la révision du manuscrit.

Les auteurs les en remercient vivement.



## INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, l'attention des agronomes et des planteurs du Kivu avait été attirée par divers symptômes, foliaires et autres, que manifeste en divers endroits le caféier d'Arabie. Toute maladie parasitaire devant être exclue, ils furent attribués à des déficiences en éléments minéraux et particulièrement en oligo-éléments.

Leur incidence allant grandissant, l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge (INÉAC) fut appelé, par l'Office des Produits Agricoles de Costermansville, à se pencher sur ce problème.

A la suite d'une première mission d'information effectuée en 1955, MM. H. LAUDELOUT, A. MOLLE et J. P. CULOT [1956], conclurent déjà à la certitude de graves carences en oligo-éléments.

Une prospection approfondie des caféières du Kivu s'imposait pour préciser et élargir ces premières conclusions.

Effectuée en 1956, celle-ci a pratiquement couvert toute l'aire d'extension du caféier d'Arabie du Kivu-Sud et du Kivu-Nord, depuis Bukavu jusqu'à Butembo. Cinquante-deux plantations, distribuées dans cette vaste superficie, furent visitées.

En raison de la grande variété de sols rencontrés, la première partie de ce travail est consacrée à l'élaboration d'un système de classification.

Les symptômes de carence que manifeste le caféier et la composition chimique des feuilles sont étudiés en détail dans la seconde partie de l'ouvrage.

Une troisième partie enfin, corollaire des précédentes, traite plus spécialement des exigences édaphiques du caféier d'Arabie.

Les termes utilisés pour les caractérisations des profils sont conformes à ceux du « Soil Survey Manual » [1949].

Les couleurs des différents horizons ont été déterminées sur sol frais à l'aide de la « Munsell Soil Color Chart ». Nous ne possédions malheureusement pas la « Munsell Plant Color Chart » pour la détermination des colorations foliaires.

## INTRODUCTION

Les méthodes d'analyse pédologiques, couramment employées à la Division d'Agrologie de l'INÉAC à Yangambi [S.P.I., s.d.], furent d'application :

- analyse mécanique : méthode de sédimentation après élimination du refus au tamis de 2 mm;
- carbone organique : méthode de WALKLEY et BLACK;
- azote : méthode de KJELDAHL;
- pH : électrode de verre sur une suspension sol/eau de 1/2,5;
- valeur T et cations échangeables des échantillons de surface : percolation à l'acétate d'ammonium neutre normal;
- valeur T des échantillons de profil : percolation à l'acétate de calcium à pH 6,5; cations échangeables : échange à l'acide chlorhydrique N/20;
- phosphore assimilable : méthode de TRUOG.

Pour le dosage des oligo-éléments, on recourut aux méthodes suivantes :

- bore total et bore soluble : processus préconisé par BERGER et TRUOG [1944];
- les différentes formes de manganèse du sol : processus préconisé par LEEPER [1947];
- zinc et cuivre assimilables : méthode biologique utilisant *Aspergillus niger* [GERRETSEN, 1948 et DOLE, 1952].

La caractérisation des argiles eut lieu par analyse thermique différentielle, analyse thermogravimétrique et détermination de la capacité de sorption à l'acétate d'ammonium.

Pour les plantes, les déterminations suivantes furent effectuées :

- l'azote par kjeldahlisation et titration de l'ammoniaque après distillation;
- P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Mo, après digestion humide nitrique perchlorique selon la méthode TOTH *et al.* [1948], respectivement par
  - céruléomolybdimétrie selon TRUOG pour le phosphore;
  - volumétrie pour le calcium et le magnésium, après séparation respectivement sous forme d'oxalate et de phosphate ammoniacomagnésien;
  - spectrophotométrie de flamme pour le potassium et le sodium;
  - colorimétrie par l'orthophénantroline pour le fer;
  - colorimétrie du permanganate formé par oxydation avec le periodate en milieu phosphorique pour le manganèse;
  - colorimétrie du dithizonate pour le zinc (« Monocolor method AOAC »);
  - colorimétrie du composé formé avec le sulfocyanure pour le molybdène.

## INTRODUCTION

Le bore fut dosé par colorimétrie au carmin selon HATCHER *et al.* [1950] après calcination séparée, et le cuivre par une méthode microbiologique utilisant *Aspergillus niger*.

Ces différentes méthodes furent choisies parmi beaucoup d'autres en raison de leur appropriation à des dosages en grandes séries.



## PREMIÈRE PARTIE

### LES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS DE CAFÉIER D'ARABIE

#### § 1. Le milieu.

##### A. Généralités.

Le Kivu, province orientale du Congo belge, est situé entre les longitudes 25 et 30° Est et les latitudes 1° Nord et 5° Sud.

Il englobe une partie importante de la région du Graben centrafricain.

ROBERT [1946] et SCAËTTA [1934] en ont détaillé les caractères géographiques et LEBRUN [1936] en a étudié et caractérisé les formations végétales.

La culture du caféier d'Arabie s'y étend pratiquement sur toute sa latitude entre 28 et 30° de longitude Est et à des altitudes comprises entre 1.200 et 1.900 m. Les quelques plantations de rendement satisfaisant situées en dehors de ces limites hypsométriques bénéficient alors de conditions éoclimatiques particulières et favorables.

##### B. Climat.

Au sein même de l'aire d'extension ainsi définie, le relief très tourmenté induit de fortes variations climatiques ainsi qu'il ressort des données produites par SCAËTTA [1933], VANDENPLAS [1948] et BULTOT [1950a].

Les régions caféières s'y situent dans les zones climatiques Am, Aw et Cf de KÖPPEN, telles qu'elles ont été délimitées par BULTOT [1950b].



**TABEAU I**  
*Moyennes mensuelles et annuelles en mm des hauteurs de pluie observées dans différentes stations de référence de la région caféière (période 1930-1946)<sup>1</sup>.*

Nom des stations	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Moyennes mensuelles (mm)												Moyenne annuelle (mm)	Température moyenne annuelle	Température moyenne du mois le plus froid
	Longitude Est	Latitude		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
Beni . . .	29°30'	0°30'N	1.178	70	110	131	210	168	111	124	192	177	189	146	92	1.720	—	—
Burembo .	29°17'	0°08'N	1.763	58	110	133	120	95	86	95	151	164	147	147	80	1.386	17°2	16°6
Lubero . .	29°13'	0°09'S	1.965	104	153	169	191	129	124	119	123	125	103	139	103	1.582	—	—
Bobandana .	29°00'	1°42'S	1.540	109	121	142	202	204	98	41	59	108	148	137	113	1.482	19°6	18°8
Kalehe . .	28°55'	2°06'S	1.500	159	136	173	242	197	81	21	62	144	178	224	172	1.789	—	—
Katana . .	28°51'	2°13'S	1.500	147	143	152	176	132	49	19	63	134	155	179	172	1.521	—	—
Buinika . .	28°48'	2°17'S	1.740	138	131	149	167	128	45	22	47	112	146	148	140	1.373	—	—
Tshibinda .	28°45'	2°19'S	2.115	173	190	180	212	157	62	24	60	140	220	208	200	1.826	16°	15°
Kabare . .	28°48'	2°29'S	1.960	164	165	169	143	82	35	16	34	89	148	152	162	1.359	16°7	16°2

1. D'après BULTOT [1950].

TABLEAU II

Moyennes mensuelles et annuelles en mm des hauteurs de pluie de diverses stations de la région cafetière  
(période 1940-1946).<sup>1</sup>

Nom des stations	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Moyennes mensuelles (mm)												Moyenne annuelle (mm)
	Longi-tude Est	Lati-tude		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Rutshuru . .	29°26'	1°10'S	1.277	78	61	99	153	182	80	52	100	128	136	151	86	1.306
Masi . . .	28°49'	1°25'S	1.600	167	155	191	186	137	73	58	171	141	184	209	156	1.828
Sake . . . .	29°02'	1°34'S	1.500	154	121	183	143	152	76	13	54	82	116	170	140	1.404
Mwambaliro .	29°00'	1°36'S	1.700	145	110	181	123	142	72	22	57	77	123	164	101	1.317
Mubimbi . .	29°02'	1°43'S	1.460	133	115	170	224	261	138	25	65	98	133	186	131	1.679
Makele . . .	29°00'	1°46'S	1.500	129	131	195	268	341	117	17	77	123	151	186	146	1.881
Bugasa . . .	28°56'	2°04'S	1.500	188	132	185	245	225	78	16	82	134	173	248	197	1.903
Kakondo . .	28°52'	2°14'S	1.679	143	139	130	141	159	31	23	68	92	142	189	172	1.429
Lushasha . .	28°48'	2°11'S	1.950	231	186	216	290	249	74	11	87	167	256	306	223	2.296
Mulungu . .	28°48'	2°18'S	1.600	159	167	126	160	156	50	14	64	100	139	176	168	1.479
Mushweshwe .	28°54'	2°18'S	1.550	141	92	133	138	145	45	14	62	86	150	157	144	1.307
Birava (*) . .	28°54'	2°20'S	1.550	140	139	138	149	89	35	11	41	114	119	123	134	1.232
Nyagazi . . .	28°51'	2°41'S	1.600	130	139	158	190	134	31	9	27	76	115	197	159	1.365
Lubarika . .	28°57'	2°50'S	850	122	122	124	178	139	26	4	17	27	68	134	186	1.146
Ngweshe (*) .	28°36'	2°42'S	1.735	150	163	167	155	58	48	29	39	111	166	189	174	1.449

(\*) Période 1930-1939. 1. D'après Bulror [1950].

La température moyenne annuelle atteint des valeurs de 16 à 23 °C selon l'altitude et la situation géographique. Il y tombe en moyenne annuellement de 1.100 à 1.900 mm de pluies (tabl. I et II).

Si dans la partie Nord, et bien que des saisons de moindre pluviosité y soient nettement marquées, il n'y a pas de mois secs (à chute de pluies moindre que 60 mm), par contre, en passant de 1 à 3° de latitude Sud, il y a de un à trois mois secs en moyenne par an.

Il ressort des données climatiques se rapportant à toute la zone caféière envisagée, que les climats du type Am et Aw 1 à 3 seraient optima pour la culture du caféier d'Arabie au Kivu; les climats de type Af d'autre part, ne lui seraient favorables que pour autant qu'ils se situent à la limite de transition vers les premiers.

On comprend dès lors l'importance des microclimats locaux et le rôle prépondérant joué par l'exposition, l'ombrage et la présence d'écrans forestiers.

## § 2. Les sols et leur classification.

### *A. Introduction et généralités.*

L'examen systématique des sols du Kivu voués actuellement à la culture caféière, constituait le premier de nos objectifs. Nous tenterons d'en dégager les caractères pédologiques et d'en définir la valeur agronomique.

La connaissance du milieu édaphique est en effet indispensable à l'interprétation des troubles d'alimentation minérale et des phénomènes de carences qui s'y manifestent.

La grande diversité des sols et la nécessité de pouvoir tirer des conclusions générales applicables à l'ensemble des plantations de caféier d'Arabie du Kivu nous ont obligés à élaborer un système de classification des sols.

Une telle « systématique » doit permettre le groupement dans une même classe des sols possédant un ensemble de caractères communs liés à un critère principal.

La classification doit tendre d'autre part à faire ressortir les rapports et les différences entre les groupes : elle sera d'autant meilleure que cette fin sera mieux servie. Du choix judicieux des critères principaux dépendront donc, dans une large mesure, les qualités de continuité et de logique du système de classification envisagé.

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

Pour nos fins particulières, la signification agronomique des caractères distinctifs employés comme critère de différenciation primait toutes autres considérations.

La classification adoptée ne sera donc pas nécessairement conforme à celles dites « génétiques pures », dont le but est de retrouver, dans le temps et dans l'espace, l'histoire de la formation des sols et qui, au point de vue agronomique, ne se justifient pas toujours.

Deux éléments de classification ont retenu notre attention.

### **1. Nature du matériau originel** (c'est-à-dire le matériau dans lequel le profil pédologique se développe).

Nous l'envisagerons successivement sous trois angles différents :

1° origine géologique, c'est-à-dire la nature de la roche-mère dont il dérive et qui détermine sa composition minéralogique;

2° désintégration physique en particules plus ou moins fines, dont dépend la texture du sol et qui prépare la décomposition chimique des minéraux;

3° altération chimique qui mesure le degré de décomposition des minéraux primaires à partir desquels les minéraux secondaires résiduels ou de synthèse prennent naissance.

C'est ce dernier stade qui conditionne principalement la réserve en minéraux altérables et la nature des fractions argileuses, siège des propriétés physico-chimiques du sol.

### **2. Mode et degré d'évolution du profil pédologique** (c'est-à-dire différenciation en horizons du matériau originel).

Une série de modifications et de translocations de nature chimique, physique et biologique, simultanées ou successives, transforment le matériau originel après sa mise en place en un profil pédologique.

Bien que les multiples mécanismes en cause soient encore peu connus, on peut supposer avec raison que cette évolution mène à un nombre restreint de types. Chacun d'eux évolue, en fonction du climat, de la végétation et du relief, selon son propre processus. Certains sont déjà très bien décrits : podzols, tchernozems, etc.; nous pouvons donc parler de mode d'évolution d'après le type final vers lequel l'évolution du profil semble s'orienter.

De plus, l'évolution elle-même, quel qu'en soit son mode, peut avoir atteint un stade peu, moyennement, ou très avancé; celui-ci se déduit d'ailleurs du développement des caractéristiques morphologiques du profil.

Il convient de souligner que l'étude de la morphologie du profil pédologique est d'un intérêt agronomique indiscutable car elle permet notamment de mettre l'accent sur des zones d'étranglement physique ou chimique empêchant la pénétration des racines en profondeur, telles que la présence d'un horizon très lessivé, d'un horizon mal structuré, d'une carapace compacte, etc.

## B. *Eléments de la classification.*

### 1. **Nature du matériau originel.**

#### a. ORIGINE GÉOLOGIQUE.

La géologie de la partie du Kivu située au Sud de Luofu a été étudiée par la Mission Géologique du Comité National du Kivu à laquelle participaient A. SALÉE, N. BOUTAKOFF et J. DE LA VALLÉE-POUSSIN.

ASSELBERGHS [1939] en publia les résultats et classa les différentes formations géologiques dans les groupes suivants :

#### 1. *Dépôts sédimentaires* :

- A. Formations récentes
- B. Formations du Karroo
- C. Formations anciennes
  - a) système de l'Urundi
  - b) système de la Ruzizi.

#### 2. *Roches éruptives* :

- A. Roches effusives
- B. Roches intrusives.

Les formations géologiques rencontrées sont les suivantes :

#### *Le système de l'Urundi* :

Le système de l'Urundi est subdivisé par DELHAYE et SALÉE [1928] en trois niveaux :

- Niveau supérieur : schistes de la Muyovozi
- Niveau moyen : arkoses de Kangozi
- Niveau inférieur : schistes et quartzites de la Lufironza.

BOUTAKOFF [1939] distingue dans le niveau inférieur trois assises dont la première est décrite comme suit : « assise de schistes zonaires

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

et siliceux, parfois aussi monochromes. Intercalations peu nombreuses de quartzites en bancs minces lenticulaires ».

Ces quartzites sont durs, laiteux. Vers le bas, les schistes deviennent très sériciteux, biotitifères et des intercalations de micaschistes et d'amphiboloschistes apparaissent de plus en plus fréquentes pour préparer très graduellement le passage aux formations métamorphiques du Ruzizi supérieur.

Le système de l'Urundi est supposé être d'âge précambrien. En divers endroits, nous avons pu constater, à proximité des schistes et quartzites de la Lufironza, la présence d'injections d'itabirites.

### *Les basaltes du Sud du lac Kivu.*

Il s'agit principalement d'épanchements de basaltes à olivine. MEYER [1954] a fixé approximativement l'époque des venues basaltiques de Ngweshe-Kalehe au Pléistocène moyen.

### *Les cendrées volcaniques.*

Les dépôts de cendrées volcaniques sont principalement localisés entre le lac Kivu et le lac Édouard et entourent les Monts Virunga.

D'après les différents degrés d'évolution des sols observés, on devrait distinguer au moins deux époques d'éruption.

La première a déposé les cendrées « anciennes », qui peuvent sans doute être mises en corrélation avec les formations volcaniques de la Haute-Semliki datées par DE HEINZELIN [1955] dans le début de l'Holocène. Nous les avons observées dans la région de Rutshuru.

La seconde concerne des cendrées peu ou pas altérées qui couvrent le pourtour des champs de lave actuels de la région de Sake.

### *Les granites.*

BOUTAKOFF [1939] distingue trois groupes d'intrusions granitiques :

- 1) granites entièrement gneissifiés, qui injectent les formations du groupe de la Ruzizi;
- 2) granites intrusifs dans le système de l'Urundi;
- 3) granites pegmatoïdes à muscovite, tourmalines abondantes et feldspaths alcalins.

### *Les roches basiques.*

La majeure partie des roches ignées basiques observées lors de cette prospection sont à rapporter au groupe des diorites.

Les roches observées lors de l'étude pédologique de la région de Butembo, qui n'ont pas encore fait l'objet d'une étude géologique détaillée, peuvent aisément être insérées dans le schéma d'ASSELBERGHS pour autant que l'on n'attache pas de signification stratigraphique à ce classement.

b. STADES D'ALTÉRATION PHYSIQUE.

Dans le processus continu de la désintégration des roches, il nous a paru opportun de distinguer les deux stades suivants :

(1) Roches dures ou amas de fragments de roches saines dont la plus grande partie a un diamètre supérieur à 2 mm.

(2) Particules de sol dont la majorité a un diamètre inférieur à 2 mm; les teneurs en limon<sup>1</sup> sont souvent élevées; les processus d'altération chimique peuvent avoir commencé néanmoins sans production de fortes quantités d'argile. La finesse du matériau peut être causée par une désintégration physique en place ou par un triage granulométrique suite à des phénomènes de ruissellement.

Il est évident que la distinction faite ici entre l'altération physique et chimique est artificielle, les deux processus agissant simultanément. Ainsi le stade (2) coïncide-t-il avec le premier stade de la décomposition chimique.

c. STADES D'ALTÉRATION CHIMIQUE.

JACKSON *et al.* [1948] et JACKSON et SHERMAN [1953] ont proposé une séquence d'altération chimique des matériaux originels des sols.

Ils distinguent treize étapes dont chacune est caractérisée par une composition minéralogique déterminée.

Chaque stade d'altération est défini par la présence d'argiles de nature diverse, ayant des propriétés physico-chimiques spécifiques. Le stade d'altération chimique permet de se faire une idée de la quantité d'éléments fertilisants dont la plante peut disposer sous certaines conditions.

---

1. Dans la présente étude, le terme «limon» se rapporte toujours à la fraction comprise entre 2 et 20 microns.

*Légende de la figure 1.*

- Courbe 1 :  
 (n° lab. : 64.683), argile dans cendrée volcanique peu altérée.
- Courbe 2 :  
 (n° lab. : 64.671), argile dans sol brun sur cendrée volcanique ancienne.
- Courbe 3 :  
 (n° lab. : 66.396), argile d'altération jeune dérivée de basalte.
- Courbe 4 :  
 (n° lab. : 66.378), argile d'altération jeune dérivée de basalte.
- Courbe 5 :  
 (n° lab. : 66.405), idem.
- Courbe 6 :  
 (n° lab. : 64.749), argile de sol brun dérivé de basalte.
- Courbe 7 :  
 (n° lab. : 66.394), idem (Analyse effectuée par DELVIGNE).

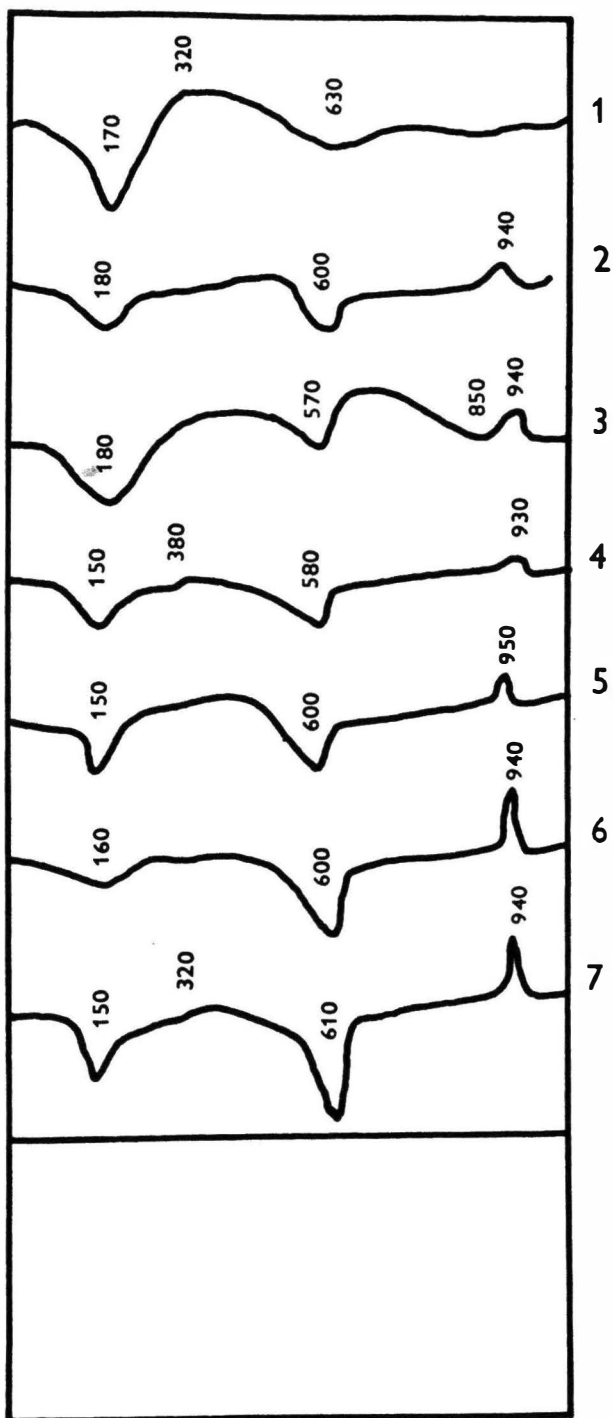


Fig. 1.



DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

TABLEAU III

*La teneur en argile, le rapport limon/argile et la capacité de sorption en fonction du stade d'altération du matériau originel des sols du Kivu*

Stade d'altération et roche-mère	Teneur en argile (en % g de sol)	Rapport limon/argile	Capacité de sorption (m.éq./100 g argile)
(1) (Pegmatite)	6,7 à 22,6	0,492	35,5
(2) (Cendrées) (Micaschistes)	18,8 à 12,5 14,5 à 11,5	0,408 0,910	± 90,0 57,3
(3) Cendrée	32,2 à 43,2	0,166	33,6
Micaschiste	54,8 à 60,4	0,236	32,4
Basalte	81,0 à 84,0	0,108	40,0
Diorite	54,7 à 59,3	0,312	31,0
Quartzite	39,3 à 31,8	0,488	44,3
Itabirite	32,0 à 30,5	0,570	23,7
(4) Divers (sans horizon sombre)	58,3 à 67,3	0,150	12,0
Divers (avec horizon sombre)	52,1 à 52,0	0,090	11,0

N.B. Pour la classe 4, le rapport limon/argile a été calculé sur les échantillons contenant moins de 1 % de carbone organique.

Il ne nous fut pas possible, pour des raisons techniques, de détailler ces différentes étapes dans l'ensemble des sols du Kivu. Force nous est donc de les grouper provisoirement en trois stades successifs, dont le premier (numéroté 2) correspond au stade (2) de l'altération physique (cf. page 22) :

(2) Matériau originel à fractions fines caractérisées par la présence de quantités appréciables de minéraux primaires (feldspaths et minéraux

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

ferro-magnésiens). Ce stade correspond, croyons-nous, aux « Early Stages of Chemical Weathering » de JACKSON et SHERMAN [1953].

(3) Matériaux dans lesquels la plus grande partie des fractions fines est composée, soit de micas (muscovite), soit d'illite ou d'argiles montmorillonitiques.

Ce stade correspondrait aux « Intermediate Stages of Chemical Weathering » [*op. cit.*]. Il est caractérisé, à notre sens, par l'apparition de minéraux argileux en quantités importantes.

L'halloysite hydratée ( $4 H_2O$ ), qui nous paraît présente dans les argiles d'altération des basaltes à olivine de la région de Mulungu, a été intégrée dans ce stade.

(4) Matériaux composés principalement d'argile kaolinitique, de gibbsite hématite et goëthite. (« Advanced Stages of Chemical Weathering »).

L'allophane occupe une position particulière dans la séquence d'altération que nous venons de schématiser. Nous considérons en effet que cette argile caractérise les premiers stades de décomposition des cendrées volcaniques (stade 2). Elle peut éventuellement être transformée plus tard en produits cristallisés tels que l'halloysite et la kaolinite. Cette hypothèse est celle des chercheurs japonais, KANNO [1956], SUDO [1954], et néo-zélandais, FIELDER et SWINDALE [1954]. Sa situation ne correspond pas, dans notre schéma, à celle que lui assignent JACKSON et SHERMAN [1953].

Les caractéristiques principales des quatre étapes de la désintégration des roches sont données au tableau III.

## 2. Mode et degré d'évolution du profil pédologique.

On pourrait supposer que la formation du profil pédologique dans un matériau originel suit de manière continue la séquence d'altération de celui-ci et que, nécessairement, des horizons nettement différenciés caractérisent des sédiments altérés.

Nous considérons cependant qu'en région tropicale tout au moins, les deux processus intervenant dans la formation du sol ne vont pas toujours de pair. On note au contraire très souvent un développement de profil à peine esquissé sur des matériaux arrivés à un stade d'altération très avancé. En d'autres termes, on a affaire à des sols jeunes développés dans des matériaux fortement altérés.

L'explication la plus satisfaisante est celle du remaniement du matériau originel par des mécanismes tels que le colluvionnement ou la pédimentation qui détruisent le profil existant sans que la séquence d'altération soit arrêtée. C'est le cas pour la plupart des latosols décrits au Congo belge [KELLOGG et DAVOL, 1949; RUHE, 1956].

## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

En ce qui concerne les différents types de profil que nous avons pu examiner au Kivu, nous distinguons :

### a. PROFILS SANS HORIZONS PÉDOLOGIQUES DIFFÉRENCIÉS, SAUF L'HORIZON HUMIFÈRE.

Ces profils ne montrent aucune évidence de développement si ce n'est la présence d'un horizon humifère plus ou moins intense d'après la position altitudinale du profil.

Aucun autre horizon ne se distingue ni par sa couleur ou sa texture, ni par sa structure. Aucune patine luisante argileuse ou humique ne recouvre les faces des agrégats structuraux et ne peut donc témoigner d'une migration de ces constituants dans le profil.

Ce stade juvénile dans la formation du profil pédologique peut se présenter dans des matériaux atteignant un des niveaux d'altération (1) et (2) reconnus dans le paragraphe précédent, et les sols sont alors des lithosols et régosols. Dans un matériau originel arrivé au stade d'altération (3), les sols sont désignés par le nom de sols colluviaux jeunes. Dans le cas de dépôts kaolinitiques (stade 4), les sols sont classés comme latosols.

### b. PROFILS AVEC HORIZONS PÉDOLOGIQUES BIEN DIFFÉRENCIÉS, AUTRES QUE L'HORIZON HUMIFÈRE, EN CONDITIONS DE BON DRAINAGE.

Il y a lieu de séparer ici deux cas : le premier concerne les profils formés en zone de basse altitude, généralement en dessous de 1.500 m (?) et qui se caractérisent par un horizon humifère peu développé; le second se rapporte aux sols d'altitude supérieure à 1.500 m où on note une accumulation de matières organiques considérablement plus forte.

Logiquement, cette distinction aurait dû être appliquée dans les profils non différenciés classés dans la rubrique précédente; toutefois, les remaniements fréquents du matériau originel, l'érosion et la jeunesse du sol n'ont pas permis de dégager une corrélation entre l'altitude et l'accumulation d'humus.

En zone de faible altitude, on reconnaît les modes d'évolution suivants :

#### - *Formation d'un horizon B structural.*

Cet horizon se différencie des horizons sus- et sous-jacents par une structure polyédrique angulaire ou subangulaire plus fortement développée et une consistance plus ferme ou une couleur plus rouge. Il n'y a pas de patines argileuses sur les agrégats et aucune trace de migration d'argile.

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

Cet horizon, rarement décelable, caractérise principalement les dépôts kaolinitiques propres aux latosols. D'autre part, sa signification pédogénétique fait encore l'objet de vives discussions. Aussi, sa présence n'a-t-elle pas été prise en considération pour différencier deux classes dans le groupe des latosols.

### - *Présence d'un horizon B illuvial.*

Reconnu dans les sols au Kivu, l'horizon B illuvial, sis immédiatement en dessous de l'horizon humifère, est caractérisé par des patines luisantes argileuses, accompagnées ou non de matières organiques, qui garnissent les faces des agrégats structuraux.

Sa limite supérieure, très nette, marque en même temps une augmentation brusque de la compacité du sol, souvent défavorable à la croissance des racines, et une modification intégrale de la structure qui y est en blocs ou prismes anguleux.

Les mécanismes responsables du développement de cet horizon sont difficiles à identifier et la mise en culture des terres peut avoir accentué sa formation. Le rôle des facteurs du milieu ne peut cependant être spécifié plus en détail que par une étude cartographique systématique des sols du Kivu.

Cet horizon B est le plus fréquent dans des matériaux arrivés à un stade d'altération (3) et les sols sont alors appelés : sols bruns.

En zone d'altitude, outre l'horizon B structural, nous avons rencontré les modes d'évolution suivants :

### - *Présence d'un horizon B illuvial.*

Cet horizon a les mêmes caractéristiques que dans les régions peu élevées, mais semble plus fortement développé. Une couche humifère noire, épaisse et très riche en carbone organique, recouvre l'horizon B.

On observe ces profils principalement dans les matériaux originels arrivés à un stade d'altération intermédiaire; nous les appellerons : sols bruns d'altitude.

### - *Présence d'un horizon B sombre.*

Les caractéristiques de cet horizon ont déjà fait l'objet de nombreuses notes [DENISOFF *et al.*, 1954; RUHE et CADY, 1955; THIRION et NISOT, 1954].

Cet horizon pédogénétique n'a été constaté que dans des dépôts kaolinitiques et dans des régions d'altitude où il est alors associé à de fortes teneurs en humus dans l'horizon supérieur.

L'examen de certains horizons foncés signalés par d'autres pédologues dans des matériaux jeunes ne nous a pas permis d'exclure pour

## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

ces sols la possibilité d'un ensevelissement par colluvionnement d'une ancienne couche humifère.

- *Présence d'un horizon B de couleur.*

En certains endroits, sur des matériaux provenant de roches très acides, l'horizon situé en dessous de la couche humifère est coloré de brun (7,5 YR 4/4 vers 10 YR 4/4), sans qu'il n'y ait d'autres caractéristiques différencielles. L'horizon B de couleur est considéré ici provisoirement comme critère de classe et l'appellation de sol brun podzolique est donnée à ces sols.

### C. PROFILS AVEC HORIZONS PÉDOLOGIQUES DIFFÉRENCIÉS TÉMOIGNANT DE MAUVAIS DRAINAGE.

Suite à des phénomènes d'oxydo-réduction provoqués par les oscillations de la nappe phréatique, des taches de rouille ou des couches entièrement gleyifiées se forment dans le matériau originel. Ces processus peuvent se manifester dans des matériaux minéraux ayant atteint n'importe quel stade d'altération. Aucune subdivision n'est faite dans cette classe de profils, les cas observés étant trop peu nombreux. On les appelle : sols hydromorphes.

Enfin, les sols développés dans des matériaux constitués principalement de matières organiques sont groupés sous le vocable : sols organiques.

### C. *Les groupes de sols.*

Les éléments de classification permettent de distinguer plusieurs groupes de sols qui peuvent être placés, croyons-nous, au même échelon que les « Great Soil Groups » des pédologues américains.

Le tableau IV (p. 29) ne donne qu'un aperçu forcément incomplet des divers groupes de sols que l'on peut rencontrer au Kivu; seule une prospection systématique pourrait y déceler les diverses formations pédologiques. Ce tableau pourra cependant, au fur et à mesure de l'avancement des travaux de cartographie, être détaillé et complété sans devoir modifier les principes sur lesquels il est basé.

La nomenclature proposée n'est valable que pour les sols étudiés. On ne peut donc, sans danger de confusion, comparer les appellations des groupes de sols à celles d'autres régions. Ceci vaut particulièrement pour les sols bruns.

**TABEAU IV**  
*Classification des sols.*

Développement du profil		Stade d'altération du matériau original			
		(1) Roches dures ou graviers	(2) Stades jeunes	(3) Stades intermédiaires	(6) Stades avancés
Sans développement	Horizons humi- fères uniquement	Lithosols	Régosols	Sols jeunes colluviaux	Latosols
	B structural				
	B illuvial			Sols bruns	
	B illuvial			Sols bruns d'altitude	
	B sombre				Latosols à horizon sombre
Avec profil développé, bon drainage	B (couleur)			Sols bruns podzoliques	
	Gley et rouille				Sols hydromorphes
Avec profil développé, mauvais drainage					

### § 3. Description des sols.

On pourrait reprocher au système de classification proposé de ne pas permettre l'identification immédiate du type de sol sur le terrain.

Le présent paragraphe se propose de démontrer que la caractérisation d'un sol n'est pas seulement du domaine du chimiste et du minéralogiste; chaque groupe défini possède ses caractéristiques macroscopiques différencielles décelables sur place.

Les groupes seront passés en revue en mettant l'accent sur leurs caractères différenciels, accessoires et accidentels. Une brève incursion dans les aspects agronomiques, qu'ils relèvent de la chimie ou de la physique du sol, sera effectuée et préparera ainsi le dernier chapitre qui traitera des exigences édaphiques des caféiers.

#### A. *Les lithosols.*

Nous n'avons observé qu'un seul exemple de profil où la pénétration des racines fut entravée par la nature pierreuse du matériau originel (profil 22).

Ce sont particulièrement les roches-mères acides, riches en quartz, telles que le granite et les pegmatites qui donnent naissance par désintégration à des nappes épaisses de gravats interposées entre d'autres couches de composition granulométrique plus favorable. Leur incidence sur la croissance du caféier est double : d'une part, la couche de sol arable est amincie et, d'autre part, le système racinaire ne peut exploiter les zones d'altérations fraîches où des éléments fertilisants sont disponibles.

Ils se caractérisent par un pourcentage élevé en particules graveleuses grossières (50 % à moins de 25 cm de profondeur), une très faible teneur en argile (10 à 20 % sur terre fine), une capacité totale d'échange de cations faible, une pauvreté en bases échangeables, une perméabilité extrême et une acidité accentuée.

Ces sols sont évidemment à proscrire pour la culture du caféier. En effet, une épaisseur de 60 cm de terre meuble doit être considérée comme minimum, cette exigence étant d'autant plus rigoureuse que la roche-mère est pauvre.

#### B. *Les régosols.*

Ces sols jeunes ne présentent aucun développement de profil pédologique sinon un horizon humifère et d'infiltration.

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

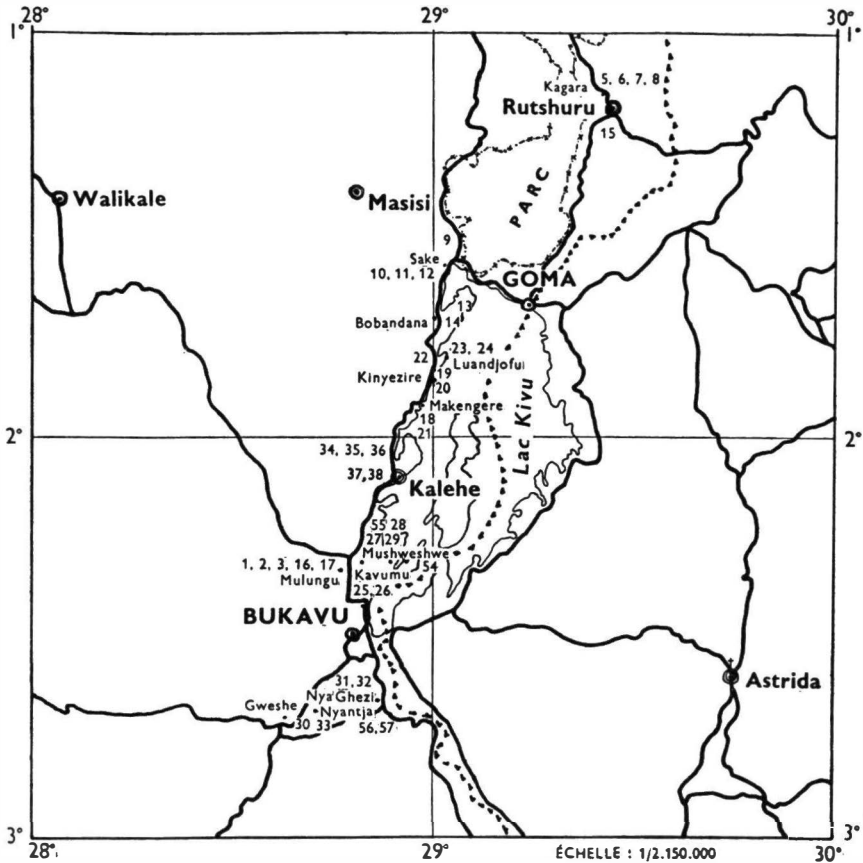


Fig. 2. — Situation des profils.

Le matériau originel est chimiquement peu altéré et contient de fortes quantités de limon. Il est souvent très hétérogène et composé de plusieurs couches distinctes superposées.

Les caractéristiques agronomiques de ces sols sont en relation étroite avec la roche-mère; nous en donnons ci-après deux exemples.

a) *Régosols sur cendrées volcaniques* (profils 9, 10, 11 et 12).

Ces sols, très fréquents dans la région de Sake, sont constitués de plusieurs couches de cendrées souvent finement graveleuses et pauvres en argile.

La teneur élevée en matière organique du sol imprime au profil son caractère le plus frappant : horizon humifère noir épais atteignant



## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

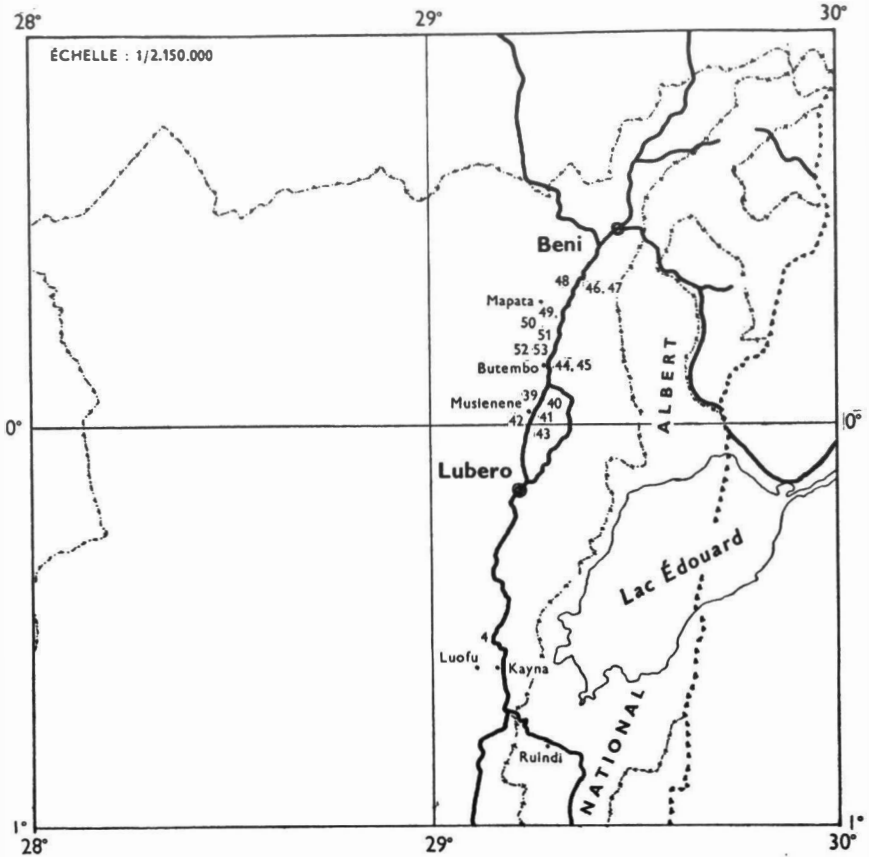


Fig. 2a. — Situation des profils.

parfois plus de 50 cm de profondeur. En dessous de cet horizon, on trouve généralement plusieurs couches qui ne sont pas influencées par la pédogenèse; certaines renferment des quantités appréciables de carbonate de chaux.

Au point de vue chimique, ces terres sont riches :

- 4,5 % de C organique en moyenne jusqu'à plus de 50 cm de profondeur;
- teneur élevée en bases échangeables (17,0 m. éq. Ca; 1 à 2 m. éq. K extraits par HCl N/20 pour 100 g de sol);
- pH neutre;
- teneurs en P (selon TRUOG) de 50 à 100 p.p.m.

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

Ces valeurs élevées, malgré la perméabilité du matériau, sont dues à la forte capacité de rétention des argiles qui entrave le lessivage (capacité de sorption de 20 à 30 m. éq. pour un sol à 10-15 % d'argile et moins de 1 % de C organique).

L'allopmane domine dans les fractions fines du sol. Le rapport limon/argile est en moyenne de 0,4.

Au point de vue des oligo-éléments, l'association pH élevé et grande quantité d'humus peut provoquer chez les végétaux des phénomènes de déficience en manganèse.

D'autre part, on doit craindre les périodes de sécheresse qui peuvent entraîner des conséquences néfastes dans ces terres trop perméables.

### b. *Régosols sur colluvions provenant de micaschistes (profil 38).*

Ces régosols se rencontrent principalement au pied de l'escarpement du fossé tectonique du lac Kivu et garnissent les cônes de déjection et les piedmonts.

Comme dans l'exemple précédent, le rapport limon/argile élevé (0,9) et la faible teneur en argile elle-même (11 à 15 %) sont à mettre en rapport avec la jeunesse du sédiment. Conséquemment, la relation avec la roche-mère se manifeste par une majorité de sables fins dans les fractions grossières et par une abondance de paillettes de muscovite. La nature de la roche-mère confère au sol une réaction moyennement acide (pH 5,6 à 6,1). La capacité de sorption de 6,6 m. éq. pour 100 g de sol non humifère à 11 % d'argile seulement, est sans doute en relation avec la présence de micas hydratés.

Les sols sont trop légers pour créer une économie en eau favorable au caféier. Toutefois, on les trouve souvent associés à des nappes phréatiques moyennement profondes qui rendent ces terres excellentes.

Au point de vue chimique, ces sols sont évidemment riches en potassium, et, comparativement, pauvres en magnésium et en calcium, particulièrement en surface.

Les teneurs en matière organique de l'horizon superficiel sont faibles et il semble que les teneurs en phosphore y soient déficitaires. D'autre part, on y observe des carences aiguës en bore, reflet des faibles proportions de bore soluble.

### C. *Les sols colluviaux jeunes.*

D'une grande diversité, ces sols se caractérisent par une texture plus argileuse que les régosols, ainsi que par une teneur en limon toujours appréciable (rapport limon/argile : 0,42).

La couleur du sol est généralement brune, jamais rouge ou jaune franc; le matériau est souvent très hétérogène et constitué de plusieurs

couches colluviales superposées. D'après la nature de la roche-mère, la couleur de fond est plus ou moins rouge ou jaune. Ces sols se rencontrent le plus souvent au pied des pentes.

Nous en donnons ci-après quelques exemples :

a. *Sol colluvial jeune dérivé de quartzite* (profil 21).

La roche-mère est le quartzite de la Lufironza du groupe de l'Urundi inférieur, dont l'altération a donné lieu à un matériau composé en moyenne de 35 % d'argile, 16,5 % de limon, 35 % de sable fin et 13,5 % de sable grossier. C'est à peu près la composition idéale pour une bonne terre agricole, principalement dans le cas d'argiles de nature illitique.

Le profil permet de distinguer plusieurs horizons humifères successivement ensevelis par le colluvionnement; ceci augmente de manière sensible la teneur en carbone qui peut être estimée à 280 t/ha sur 1 mètre de profondeur.

La structure est grumeleuse en surface, bien aérée; en profondeur, elle devient polyédrique anguleuse moyenne, bien développée, à consistance un peu plus ferme, sans être défavorable à la pénétration des racines. Cet horizon de profondeur pourrait être considéré comme un (B) structural, toutefois peu fréquent dans ces sols.

La réaction du sol est légèrement à moyennement acide (pH de 5,8 à 6,3); la capacité de sorption est de 14,1 m.éq./100 g pour la terre peu humifère à 32 % d'argile. Le phosphore est déficient, particulièrement en profondeur.

Ces sols sont néanmoins chimiquement riches, mais manquent de réserves en bore.

b. *Sol colluvial jeune dérivé de granite* (profil 40).

Il s'agit d'un sol situé au bas d'une pente assez abrupte de la région de Butembo. La nature de la roche-mère, ignée et acide, se reflète dans la texture du sol par une teneur plus élevée en sable grossier, en moyenne 20 %.

Le rapport entre le limon et l'argile (0,3), est caractéristique du stade d'altération intermédiaire du sédiment comme d'ailleurs la teneur en argile de 45 %, accumulée sans doute par le colluvionnement.

Il n'y a pas de développement d'horizon pédogénétique; la différenciation du profil est uniquement causée par des recouvrements successifs de plusieurs couches qui, comme dans le cas précédent, augmentent la teneur en C organique, estimée à 585 t/ha/m.

On enregistre les caractéristiques chimiques suivantes : réaction très acide (pH 4,7 à 5,4), saturation en bases faible, capacité de sorption de 10 m.éq. par 100 g de sol. La teneur en phosphore se chiffre à  $\pm 15$  p.p.m.

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

L'aspect végétatif des caféiers et des arbres d'ombrage, démontre nettement que ces terres sont excellentes, malgré leur pauvreté relative; on aurait cependant avantage à y relever le pH.

### c. *Sol colluvial jeune dérivé de basalte* (profil 17).

L'altération intermédiaire du matériau dérivé du basalte à olivine, signalé dans le paragraphe précédent, donne naissance à un matériau de composition granulométrique suivante : argile 60 %, limon 20 %, sable fin 15 %, sable grossier 5 % (rapport limon/argile : 0,33).

Ce sédiment garnit les pentes accusées, proches d'affleurements rocheux, dans la région de Mulungu-Tshibinda.

Sa nature chimique est caractérisée par un pH très acide, une saturation faible où domine l'ion calcique et une capacité de sorption de 66 m.éq./100 g d'argile.

L'érosion sévère ayant décapé une partie du sol ne permet pas de préciser ici les propriétés agronomiques inhérentes au matériau originel. On doit toutefois admettre que, bien conservé, il doit garantir de bonnes récoltes.

### d. *Sol colluvial jeune dérivé de diorite* (profil 49).

A côté des caractéristiques différencielles liées au stade d'altération intermédiaire telles qu'un rapport limon/argile de 0,43, une capacité de sorption de 21,3 m.éq./100 g d'argile et la nature illitique des fractions fines, ces sols se reconnaissent par une couleur brun-rouge typique (5 YR 4/6) et par une structure polyédrique anguleuse grossière bien développée de l'horizon situé sous la couche humifère.

Cet horizon bien structuré nous fait considérer ce profil comme un intergrade vers un sol plus évolué, ce qui est en partie suggéré par la présence probable de gibbsite.

Ce sont des sols de bonne valeur agricole. La teneur en argile relativement élevée les expose cependant à l'érosion, mettant en danger la conservation de la couche humifère, indispensable à un développement satisfaisant des caféiers. Le pH en est très acide (5,3) et le phosphore et la potasse semblent déficients.

### e. *Sol colluvial jeune dérivé d'itabirite* (profil 19).

L'injection d'itabirite dans les quartzites de la Lufironza nous permet de caractériser ici un sol dérivé d'une roche riche en fer.

Le sédiment témoigne de son degré d'altération intermédiaire par un rapport limon/argile de 0,62; dans la fraction argileuse, l'illite domine à côté de faibles quantités de kaolinite, gibbsite et goethite.

Il n'y a pas de caractères propres à l'évolution pédogénétique du profil si ce n'est la présence de fortes quantités d'humus qui totalisent 337 t/ha/m.

DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

La réaction du sol est acide, la capacité de sorption moyenne (23,7 m.éq./100 g d'argile), la saturation en bases très faible.

La teneur en oxyde de fer du matériau diminue sensiblement le taux de phosphore assimilable, nettement déficient.

D. *Les sols bruns.*

Ces sols sont caractérisés par un profil évolué dans lequel se distingue une couche humifère brune, bien structurée, grumeleuse, meuble à friable, reposant sur un horizon nettement plus compact et plus dur, structuré en blocs ou prismes grossiers fortement développés. Des patines luisantes recouvrent ces agrégats. Ils se forment sans doute par la migration d'argile et d'humus le long des fentes de rétraction du sol très argileux.

La distribution des racines permet de se rendre compte de l'influence de ce genre de profil sur les cultures arborescentes. La couche humifère meuble est pratiquement la seule à être occupée par un chevelu radicaire dense. Dans l'horizon B, quelques rares racines et radicelles pénètrent le long des fentes de retrait.

La protection de la couche organique constitue la condition primordiale de la sauvegarde de la fertilité. Il existe une corrélation étroite entre l'épaisseur de la couche humifère et la vigueur des caféiers.

- a. *Les sols bruns sur cendrées volcaniques anciennes* (profils 5, 6, 7, 8 et 15).

La composition texturale de ces sols, fréquents dans la région de Rutshuru, est résumée dans le tableau V.

TABLEAU V  
*Composition texturale (%) des sols bruns sur cendrées volcaniques anciennes.*

Horizon	Granulométrie			
	0-2 $\mu$	2-20 $\mu$	20-250 $\mu$	250-2000 $\mu$
A	32	11	36	21
B	48	7	28,5	13,5
C	43	7	28,5	21,5

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

L'argile est composée d'allophane avec une certaine proportion d'hallyosite et de kaolinite. La capacité de sorption est de 33 m.éq./100 g d'argile. Les teneurs en matières organiques sont à mettre en rapport avec l'altitude ( $\pm 1.200$  mètres); en moyenne, 150 t/ha/m de C. Le pH est légèrement à moyennement acide (5,9 à 6,4); la saturation en bases est bonne avec une dominance de l'ion calcique. Ces sols ne sont pas déficients en P assimilable.

C'est sur ces sols que nous avons trouvé les plus beaux caféiers, du moins là où la couche humifère restait bien conservée. Leur situation sur des replats ou des pentes légères permet également d'y envisager la mécanisation des travaux culturaux.

Le profil suivant est caractéristique, sauf pour l'horizon humifère aminci par érosion.

- A<sub>1</sub> 0- 21 cm argileux; structure grumeleuse fine bien développée, friable; beaucoup de radicelles; limite distincte; 2,5 YR 2/2.
- B<sub>1</sub> 21- 37 cm argileux; structure polyédrique subangulaire fine bien développée, ferme; limite graduelle; arrêt des grosses racines à la limite supérieure de l'horizon; coatings organo-argileux sur agrégats; 2,5 YR 2/4.
- B<sub>2</sub> 37- 82 cm argileux; structure polyédrique angulaire moyenne bien développée, très ferme; peu de radicelles; limite diffuse; coatings d'argile et d'humus fréquents; 2,5 YR 3/4.
- B<sub>3</sub> 82-100 cm argileux; structure polyédrique subangulaire moyenne moyennement développée; coatings présents; radicelles rares; 2,5 YR 2/4.
- C 100-150 cm idem; moins structuré et plus friable; peu de coatings; 5 YR 3/3.

b. *Les sols bruns sur argile d'altération de basalte* (profils 25-26-28 et 29).

Ces sols bruns se sont développés dans des argiles d'altération de basaltes à olivine ayant atteint un stade de décomposition intermédiaire. Leur structure mieux développée et leur couleur brune les différencient des latosols.

On constate une forte acidité, une faible saturation, une capacité de sorption de  $\pm 40$  m.éq. (T/NH<sub>4</sub>) sur 100 g d'argile.

Le phosphore n'y est pas déficient.

En certains endroits, l'apport massif d'eau de ruissellement chargée de carbonates de chaux a augmenté le pH jusqu'à 8,2 en surface et 7,5 à plus d'un mètre de profondeur. Ce relèvement de la réaction du

## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

sol est accompagné d'une amélioration moyenne de la structure principalement dans la partie supérieure de l'horizon B, d'une diminution du taux d'humus et de phénomènes de carences en Fe dans les feuilles de caféiers.

### E. Les sols bruns d'altitude.

Ces sols possèdent dans leurs profils les mêmes caractères que les sols décrits ci-dessus, sauf en ce qui concerne la teneur en matière organique (en moyenne 340 t/ha/m de C organique, pour les phases bien conservées).

L'horizon humifère est généralement plus noir et mieux aéré que pour les sols bruns de basse altitude.

Selon la nature de la roche-mère, nous les avons scindés en :

- a. *Sols bruns d'altitude développés sur l'argile d'altération du basalte à olivine* (profils 1, 2, 3 et 16).

Représentés dans la zone d'épanchement basaltique entre Ngweshe et Kalehe, ces sols caractérisent la région de Mulungu-Tshibinda. Le tableau VI en donne la composition texturale.

TABLEAU VI

*Composition texturale (%) des sols bruns d'altitude développés sur argiles d'altération de basalte à olivine.*

Horizon	Granulométrie			
	0-2 $\mu$	2-20 $\mu$	20-250 $\mu$	250-2000 $\mu$
A	81,0	11,0	6,0	2,0
B	84,0	9,0	5,5	1,5
C	84,0	9,0	6,0	1,0

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

On remarque que le rapport limon/argile de 0,12 est nettement inférieur à la valeur de 0,33 trouvée pour le sol colluvial jeune dérivé de la même roche-mère (profil 17). L'horizon humifère contient en moyenne 7,2 % de C organique et le B 1,7 %.

Il est supposé ici que la fraction argileuse contient un pourcentage élevé d'halloysite, à côté de kaolinite et de goethite en proportion beaucoup moins importante.

A une saturation en bases très faible est liée évidemment la forte acidité de ces sols.

Les teneurs en phosphore y sont moyennes.

Dans les cas, malheureusement rares, où la matière organique a été bien conservée et où l'érosion n'a pas entamé la couche humifère, ces sols sont excellents.

Le relief tourmenté et l'absence de mesures antiérosives ont souvent réduit considérablement leur productivité. Fréquemment, les gros blocs structuraux de l'horizon illuvial affleurent en surface; les racines n'y trouvent plus alors le milieu bien aéré de la couche humifère. On peut facilement reconnaître lors des profilages les trous de plantation qui forment de véritables « pots de fleur » où se limite leur développement.

Dans ces terres lourdes, on aura donc avantage à rechercher les sols aux horizons humifères les plus épais et à augmenter la dimension des trous de plantation (80 à 100 cm).

Comparés à d'autres formations pédologiques dérivées de basaltes, ces sols semblent prendre une position intermédiaire entre les terres noires montmorillonitiques authigènes de basalte, que l'on connaît dans de nombreux pays, et les latosols rouge sombre, « red loams » ou « krasnozems » des pays tropicaux [STEPHENS, 1953; NICOLAS et TUCKER, 1957; SHERMAN et UEHARA, 1956].

### b. Sols bruns d'altitude dérivés de micaschistes (profils 23, 42 et 46).

L'analyse granulométrique des sols a donné en moyenne : 50 à 60 % d'argile, 15 à 20 % de limon, 20 à 30 % de sable fin et 5 à 10 % de sable grossier.

Le rapport limon/argile est de 0,23 en moyenne et les micas hydratés forment la majorité des constituants du complexe sorbant. La capacité de sorption atteint 32 m.éq./100 g d'argile.

Les sols dérivés de micaschistes présentent très nettement un horizon illuvial.

Au point de vue agronomique, la morphologie du profil répond aux mêmes caractéristiques que dans les sols dérivés de basaltes.

La teneur en carbone atteint 330 t/ha/m. Le pH est moyennement acide; le phosphore est présent en quantité suffisante.



c. *Sols bruns d'altitude dérivés de diorites* (profil 51).

Ces sols ont été trouvés dans la région de Butembo, où ils tapissent les pentes d'une colline dioritique.

La composition du matériau originel répond plus ou moins aux caractéristiques données dans le cas du profil colluvial jeune; le développement du profil est toutefois plus marqué et est caractérisé par l'horizon B<sub>2</sub> illuvial, compact et mal structuré.

Les horizons humifères sur de tels matériaux ne présentent pas de structure grumeleuse aussi favorablement développée que sur les terres basaltiques ou dérivées de cendrées.

Les sols bien conservés donnent d'excellentes récoltes; le pH est un peu trop acide (5,1 en surface), la saturation est faible; la capacité de sorption se situe aux environs de 30 m.éq./100 g sur terre entière; le phosphore est déficient.

F. *Les sols bruns podzoliques.*

(Profils 34 et 35.)

Les sols évolués de la région d'altitude du Kivu développés sur des roches ignées acides qui donnent des matériaux pauvres en argile, sont caractérisés par un profil composé d'une couche humifère noire, épaisse, reposant sur un horizon B de couleur brune.

Hormis sa couleur, cet horizon B n'a aucune caractéristique qui le différencie du matériau originel.

Celui-ci, dérivé d'une pegmatite dans l'exemple donné, est composé en moyenne de 30 % d'argile, 12 % de limon, 25 % de sable fin, 35 % de sable grossier. La teneur en gravier est toujours considérable (35 à 45 %).

L'argile est de la kaolinite peu caractéristique mêlée à de l'illite. La capacité de sorption est de 24 m.éq./100 g d'argile pour la terre non humifère. La saturation du complexe est très faible, avec déficience de l'ion calcique, ce que reflète le pH de 4,8 à 5,3. On note une déficience en phosphore.

Des points de vue tant physique que chimique, ces terres sont de faible valeur agricole. La perméabilité du sol est trop élevée pour garantir une économie en eau toujours favorable. Là où le profil est influencé par la nappe phréatique, ces terres sont néanmoins susceptibles de donner de bons rendements.

Le groupe de sol reconnu ici, doit être considéré comme provisoire.

### G. *Les latosols.*

La majorité des sols du Congo belge font partie, comme on le sait, du Grand Groupe des latosols définis par KELLOGG et DAVOL [1949].

On leur connaît les caractéristiques différentielles suivantes : un rapport silice-sesquioxydes bas, une argile composée principalement de kaolinite, une capacité d'échange faible à moyenne de la fraction minérale, peu de minéraux primaires, peu de matériaux solubles, un degré de cohérence assez élevé des agrégats structuraux et une couleur rouge à rougeâtre.

La reconnaissance des latosols sur le terrain est facilitée par la couleur très caractéristique que leur confèrent les oxydes de fer libres et par la structure du sol qui est toujours grumeleuse fine (farineuse), parfois polyédrique mais rarement bien développée. On n'observe jamais de patines luisantes sur les faces des agrégats.

Si les propriétés chimiques de ces sols sont nettement inférieures à celles des sols bruns et colluviaux décrits précédemment, leurs propriétés physiques sont hautement favorables aux plantes. Des horizons pédologiques compacts et mal structurés y sont rares, même dans des matériaux très argileux.

Quoique sortant plus ou moins du cadre de cette étude, il nous semble utile de justifier ici la place qu'occupent les latosols dans notre schéma de classification.

Nous considérons en effet qu'un latosol est un sol jeune peu évolué développé dans un matériau originel fortement altéré.

Cette absence d'évolution pédologique du profil peut être expliquée de la manière suivante :

(a) une série de remaniements du matériau originel par voie érosive, pendant les diverses phases climatiques du Pléistocène, a empêché le développement continu d'un profil sans interrompre la séquence d'altération chimique [KELLOGG et DAVOL, 1949; RÜHE, 1954].

(b) le matériau remanié, fortement altéré, réagit très peu aux facteurs agissant sur la formation d'horizons pédogénétiques. Ce concept de l'inertie a déjà été formulé d'une façon un peu différente par BRYAN et TEARLE [1949].

Nous distinguons deux groupes dans les latosols d'après la teneur en matière organique de l'horizon humifère et la présence de l'horizon sombre, deux caractéristiques différentielles en relation avec les variations de climat.

## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

### a. *Les latosols sans horizons sombre* (profils 4, 48, 30 et 53).

Nous avons observé des latosols dérivés de différentes roches-mères dont le granite, les diorites et le basalte.

Les matériaux originels avaient comme caractéristiques essentielles :

– un rapport limon/argile bas (0,15 calculé sur les échantillons peu humifères);

– une dominance de kaolinite dans la fraction argileuse avec des pourcentages variables de goethite et de gibbsite;

– une capacité de sorption de 12 m.éq./100 g d'argile;

– des pH fortement acides et une saturation très faible.

La présence d'oxydes de fer libres diminue fortement la teneur en phosphore assimilable qui est nettement déficient.

La couleur du sol varie d'après la nature de la roche-mère : rouge sombre dans le cas des roches basiques, jaune à rouge clair pour les roches acides et sédimentaires.

La valeur agricole des latosols est le reflet assez fidèle de leur teneur en argile. Vu leur état structural favorable, une teneur optimum en argile y est rarement dépassée, ceci valant évidemment pour les sols à couche humifère bien conservée. Cependant, la présence d'un horizon B structural, rencontré principalement sur des sols cultivés pendant des périodes prolongées, peut nuire aux racines des caféiers.

### b. *Les latosols à horizon sombre* (profils 32, 41, 43, 44 et 45).

Ces profils se différencient par une forte teneur en humus (300 à 350 t/ha/m de C organique) et la présence de l'horizon sombre à des profondeurs variables. Ils caractérisent la zone d'altitude de l'Est du Congo belge.

Les matériaux sont fortement altérés comme en témoigne le rapport limon/argile très bas (0,09).

L'horizon sombre n'est pas de nature à modifier par lui-même la valeur agricole des sols.

## H. *Les sols hydromorphes.*

Deux groupes bien distincts sont à considérer : les sols minéraux et les sols organiques.

Le nombre peu important de sols hydromorphes minéraux ne justifie pas de s'attarder longuement sur ces cas spéciaux.

La présence d'une nappe phréatique à faible profondeur est néfaste là où elle provoque l'asphyxie des racines et où, comme dans les terres

## CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DES PLANTATIONS

gleyifiées, elle a réduit et lessivé une grande partie des éléments fertilisants du sol.

L'asphyxie des racines est plus marquée dans les terres lourdes, où l'immersion est accompagnée du gonflement des particules colloïdales. Une terre légère supporte plus facilement une nappe phréatique temporaire à faible profondeur; dans de nombreux cas, sa présence vers 60 à 100 cm de profondeur peut être bénéfique.

En ce qui concerne les sols organiques qui colmatent de nombreuses vallées du Kivu et du Ruanda, nous avons eu l'occasion de visiter quelques champs d'essais de mise en valeur.

Il apparaît, qu'avant d'appliquer des éléments fertilisants pour parer aux déficiences manifestées par les caféiers et d'agir sur d'autres facteurs de la croissance, il convient de prévoir un drainage bien dirigé de ces marais et ensuite de corriger l'acidité excessive des sols ainsi récupérés.

## DEUXIÈME PARTIE

### LES DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET LA COMPOSITION CHIMIQUE DES FEUILLES DU CAFÉIER D'ARABIE

#### § 1. Les déficiences en éléments nutritifs.

Le caféier d'Arabie paraît particulièrement sensible à des conditions défavorables de son milieu. Celles-ci induisent en effet, directement ou indirectement, des déséquilibres nutritionnels que la plante extériorise par de multiples symptômes, pouvant aller du simple ralentissement de la croissance et de la chute de rendement à des faciès plus particuliers tels que jaunissement, décoloration de feuilles, mort de bourgeons terminaux, etc.

La description des symptômes susceptibles de se manifester, et la détermination des déséquilibres chimiques qu'ils traduisent, constituent une première étape vers la recherche de leurs causes profondes, climatiques et édaphiques.

#### *A. Aperçu général des symptômes observés.*

Les symptômes qu'extériorise le caféier d'Arabie sont essentiellement polymorphes.

Certains peuvent n'affecter que le feuillage ou une partie de celui-ci, d'autres, par contre, se manifestent par un syndrome intéressant souvent le plant entier.

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

A plusieurs d'entre eux peut ne correspondre qu'une seule et même cause de déficience, et, réciproquement, différents états physiologiques peuvent induire l'apparition d'un symptôme commun. Enfin, dans ce dernier cas surtout, la localisation du symptôme dans la couronne constitue souvent un critère de différenciation.

De même que leur nature, l'importance des symptômes peut varier, non seulement en raison d'une différence d'intensité du facteur premier de leur induction, mais aussi en fonction de conditions écologiques telles que l'altitude ou l'ombrage.

Classer et sérier ces symptômes serait donc peu utile dans le cadre de cette étude; aussi avons-nous préféré en présenter les associations caractéristiques. Pour la plupart d'entre elles, nous avons pu dégager la, et parfois, les carences inductrices.

Nous terminerons ce paragraphe par une description rapide de quelques associations de symptômes pour lesquels nous n'avons pu mettre en évidence, avec certitude, aucune déviation constante de composition chimique normale des tissus végétaux.

Soulignons enfin, que les faciès aberrants d'origine parasitaire ont été exclus de notre étude; il en fut de même pour certains cas particuliers où l'origine parasitaire, non apparente au moment de notre passage, ne pouvait être rejetée.

### *B. La méthode d'échantillonnage.*

Tous les sites furent échantillonnés selon un plan identique : prélèvement, sur huit caféiers groupés, de quatre paires de feuilles du quatrième rang compté à partir de l'extrémité de la branche et situées sur des branches fructifères localisées à hauteur d'homme à la périphérie du caféier. Cet échantillon moyen de 64 feuilles est considéré comme représentatif de la population des feuilles de quatrième rang du site échantillonné.

A chacun d'eux, nous avons toujours fait correspondre un échantillon du sol superficiel, obtenu par le prélèvement à la sonde, sur une profondeur de 15 cm, de vingt-cinq prises unitaires du sol. En plus de cet échantillon moyen de référence, nous avons, selon les circonstances, échantillonné des feuilles, de même rang et de même situation, d'arbres ou de groupes d'arbres carencés seulement. Enfin, si les symptômes affectaient des feuilles d'un rang autre que le quatrième, ou des feuilles situées à d'autres endroits de la couronne, deux échantillons supplémentaires étaient prélevés, constitués le premier de feuilles présentant les symptômes, le second de feuilles homologues prélevées sur des arbres voisins apparemment sains.

### C. La déficience en azote.

La déficience en azote se rencontre pratiquement dans tout le Kivu où elle est l'apanage des plantations mal entretenues sur sol en voie de dégradation. L'arbre entier la traduit alors : feuilles d'un vert très tendre, voire uniformément jaunissantes, peu nombreuses et de petite taille; branches grêles et peu ramifiées; pousses courtes mais à entrenœuds relativement longs, fructification peu abondante.

Par plages, par blocs entiers parfois, les caféiers peuvent présenter cet aspect. Les feuilles possèdent des teneurs anormalement basses en azote, inférieures à 2,6 %, et pouvant parfois descendre en dessous de 2 % contre 3 % et plus, normalement. Le niveau des autres éléments reste en général satisfaisant; on observe même dans le cas de carences aiguës, et devant un envahissement du sol par des graminées adventices, une augmentation très significative de taux de phosphore.

Le décapage de l'horizon de surface et la couverture à graminées entraînent toujours, tôt ou tard, l'apparition de pareil faciès. Il se rencontre de façon constante là où des façons culturales inadéquates ont permis au *Digitaria* de se développer.

Il est aussi caractéristique des sols à couche humifère réduite, soit par un « clean weeding » trop prolongé, soit par érosion. Ce dernier cas est fréquent dans les champs établis à flanc de coteau sans terrasses.

Le décapage et l'apparition de graminées adventices vont d'ailleurs, en général, de pair et constituent la cause la plus fréquente des faibles rendements enregistrés dans certaines plantations. La chute des teneurs en matière organique, comme d'ailleurs l'amenuisement de la couche humifère, réduisent en effet fortement les réserves en éléments nutritifs et particulièrement en azote du sol. Une couverture adéquate peut alors difficilement résister à l'envahissement par le *Digitaria* dont la concurrence est néfaste au caféier et accentue encore l'effet dépressif du décapage sur l'alimentation normale en azote.

L'incidence du symptôme est faible pour les arbres sous un ombrage trop dense. La réduction de l'intensité lumineuse entraîne une diminution de la photosynthèse et des exigences en éléments nutritifs du caféier, et entrave d'autre part l'oxydation de la matière organique et la prolifération des graminées. La productivité de ces arbres, quoique faible, est donc en pareil cas nettement plus élevée.

Les remèdes à proposer sont essentiellement d'ordre culturaux : éradication des graminées et rétablissement d'une couche humifère plus profonde par compostages et paillages.

Pour être efficaces, des applications d'engrais, particulièrement d'engrais azotés, ne seront effectuées qu'ultérieurement.

D. *La déficience en calcium.*

La déficience en calcium peut revêtir divers aspects.

Comme la déficience en bore, elle peut entraîner une nécrose du bourgeon terminal; elle se manifeste également par une altération particulière de la coloration normale de certaines feuilles adultes.

Les feuilles altérées présentent deux intensités chromatiques distinctes et à limite nettement tranchée. La portion centrale du limbe conserve sa couleur vert intense originelle; par contre, toute la partie distale sur une largeur de 1 à 2 cm présente une coloration vert olive très caractéristique. La limite tranchée entre ces deux zones épouse un contour en festons réguliers par suite de l'amenuisement de la partie olive au voisinage de l'extrémité des nervures principales.

Le symptôme affecte plus particulièrement les feuilles de rang supérieur à 3 dans les parties basses de la couronne; nous l'avons également rencontré sur rejets. Les arbres le présentant étaient toujours normalement ombragés.

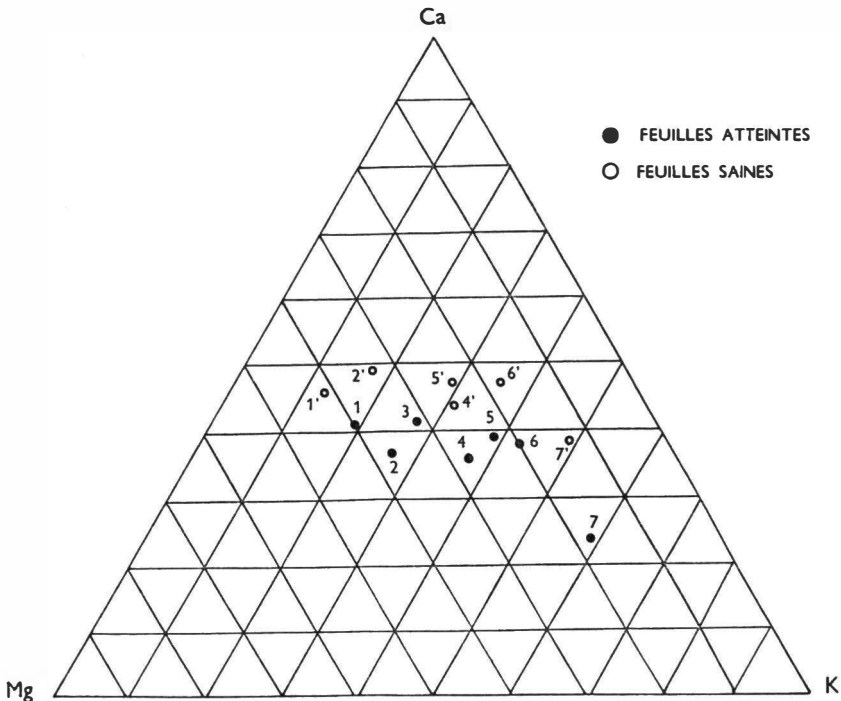


Fig. 3. — Composition cationique des feuilles déficientes en calcium et de leurs homologues.



## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

Les feuilles atteintes possèdent, par rapport à des feuilles saines homologues prélevées sur des arbres indemnes voisins, les particularités suivantes :

- un faible degré de minéralisation, que traduit une faible teneur en cations;
- des teneurs plus faibles et souvent anormalement basses en calcium, qui induisent dans le rapport cationique par comparaison aux feuilles indemnes, une augmentation du pourcentage relatif du potassium (figure 3);
- une diminution des teneurs en azote et en phosphore.

Les feuilles homologues d'arbres apparemment sains possèdent des teneurs normales en azote et en phosphore; elles peuvent être fortement déficientes en potassium et, en pareil cas, leurs teneurs en calcium sont normales et celles en magnésium trop élevées; elles peuvent être également déficientes en calcium et magnésium, leur niveau en potassium étant alors satisfaisant (tabl. VII).

D'une façon générale, les teneurs en manganèse des feuilles, atteintes ou non, sont élevées et leurs teneurs en bore normales à faibles.

Ces symptômes ont été rencontrés exclusivement dans un lithosol dérivé de pegmatite et dans certains sols bruns d'altitude et sols bruns latosoliques développés sur argile d'altération du basalte à olivine.

En dépit de leur origine différente, ces sols possèdent certains caractères communs, à savoir :

- des teneurs élevées en matière organique dans l'horizon superficiel;
- un pH très faible;
- une capacité d'échange de bases moyenne (20 à 30 m.éq./100 g de sol);
- un faible pourcentage de saturation du complexe sorbant (de 30 à 10 % et moins).

Dans les endroits où l'on observe les symptômes, on n'a pas seulement un faible pourcentage de saturation du complexe sorbant, mais encore un déséquilibre dans le rapport des cations adsorbés au détriment du calcium et de plus, pour les sols dérivés de basalte, du potassium (tabl. VIII).

On y constate un amenuisement de la couche humifère; ces sols freinent aussi, à faible profondeur, le développement du système racinaire du caféier.

Dans le lithosol, la pénétration des racines est entravée par la nature pierreuse du matériau originel. Dans les sols développés sur argile d'altération du basalte à olivine, à forte proportion d'éléments fins, une mauvaise conservation de la couche humifère entraîne une rédu-

TABLEAU VII

Composition minérale des feuilles à bande festonnée olive et de leurs homologues apparemment saines.

Sol	Localisation	Numéro de prospection	Teneurs/100 g de matière sèche				Cations (m.éq./100 g)	Rapport cationique (% m. éq.)			Remarques	
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg		K
Sol brun sur argile d'altération de basalte à olivine	Tchirumbi	184	2,78	0,230	1,54	0,82	0,80	165	47	41	12	feuilles saines
		187	2,57	0,180	0,97	0,58	0,90	119	41	40	19	feuilles atteintes
Sol brun sur argile d'altération de basalte à olivine	Tchirumbi	188	3,10	0,212	1,14	0,44	1,55	133	43	27	30	feuilles saines
		191	2,90	0,202	0,84	0,38	1,65	115	36	27	37	feuilles atteintes
Sol brun sur argile d'altération de basalte à olivine	Tchirumbi	182	3,14	0,198	0,99	0,45	1,25	119	42	31	27	feuilles atteintes sur rejets
Sol brun d'altitude sur basalte	Isambio	75	2,85	0,222	1,18	0,37	1,45	126	47	24	29	feuilles saines
		78	2,69	0,202	0,74	0,27	1,35	94	39	24	37	feuilles atteintes
Sol brun d'altitude sur basalte	Isambio	80	2,85	0,220	1,46	0,62	0,95	148	49	34	17	feuilles saines
		81	2,86	0,192	0,94	0,57	1,30	127	37	37	26	feuilles atteintes
Lithosol sur pegmatite	Loango	101	2,84	0,202	0,98	0,21	2,50	130	38	13	49	feuilles saines
		102	2,39	0,188	0,50	0,21	2,35	102	24	17	59	feuilles atteintes

**TABEAU VIII**

*Caractéristiques pédologiques des sols où se rencontrent des feuilles à bande festonnée olivée.*

Sol	Localisation	Éléments fins de 0-20 $\mu$ (%)	Matière organique			pH	Capacité d'échange (T) (m.éq./100 g)	Bases échangeables (m.éq./100 g)				V(**) (%)	Cations en % de leur somme dans le complexe		
			C (%)	N (%)	C/N			Ca	Mg	K	S(*)		Ca	Mg	K
Lithosol	Loango	29	5,1	0,40	13	4,5	20,4	2,5	3,2	0,75	6,45	32	39	50	11
Sol brun sur basalte	Tchirumbi	85	4,2	0,37	11	4,9	27,0	5,0	1,5	0,35	6,85	25	73	22	5
Sol brun d'altitude sur basalte	Isambio	90	6,2	0,55	11	4,7	32,4	2,3	2,0	0,51	4,80	15	48	42	10

(\*) S : Somme des bases échangeables du complexe.

(\*\*) V : % de saturation du complexe, soit  $\frac{S \times 100}{T}$

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

tion de la profondeur de sol effectivement exploitable par la plante, car les blocs structuraux de l'horizon illuvial, à aération réduite, constituent une zone d'étranglement physique.

Les faibles proportions en éléments minéraux réellement disponibles et la réduction du volume de terre effectivement exploitable, concourent donc dans ces sols à l'induction dans les tissus des caféiers de déficiences en éléments cationiques, Ca et K principalement.

Celles-ci peuvent revêtir l'aspect décrit ci-dessus, elles peuvent également prendre l'aspect de déficiences en Mg, que traduit alors la composition chimique des tissus atteints. On peut également dans les mêmes sites observer parfois des déficiences en bore.

En l'absence d'ombrage, nous n'avons pas rencontré le symptôme décrit ici. Par contre, dans les mêmes conditions édaphiques, les caféiers présentent le syndrome d'un excès d'acidité du sol que nous traitons plus loin.

### E. *La déficience en magnésium.*

La déficience en magnésium est caractérisée par une altération de la couleur normale du parenchyme internervien qui prend des teintes pourpres, bronzées et jaunes; les nervures restent néanmoins entourées d'une bande de parenchyme inaltéré qui les souligne grossièrement.

Les premiers symptômes apparaissent dans la partie centrale du limbe, sous forme de larges taches bronzées peu nombreuses et à diffusion centrifuge. Ils affectent principalement les feuilles de rang élevé, 6<sup>e</sup> à 10<sup>e</sup> généralement; les feuilles atteintes ont tendance à s'incliner perpendiculairement au sol, de sorte qu'elles semblent suspendues aux branches.

Le symptôme est surtout localisé dans les branches basses fortement fructifères. Son évolution normale est la chute prématurée des feuilles qui laissent les parties fructifères des branches complètement dénudées. À ce stade, les feuilles de quatrième rang sont souvent atteintes également.

Cette déficience existe à l'état endémique dans les plantations établies sur sols à réaction acide moyenne à forte, et notamment où la muscovite constitue l'un des minéraux altérables principaux de la fraction fine. Les caféiers affectés, généralement peu nombreux, y sont distribués irrégulièrement.

Les feuilles atteintes possèdent essentiellement des teneurs anormalement basses en magnésium ( $< 0,1\%$ ) et en azote; leur degré de minéralisation est peu poussé (tabl. IX).

TABLEAU IX

Composition chimique des feuilles atteintes de déficience en magnésium.

1 <sup>er</sup> stade : feuilles de 8 <sup>e</sup> -10 <sup>e</sup> rangs affectées - feuilles de 4 <sup>e</sup> rang indemnes.												
Sol	Localisation	N° de prospection	Teneurs/100 g de matière sèche				Cations (m.éq./100 g)	Rapport cationique (% m.éq.)			Rang de la feuille	
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg		K
Sol brun podzolique . . . . .	Ruambira	138	2,00	0,108	1,03	0,07	117	44	5	51	8-10 4	
		136	2,39	0,154	1,24	0,30	137	45	18	37		
Sol colluvial jeune dérivé de micaschiste . . . . .	Makengere	83	2,35	0,156	1,07	0,07	126	43	5	52	8-10 4	
		82	3,03	0,154	1,22	0,22	139	44	13	43		
Sol brun d'altitude dérivé de basalte . . . . .	Isambio	76	2,21	0,244	1,17	0,10	125	48	7	45	8-10 4	
		75	2,85	0,222	1,18	0,37	126	47	24	29		

2 <sup>e</sup> stade : feuilles de 4 <sup>e</sup> rang affectées.												
Sol	Localisation	N° de prospection	Teneurs/100 g de matière sèche				Cations (m.éq./100 g)	Rapport cationique (% m.éq.)			Rang de la feuille	
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg		K
Sol brun dérivé de basalte . . . . .	Kavumu	154	2,21	0,354	0,95	0,10	118	40	7	53	4	
		215	2,66	0,274	0,93	0,16	130	36	10	54		
Sol colluvial jeune dérivé de granite . . . . .	Musienene											

TABLEAU X

Caractéristiques pédologiques des sites où se rencontrent des déficiences en magnésium.

Sol	Localisation	N° de prospection	Éléments fins (%)	Matière organique		pH	Capacité d'échange (T) (m.éq./100 g)	Bases échangeables (m.éq./100 g)				Cations en % de leur somme dans le complexe			Phosphore (TRUOG) (p.p.m.)
				C (%)	N (%)			Ca	Mg	K	S *	Ca	Mg	K	
Sol brun podzologique	Rwambira	C59	43,4	5,40	0,55	4,2	20,0	1,9	0,6	1,10	3,6	53	17	30	2
Sol brun dérivé de basalte	Kavumu	C76	88,0	3,01	0,38	5,6	23,2	8,0	2,0	1,63	11,6	69	17	14	19
Sol brun d'altitude dérivé de basalte	Isambio	C33	88,0	6,40	0,55	4,7	31,2	1,1	1,1	0,50	2,7	41	41	18	24
Sol colluvial jeune dérivé de mica schiste	Makengere	C35	56,0	5,60	0,51	5,4	27,0	6,1	3,2	1,61	10,9	56	29	15	481
Sol colluvial jeune dérivé de granite	Musienene	C117	60,4	2,71	0,30	5,0	14,2	0,7	0,2	1,10	2,0	35	10	55	25

\* (S) : Somme des bases échangeables du complexe.

Par rapport à des feuilles normales de quatrième rang, prélevées sur les mêmes arbres, les teneurs en azote et en magnésium des feuilles carencées sont plus faibles. Leur rapport cationique est perturbé au profit du potassium; si la teneur en calcium a parfois tendance à baisser, dans le rapport cationique par contre le calcium conserve une valeur sensiblement constante.

On constate d'autre part que les feuilles normales de quatrième rang ne traduisent en général pas la carence qui affecte leurs homologues de rang supérieur : ce sont donc celles-ci qui les premières cèdent leur magnésium lorsque l'assimilation de cet élément par la plante est insuffisante, alors que normalement, elles en contiennent le plus.

Lorsque par contre, les feuilles de quatrième rang sont atteintes également, leur composition chimique s'identifie alors à celle des feuilles carencées de rang supérieur.

A un stade intermédiaire enfin, on trouve des feuilles de quatrième rang, non atteintes, mais à teneur anormalement faible en magnésium.

Les conditions édaphiques sous lesquelles cette déficience fut observée relèvent essentiellement du caractère de saturation du complexe sorbant. Si, en effet, une déficience en magnésium échangeable du sol peut parfois exister, en général néanmoins, c'est un déséquilibre dans le rapport des différents cations échangeables du sol, au détriment du calcium et du magnésium et au profit du potassium qui constitue la cause la plus fréquente des déficiences observées. Dans un sol normal en effet, le pourcentage du potassium dans la somme des cations échangeables est de l'ordre de 5 à 10 %. Il est de 14 à 55 % pour les sols mentionnés ici.

Les sols dérivés de matériau riche en potassium et pauvre en magnésium sont évidemment les plus susceptibles d'induire la déficience (micaschistes, psammites et greisen à muscovite, migmatites à orthose), comme d'autre part les sols appauvris en bases par lixiviation intensive. Dans ce dernier cas, la déficience en magnésium ne constitue que l'un des multiples faciès de malnutrition que peut présenter le caféier à faible pH.

### F. *La déficience en potassium.*

Bien que des déficiences en potassium soient fréquentes chez le caféier d'Arabie, nous n'en avons pas rencontré de faciès typique.

On peut pratiquement considérer que, pour les sols du Kivu, des valeurs du potassium échangeable de  $< 0,7$  m.éq./100 g de sol superficiel sont insuffisantes et l'on constate alors, dans la compo-

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

sition chimique des feuilles, une chute des teneurs globales en potassium ( $< 1,8 \%$ ) et un déplacement du rapport cationique normal au détriment de cet élément (K % dans la somme des cations  $< 35 \%$ ).

On rencontre également des déficiences en potassium pour des teneurs en potassium échangeable du sol plus importantes, et particulièrement en présence d'un complexe sorbant à capacité d'échange cationique élevée lorsque, dans l'ensemble des cations saturant le complexe, sa proportion est inférieure à 5 %.

Les plants présentant ces caractères, à feuilles et à port normaux en apparence, sont en général peu fructifères et possèdent peu de feuilles en raison de leur chute prématurée.

C'est sur sols développés sur argile d'altération de basaltes à olivine et dans des sols de marais que nous l'avons rencontrée le plus fréquemment : elle peut y être associée à d'autres symptômes, notamment ceux d'une alimentation cationique globale déficitaire. Associée à une déficience en azote, elle revêt alors un aspect caractéristique que nous décrivons ci-dessous.

### *G. La déficience potassique et azotée.*

L'association de ces deux déficiences engendre le développement d'un faciès caractéristique.

Les feuilles, de taille normale, présentent une décoloration très prononcée des nervures et un jaunissement du limbe qui prend des teintes cuivrées dans sa partie marginale. L'ensemble du feuillage est affecté par le phénomène, les feuilles adultes à un degré plus intense. Le jaunissement peut parfois aller jusqu'au blanchissement pour les feuilles jeunes, il y a de plus réduction de la taille des feuilles nouvellement formées.

Ces symptômes peuvent varier en intensité. Parfois, les rejets, de même que les parties supérieures de la couronne, ne sont pas touchés; la décoloration des nervures et le développement des teintes cuivrées sur le bord du limbe semblent précéder le jaunissement.

Les arbres atteints, de taille normale, portent généralement des récoltes exceptionnellement abondantes; les fruits présentent néanmoins une coloration jaune qui accentue encore l'aspect carencé des caféiers. La maturation des fruits, nous l'avons constaté, est fortement retardée, et il semble douteux qu'elle puisse s'achever normalement pour la majorité d'entre eux. On note également l'absence de boutons floraux. (photos 1 et 2).

C'est par larges plages que sont affectés les caféiers.



## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

Les feuilles de quatrième rang atteintes présentent les caractéristiques chimiques suivantes :

- teneurs très faibles en azote ( $< 2\%$ ) et en potassium ( $< 1,8\%$ );
- teneur cationique totale faible ( $< 130$  m.éq./100 g);

- teneurs variables en magnésium et calcium, mais rapport  $\frac{K}{Ca+Mg}$  faible.

Les feuilles de quatrième rang non atteintes, prélevées sur les mêmes arbres, ont de faibles teneurs en potassium, tandis que leurs teneurs en azote se relèvent à 2,20 %.

Par rapport à des feuilles prélevées sur des arbres non atteints situés dans des sites voisins, on constate une déficience absolue et relative en potassium et une déficience en azote.

On peut difficilement retenir comme critères absolus de différenciation les caractéristiques édaphiques des sites où les caféiers présentent le symptôme. Par rapport à des sites voisins, à arbres normaux, on constate une diminution de l'épaisseur de la couche humifère et de sa teneur en matière organique et une diminution des teneurs en potassium échangeable du sol superficiel. A cette dernière particularité, correspond d'ailleurs une diminution du pourcentage relatif du potassium dans l'ensemble des cations échangeables du complexe. Par contre, les valeurs absolues que prennent ici ces critères pédologiques ne se situent pas toujours sous des niveaux que l'on pourrait considérer comme critiques. On est donc amené à admettre que des déficiences, somme toute assez légères, en azote et potassium ne se sont manifestées de façon aussi aiguë qu'à la suite d'une fructification abondante que le caféier s'avère incapable de mener à bonne fin.

### H. *La chlorose calcaire.*

Dans son expression la plus caractéristique, le symptôme consiste essentiellement dans un jaunissement uniforme et général du parenchyme internervien. Les nervures n'étant pas affectées par le phénomène, elles prennent l'apparence d'une fine trame vert intense, se détachant très distinctement d'un fond jaune continu.

Il y a relativement peu de gradation dans l'intensité du phénomène; tout au plus, le fond jaune est-il uniformément mêlé à plus ou moins de vert. Dans certains cas extrêmes, les feuilles apparaissent presque blanches et diaphanes; les nervures elles-mêmes peuvent alors se décolorer, tout en restant cependant nettement apparentes.



Photo 1. — Déficience potassique et azotée.  
Aspect général du caféier.



Photo 3. — Chlorose internervienne.



Photo 2. — Déficience potassique et azotée. Divers aspects;  
à gauche, branche saine.



## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

A ses débuts, le symptôme est généralement localisé dans les parties basses de l'arbre, les jeunes feuilles complètement épanouies l'extériorisant les premières. Il évolue d'ailleurs très rapidement affectant bientôt les feuilles du haut de la couronne, où celles de quatrième rang le présentent au maximum.

A ce stade, la chute des feuilles adultes est abondante, la croissance fortement ralentie et la production pratiquement nulle. Les jeunes feuilles des branches hautes conservent leur couleur verte régulière, et l'arbre jaunissant se trouve de la sorte couronné de sommets végétatifs d'aspect normal.

A un stade ultérieur, les jeunes feuilles elle-mêmes sont affectées par le phénomène : elles se décolorent alors, leurs nervures présentant dans ce cas une teinte rosée particulière. L'évolution postérieure à ce stade est la mort du végétal.

L'apparition du phénomène, dont le développement semble très rapide, n'a lieu généralement qu'après l'entrée en production de l'arbre ; après la plantation en effet, le développement du caféier est vigoureux, et la première production souvent abondante. C'est à ce moment que le déséquilibre interne des tissus commence à s'extérioriser. Par contre, les caféiers atteints recépés produisent des rejets carencés dès leur apparition.

L'incidence de la chlorose calcaire au Kivu est heureusement faible, liée à la présence de carbonate de calcium dans l'horizon superficiel. On la trouve en sols développés directement sur travertins calcaires et également en certains endroits où un apport massif d'eau de ruissellement ou de résurgence chargée de  $\text{CaCO}_3$  a imprimé au sol normal les transformations de réaction et de composition chimiques, inductrices du développement de la chlorose.

Reflet fidèle de ces conditions édaphiques particulières, elle n'affecte que de petits groupes de caféiers, atteints à des degrés divers en raison de différence d'âge et de vigueur.

L'analyse foliaire de ces caféiers fait ressortir, par rapport à une composition chimique normale, les particularités suivantes (tableau XI) :

- excès de calcium ;
- teneurs élevées en potassium ;
- teneurs normales à faibles en magnésium ;
- teneurs en cations totaux très élevées ;
- déséquilibre au détriment du magnésium et parfois du potassium de la composition cationique des feuilles ;
- teneurs normales à faibles en fer et très faibles en manganèse ;
- rapport Ca/K normal à élevé.

Les sols correspondants (tableau XII), pauvres en matière organique, ont un pH supérieur à 7 et contiennent du carbonate de calcium

**TABLEAU XI**  
*Composition chimique des feuilles de cafés atteints de chlorose calcaire.*

Sol	Localisation	N° de prospection	Teneurs pour 100 g de matière sèche				Cations (m.ég./100 g)	Rapport cationique (%m.ég.)			Fe (p.p.m.)	Mn (p.p.m.)
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg		
Sol brun sur argile d'altération de basalte . . . . .	Luiru	114	2,84	0,198	3,06	0,23	240	64	8	28	108	19
	Idem . . . . .	118	2,98	0,244	2,69	0,18	227	59	7	34	157	52
Régosol sur cendrées volcaniques . . . . .	Mwambaliro	63	2,89	0,234	1,85	0,18	200	46	7	47	95	4

**TABLEAU XII**  
*Caractéristiques chimiques des sols inducteurs de chlorose calcaire.*

Sol	Localisation	N° de prospection	N° d'échantillon foliaire correspondant	Matière organique		pH	Capacité d'échange de bases (l) (m.ég. %)	Cations échangeables (m.ég. %)			Présence de CaCO <sub>3</sub>	
				C (%)	N (%)			Mg	K	Na		P (TRUOG) (p.p.m.)
Sol brun sur argile d'altération de basalte . . . . .	Luiru	C 48	114	2,27	0,295	8,0	21,6	2,3	1,97	0,11	22	XXX
	Idem . . . . .	C 50	118	3,04	0,382	8,1	24,3	2,7	1,92	0,16	26	XXX
Régosol sur cendrées volcaniques . . . . .	Mwambaliro	C 28	63	2,87	0,369	7,8	46,1	6,7	1,30	0,48	212	XX

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

en quantité notable. Selon leur origine, ils peuvent être plus ou moins riches en potassium et magnésium échangeables.

Si les conditions édaphiques sont donc favorables à l'induction de la chlorose calcaire, la composition chimique des feuilles carencées ne répond cependant pas toujours aux données généralement produites en pareil cas pour d'autres plantes.

THORNE *et al.* [1951] signalent en effet, dans des sols à caractéristiques chimiques sensiblement égales à celles présentées dans nos deux premiers exemples, que les feuilles de plantes atteintes de chlorose calcaire ont de fortes teneurs en azote et potassium et un rapport K/Ca très élevé.

Cette dernière donnée ne se vérifie pas pour nos échantillons n<sup>os</sup> 114 et 118, malgré de fortes teneurs en potassium, en raison d'une accumulation anormalement élevée de calcium. Elle se trouve néanmoins vérifiée dans d'autres cas (échantillon n<sup>o</sup> 63).

Un autre caractère distinctif de la chlorose calcaire, selon ces auteurs, serait une teneur anormalement basse en fer dans les tissus atteints. Les teneurs en fer des caféiers chlorotiques, faibles en général, ne peuvent cependant pas être considérées comme déficitaires.

BROWN [1956] note cependant que l'on en est encore réduit aux hypothèses quant aux mécanismes intimes des processus inducteurs de la chlorose et que les déviations dans la composition chimique normale des plantes doivent être considérées comme des conséquences plutôt que comme facteurs d'induction.

Il souligne que la présence de carbonate de calcium dans le sol, à pH acide ou basique, est un facteur déterminant de son apparition et qu'elle régresse par application à la plante de fer sous une forme adéquate (composés chélatés et  $Fe^{++}$ ), sans que nécessairement le fer dans les tissus soit déficient. L'hypothèse d'une inassimilabilité du fer en sol calcaire est défendue par certains auteurs tandis que d'autres y voient plutôt une inutilisation provoquée par immobilisation ou défaut de translocation dans la plante même.

Nos données sont trop fragmentaires pour nous permettre actuellement d'avancer une théorie explicative de cette chlorose chez le caféier d'Arabie. La présence de fer en quantités suffisantes dans les plantes carencées milite évidemment en faveur de l'hypothèse susmentionnée du défaut de translocation. Des essais d'applications de composés chélatés de fer au sol ou en pulvérisation seraient nécessaires pour lui rechercher un correctif.

En tous cas, le caféier d'Arabie semble particulièrement susceptible à cette déficience. Il apparaît en fait, que des sols à pH supérieur à 6,8, malgré leur richesse chimique, sont inadéquats à la culture du caféier si l'on n'y prévient pas artificiellement et régulièrement les carences en manganèse et en fer.

I. *La chlorose internervienne en sol acide.*

La décoloration du parenchyme internervien induit l'aspect caractéristique de la chlorose calcaire (photo 3). Ici cependant la décoloration est rarement aussi poussée; elle affecte des feuilles d'extrémité de plagiotropes inférieures de la couronne et, plus rarement, des feuilles jeunes situées à l'extrémité de rameaux non encore fructifères de la partie supérieure de l'arbre. Les feuilles de second rang sont affectées au maximum. Une faible partie du feuillage seulement est atteinte, et seuls quelques arbres présentent sporadiquement le symptôme dans une aire où la chlorose se manifeste.

Plus fréquemment, le symptôme est localisé aux feuilles terminales des jeunes rejets; il tend d'ailleurs à disparaître avec leur vieillissement. Les rejets affectés restent vigoureux; les feuilles sont parfois étirées dans le sens longitudinal, et plus rarement, elles peuvent présenter une décoloration marginale du limbe (photo 3).

La chlorose internervienne en sol acide est pratiquement répandue dans toute la zone caféière. A l'encontre de la chlorose calcaire, elle ne paraît pas liée à des conditions édaphiques particulières. Elle existe en sols aussi bien faiblement que fortement acides, en sols peu ou très évolués, dérivés de matériaux parentaux différents. La teneur en matière organique, la capacité d'échange de bases, les proportions respectives des cations saturant le complexe ne semblent pas liées au phénomène. Par contre, dans de nombreux cas, le taux de phosphore assimilable est particulièrement élevé.

La constitution de couples d'échantillons « feuilles atteintes/feuilles saines homologues » prélevées sur arbres normaux voisins, nous a permis d'étudier les variations dans les teneurs et les rapports en éléments chimiques de cet organe. Pour les feuilles affectées :

- l'azote, le phosphore et le potassium sont significativement plus élevés;
- la somme des cations et la proportion du potassium dans le rapport de ceux-ci sont également plus élevées;
- les rapports N/P et N/K, par contre, diminuent de façon très significative;
- il n'y a pas de différences significatives dans les teneurs en fer, qui sont normales.

Ces données se reproduisent quelles que soient les teneurs, très variables, en éléments chimiques des feuilles prélevées sur les arbres sains.

Si ce symptôme est assez répandu, il est néanmoins loin de constituer un problème crucial dans les plantations où il se manifeste.



Photo 4. — Déficience en manganèse. Premiers stades.



Photo 5. — Déficience en manganèse. Troisième stade.





## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Quant à ses causes, il ne nous est pas possible actuellement de les définir avec précision.

La manifestation temporaire du symptôme, sa localisation à de jeunes pousses vigoureuses, son intensité dans les feuilles de second rang, correspondent aux descriptions que donne ROBINSON [1955] de la « green vein chlorosis » observée au Kenya dans des sols dérivés du « Basement complex » et des sols rouges d'origine volcanique. Il y a obtenu des guérisons spectaculaires par application de  $\text{FeSO}_4$  sur les feuilles et il attribue à des déficiences momentanées en fer les symptômes qu'il décrit.

FRANCO et LOOMIS [1947] et FRANCO et MENDES [1949] de leur côté, attribuent à des déficiences en fer la chlorose de même type qu'ils constatent à des pH aussi faibles que 5,5 en présence de fortes quantités de  $\text{P}_2\text{O}_5$  assimilable.

Des essais approfondis seraient donc nécessaires pour vérifier l'hypothèse d'une chlorose internervienne due à des déficiences en fer dans des sols à pH variant de 4,5 à 7.

### J. La carence en manganèse.

La cause primordiale des faibles productions obtenues dans certaines plantations établies sur cendrées volcaniques est assurément la carence en manganèse. Ses symptômes en sont polymorphes, et, surtout, présentent une gamme d'intensité très variée (photos 4 et 5).

Dans les plantations relativement peu affectées, elle apparaît comme une décoloration du parenchyme internervien des feuilles adultes; le limbe de ces dernières est de plus parsemé de taches jaunes punctiformes. La décoloration du parenchyme internervien, symptôme caractéristique de la chlorose calcaire, est cependant beaucoup moins poussée : les feuilles n'ont pas le même aspect jaunissant et les nervures

TABLEAU XIII

Stade de déficience	Teneur en Mn (p.p.m.)
1 <sup>er</sup> stade	21
2 <sup>e</sup> stade	13
3 <sup>e</sup> stade	1

DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

TABLEAU  
*Diagnostic chimique dans des plantations sujet*

Sol	Localisation	Plants						
		N° de prospection (feuilles)	Teneurs pour 100 g de matière sèche					Ca tior (m.é 100)
			N	P	Ca	Mg	K	
Sol brun sur cendrées volcaniques anciennes	Muhanga	71	2,20	0,152	0,98	0,40	1,95	13
		74	3,00	0,190	1,07	0,39	1,70	12
Sol brun sur cendrées volcaniques anciennes	Kea	65	2,51	0,206	1,16	0,28	2,30	14
		70	2,73	0,194	1,71	0,46	2,90	19
Sol brun sur cendrées volcaniques	Bobandana	47	2,77	0,210	1,34	0,25	2,37	14
Régosol sur cendrées volcaniques	Mwambaliro	57	2,22	0,224	1,65	0,37	3,00	19
		62	2,97	0,266	1,47	0,29	3,65	18
Régosol sur cendrées volcaniques	Luhonga	53	2,07	0,152	0,87	0,38	2,35	13
Régosol sur cendrées volcaniques	Mwambaliro	64	2,64	0,240	1,89	0,29	2,35	17
Sol brun sur argile d'altération de basalte	Kakondo	114	2,84	0,198	3,06	0,23	2,65	24

N.B. : Tous les échantillons sont des échantillons moyens - de feuilles de 4<sup>e</sup> rang pour les plants

principales sont de plus entourées ici d'une bande de parenchyme non altéré. Le rang des feuilles atteintes, feuilles adultes de cinquième rang et plus, est également différent et leur chute n'a pas lieu prématurément.

Tel qu'il est décrit ici, ce symptôme se rencontre seul, sur des caféier établis en sols de cendrées volcaniques évolués (cfr stade 3 de l'altération, p. 25), à pH légèrement acide en surface et à teneur en matière organique moyenne (tableau XIII). Les teneurs en manganèse

DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

IV  
déficiency en manganèse et à chlorose calcaire.

Plantes			Sol						Capacité d'échange de bases m.éq./ (100 g)	Remarques
Rapport cationique (% m. éq.)			Mn (p. p. m.)	Fe (p. p. m.)	N° de laboratoire (sol)	Matière organique		pH		
Ca	Mg	K				C (%)	N (%)			
37	25	38	70	108	64899	3,6	0,34	6,4	36,2	
41	25	34	45	104	64900	5,1	0,45	6,6	45,9	Symptômes à peine apparents
41	16	43	70	54	64897	3,5	0,34	6,0	38,3	Symptômes à peine apparents
42	20	38	7	90	64898	4,3	0,42	6,5	37,1	Symptômes bien apparents
45	14	41	19	104	64891	3,5	0,37	6,4	42,6	Premiers symptômes très apparents
44	10	40	13	32	64894	5,1	0,53	6,7	31,7	Carence en Mn, tous stades
38	13	49	1	63	64895	4,1	0,49	7,0	33,5	Carence en Mn, très aiguë
32	23	45	18	104	64893	6,7	0,73	6,5	28,8	Carence en Mn et jaunissement
53	13	34	12	81	64896	2,9	0,37	7,8	46,1	Carence en Fe et carence en Mn
64	8	28	19	108	64916	2,3	0,29	8,0	21,6	Chlorose calcaire

: surface sur 15 cm pour les sols.

des feuilles y sont de l'ordre de 60 à 80 p.p.m., c'est-à-dire légèrement inférieures à la normale.

Par contre, là où les déficiences se manifestent de façon aiguë, on trouve à côté des premiers symptômes décrits ci-dessus, d'autres faciès plus apparents.

Les taches punctiformes peuvent en effet se multiplier et confluer, donnant naissance à de petites plages jaunes de forme grossièrement

triangulaire, limitées par les fines nervures de troisième et quatrième ordre. Leur densité augmente au voisinage des nervures principales et vers le bas de la feuille. La coalescence de ces taches, à un stade plus avancé, entraîne la formation de larges plages cuivrées séparées par les nervures principales et d'extension plus grande vers la base de la feuille et en son centre; certaines nervures elles-mêmes peuvent parfois se décolorer.

La face supérieure des feuilles se bombe souvent à l'endroit de la décoloration. Son extrémité reste en général in affectée : l'accroissement du symptôme est donc centrifuge.

Sur une même feuille, les différents stades décrits ci-dessus peuvent coexister. Il y a généralement une gradation d'intensité pour les feuilles d'une même branche, celles de cinquième à septième rang étant affectées au maximum.

Enfin, l'ensemble des branches d'un arbre donné, exception faite pour celles du sommet, présentent le symptôme à divers degrés, et il en est de même pour les différents caféiers d'une plantation.

La déficience en manganèse apparaît très tôt sur les jeunes sujets; elle atteint également les feuilles de rejets. La productivité des arbres fortement affectés est dérisoire : c'est dire l'importance économique de cette carence dans toute la région de volcanisme actuel du Nord du lac Kivu.

Des analyses foliaires ont permis de mettre en évidence les teneurs extrêmement déficitaires en manganèse de ces organes. A des intensités de symptômes visuels croissantes correspondent des teneurs de plus en plus faibles en cet élément comme l'indiquent les chiffres suivants obtenus dans la même plantation (tabl. XIV.)

Les carences sont particulièrement accentuées dans les régosols sur cendrées jeunes, caractérisés par une teneur élevée en matière organique, une forte capacité d'échange de bases de la fraction argileuse et un pH élevé (p. 30).

Ces sols contenant de fortes quantités de manganèse total, (> 400 p.p.m.), on se trouve donc en présence de déficiences induites par des conditions édaphiques particulières : pH et teneurs élevés en matière organique du sol.

Des dosages de manganèse soluble, échangeable et facilement réductible, présumé fraction assimilable du manganèse total, n'ont pas fait apparaître pour ces sols de corrélation entre les teneurs en l'une quelconque de ces formes de manganèse et l'intensité des carences effectivement décelées dans les feuilles. Les teneurs observées, respectivement de 0,8 à 2,8 p.p.m. de manganèse échangeable et de 14 à 35 p.p.m. de manganèse facilement réductible, sont en tous cas largement inférieures à celles avancées par LEEPER [1946] comme seuil de carence (respectivement 2 et 100 p.p.m.).

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les conditions d'oxydo-réduction de ces sols très perméables et leur pH sont évidemment favorables à l'immobilisation du manganèse sous forme d'oxydes supérieurs; leurs hautes teneurs en matière organique d'autre part, entraînent la complexation du peu de manganèse présent sous forme réduite, seul assimilable par les plantes [HEINTZE et MANN, 1945; MULDER et GERRETSEN, 1952].

Ce dernier fait permet d'expliquer la nocuité du paillis et l'action favorable d'un « clean weeding », entretenu par des labours répétés, sur l'incidence de la carence. La destruction de matière organique, entraînée par cette pratique, libère vraisemblablement à l'état réduit du manganèse complexé; la transformation de ce dernier en oxydes supérieurs, malgré les phénomènes d'oxydation au sein du sol favorisés par ce mode d'entretien, est suffisamment incomplète pour permettre néanmoins à la plante une certaine alimentation en cet élément.

Dans les sols de même origine, plus évolués, à pH et à teneur en matière organique plus faibles, nous l'avons vu, les phénomènes de carence sont nettement moins apparents, reflets des teneurs en manganèse plus élevées constatées dans les feuilles.

D'une façon générale, les carences en manganèse s'accompagnent d'une diminution de la teneur en fer des feuilles à des niveaux nettement sous la normale, bien que ce symptôme de déficience n'apparaisse pas. Dans un cas, les deux symptômes ont été observés simultanément : en sol à pH supérieur à 7, riche en carbonate de calcium et à teneur en matière organique moyenne.

La correction de la déficience par application de manganèse, au sol lui-même semble donc, compte tenu des conditions particulières de son induction, vouée à un échec. Il est donc nécessaire d'avoir recours à des pulvérisations pour la pallier.

L'application de manganèse aux feuilles atténue fortement la déficience et augmente leurs teneurs en cet élément (de  $< 1$  à  $\pm 20$  p.p.m. dans des plantations affectées, après une pulvérisation seulement).

D'après les observations effectuées, deux pulvérisations par an, à des doses totales de sulfate de manganèse de l'ordre de 20 à 40 kg par ha et par an<sup>1</sup>, seraient nécessaires.

La carence en manganèse enfin est souvent accompagnée d'une déficience en azote.

On peut également la trouver associée à des déséquilibres magnésiques induits par les fortes teneurs en potassium échangeable de certains sols chimiquement très riches.

---

1. Il est entendu que la solution de sulfate de manganèse doit être neutralisée au préalable.

### K. *La déficience en bore.*

Parmi les rares travaux relatifs aux déficiences en oligo-éléments du caféier d'Arabie publiés à ce jour, certains ont spécialement traité la déficience en bore. Celle-ci a été observée entre autre au Costa Rica où elle entraîne une sérieuse dépression de rendement [GONZALES, 1953]. Elle existe également dans de nombreuses plantations du Kivu et y manifeste les mêmes symptômes que ceux décrits par GONZALES et CAMACHO [1952] en Amérique centrale :

- 1) mort ou entrée en repos des bourgeons terminaux, avec comme conséquence, dans la première alternative, la formation de balais de sorcière.
- 2) déformation des jeunes feuilles;
- 3) taches nécrotiques sur jeunes feuilles et « die back » de rameaux;
- 4) chlorose de la partie apicale de la feuille, cette dernière acquérant une coloration olive caractéristique;
- 5) subérisation des nervures, sur la face inférieure surtout et, parfois, sur la face supérieure.

Nous avons pu constater que l'association des symptômes 1, 4 et 5 est la plus fréquente et, à notre sens, la seule vraiment caractéristique. Les faciès 1, 2 et 3, pris isolément, s'ils permettent d'attirer l'attention sur une déficience éventuelle en bore, ne constituent pas à eux seuls une base de diagnostic suffisante. Il est par exemple bien établi [WALLACE 1951], et nous l'avons observé sur caféier d'Arabie, que le premier faciès décrit peut être dû également à une déficience en calcium. Ceci ne lui enlève d'ailleurs aucunement sa valeur en tant que base de diagnostic précoce, pour autant que la déficience naissante en bore soit confirmée par analyse.

Les faciès 4 et 5 affectent exclusivement des feuilles âgées de rang élevé. Ces dernières ne décèlent à l'analyse que des teneurs en bore très insuffisantes (de 5 à 10 p.p.m. contre 25 et plus normalement). Compte tenu de leur rang, leurs teneurs en cations totaux et en calcium sont parfois très faibles comme le montrent les compositions chimiques moyennes données au tableau XV.

La déficience en bore ne se limite cependant pas aux seules feuilles extériorisant le symptôme décrit; les teneurs en bore de l'ensemble des caféiers des plantations affectées sont généralement insuffisantes comme en témoignent les chiffres d'analyse reproduits au tableau XVI.

Seules les teneurs en bore supérieures à 25 p.p.m. sont à considérer comme normales.

**TABLEAU XV**

*Composition chimique de feuilles présentant le symptôme de déficience en bore.*

Sol	Situation	N° de l'échantillon	Teneurs pour 100 g de matière sèche				Cations (% m.éq.)	Rapp. cationiq. (% m.éq.)			Mn (p.p.m.)	B (p.p.m.)	Ca/B	
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg				K
Sol brun d'altitude sur basalte	Isambio	7172	3,06	0,204	1,34	0,52	1,50	148	45	29	36	457	6	2233
		7243	2,11	0,198	1,06	0,15	1,35	100	53	12	35	1005	6	1433
Régosol	Lusira	7182	2,94	0,128	0,54	0,11	2,05	88	31	10	59	60	5	1080

**TABLEAU XVI**

*Composition chimique des échantillons moyens de feuilles provenant de plantations atteintes de déficiences en bore.*

Sol	Situation	N° de l'échantillon	Teneurs pour 100 g de matière sèche				Cations (% m.éq.)	Rapp. cationiq. (% m.éq.)			Mn (p.p.m.)	B (p.p.m.)	Ca/B	
			N	P	Ca	Mg		K	Ca	Mg				K
Lithosol	Loango	7267	2,84	0,202	0,98	0,21	2,50	130	38	13	49	318	21	466
Sol colluvial jeune	Kaso	7255	2,92	0,176	1,19	0,59	1,55	158	40	33	27	172	19	627
	Lukera	7263	2,72	0,160	1,00	0,33	1,85	124	40	22	38	153	17	593
Régosol	Lusira	7309	2,63	0,250	0,82	0,24	2,25	118	35	17	48	67	14	585
Sol brun podzolique	Rwambira	7303	2,02	0,124	0,85	0,24	1,85	110	39	18	43	217	19	446
Sol brun d'altitude sur basalte	Isambio	7241	2,85	0,222	1,18	0,37	1,45	126	47	24	29	772	16	740



A la déficience en bore sont souvent associées :

- de faibles teneurs en cations totaux;
- des déficiences en calcium ou, plus rarement, en potassium.

La carence en bore peut exister sur régosols, lithosols, sols jeunes colluviaux, sols bruns podzoliques et sols bruns d'altitude, soit en fait dans une large proportion des sols définis dans la première partie de cette étude. On la rencontre également à l'état sporadique dans d'autres endroits et notamment sur latosols.

Les caractéristiques pédologiques suivantes lui sont associées :

- un pH moyennement à fortement acide;
- de faibles teneurs en bore soluble.

Les couches superficielles recèlent en effet de 0,15 à 0,30 p.p.m. de bore soluble, contre 0,5 et plus là où les carences ne se manifestent pas.

La déficience est donc provoquée par une pénurie effective en bore des sols envisagés.

Le cas des régosols, lithosols et sols jeunes colluviaux est assez particulier : le faible degré d'altération du matériau originel n'a en effet encore permis que la mobilisation de quantités limitées de bore effectivement assimilable et leur composition granulométrique actuelle favorise la lixiviation en profondeur des éléments anioniques. Il est donc normal que, dans ces sols, la déficience puisse parfois atteindre des proportions critiques.

Les considérations de *DRAKE et al.* [1941] et *SHIVE* [1941] relatives au rapport Ca/B peuvent également s'appliquer au caféier d'Arabie; les déficiences en bore s'y traduisent en effet également par une augmentation du rapport Ca/B. Nous doutons cependant qu'un tel rapport ait une signification pratique dans les conditions d'acidité des sols envisagés : l'accumulation du calcium dans les feuilles étant exclue, seule une diminution du niveau de bore est susceptible de faire augmenter le rapport; les besoins en bore ne sont donc pas ici sujets à variation en fonction de l'accumulation de calcium dans les plantes comme le signalent ces auteurs pour les sols alcalins.

L'accroissement des besoins en bore qu'entraînent les augmentations de rendements, provoquées par l'amélioration des façons culturales et des apports massifs d'engrais minéraux, permettent d'expliquer pourquoi l'acuité des symptômes de déficience borique s'est brusquement intensifiée dans certaines plantations au cours de ces dernières années. Des faits similaires ont été rapportés par *BERGER* [1949] pour d'autres plantes.

Des apports de bore sont évidemment indispensables à la correction de la déficience. On peut les effectuer sous forme de pulvérisation ou d'application directe au sol. Étant donné les conditions inductrices de

la déficience, ce dernier moyen semble d'ailleurs préférable, si l'on veut non seulement faire disparaître les symptômes, mais encore rétablir à un niveau normal les teneurs en bore de l'ensemble des caféiers.

Un cas, enfin, a été observé où la déficience était due à une immobilisation du bore dans un sol à pH supérieur à 8. Elle était associée à une très forte déficience en manganèse. Dans de telles conditions édaphiques, l'application de borax au sol, dans le but de pallier la déficience, est évidemment inopérante et seules des pulvérisations sont susceptibles de donner des résultats.

### L. *Le syndrome d'un excès d'acidité du sol.*

Nous groupons sous ce vocable un ensemble de symptômes se manifestant seulement lors d'un excès d'acidité du substrat.

Le caféier étant acidophile, il peut croître et produire normalement à des pH extrêmement faibles, sans présenter de signes apparents de malnutrition. Fréquemment néanmoins, à une forte acidité du sol sont associées des conditions édaphiques défavorables au développement de ce végétal, et les déséquilibres nutritionnels qu'elles entraînent provoquent évidemment l'apparition de faciès anormaux parfois très spectaculaires.

Le plus général parmi eux est un rabougrissement de l'ensemble de la plante. En raison de la faible élongation des entre-nœuds, la croissance en hauteur est très lente; la prolifération des branches secondaires, par contre, formant parfois de véritables balais de sorcières, donne lieu à un enchevêtrement de pousses, peu propice à la fructification. Le bois, grêle, présente souvent des gélivures longitudinales nombreuses et l'on constate également une forte nécrose des sommets végétatifs et des extrémités des branches secondaires.

A ce premier faciès peuvent s'en associer d'autres, ayant trait à la forme des feuilles.

On peut observer des jeunes feuilles entourées, par suite d'une décoloration marginale, d'un fin liseré blanc bien que leur couleur reste normale; les feuilles sont petites, lancéolées, épaissies ou de forme irrégulière.

On rencontre très fréquemment des feuilles naines groupées en rosette à des extrémités de branches et auxquelles une décoloration du parenchyme internervien confère un aspect marbré particulier. Elles sont généralement de forme irrégulière, le plus souvent étroites et allongées.

Parfois, l'ensemble des caféiers peut ne porter que ces seules feuilles naines et marbrées, insérées en rosette en lieu et place des feuilles

## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

normales, ce faciès étant accompagné d'un important « die back ». Les arbres d'ombrage subissant les mêmes conditions édaphiques défavorables disparaissent ou végètent sans assurer leur rôle protecteur; les effets des déséquilibres physiologiques sont encore accentués par l'absence d'ombrage et les caféiers finissent par disparaître sans jamais avoir produit.

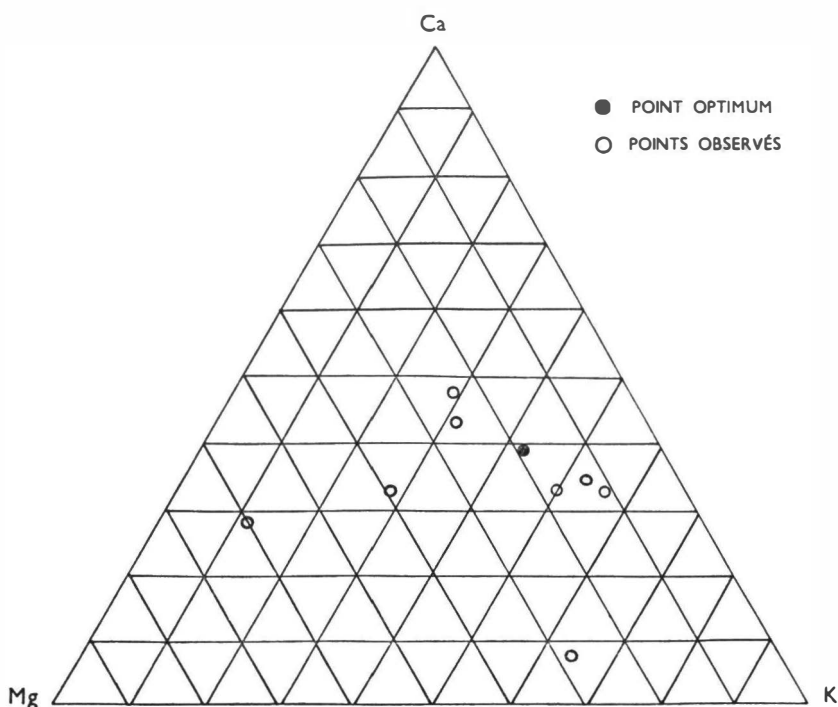


Fig. 4. — Excès d'acidité du sol. Composition cationique des feuilles.

L'analyse des échantillons moyens de feuilles prélevés en divers endroits permet d'assigner à ce syndrome les caractéristiques suivantes :

- teneurs variables en éléments anioniques, azote et phosphore, des déficiences en phosphore notamment pouvant se manifester;
- teneurs faibles à très faibles en éléments cationiques totaux;
- déséquilibres cationiques importants, au détriment du calcium et du potassium, et plus rarement du magnésium : la figure 4 est particulièrement suggestive à cet égard;
- excès de manganèse, pouvant aller jusqu'à 1.000 p.p.m. de manganèse total dans les feuilles.

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Accessoirement, on peut également observer des déficiences en bore.

Les conditions édaphiques liées à ce syndrome sont évidemment la forte acidité du substrat et un déséquilibre dans les proportions cationiques du complexe sorbant.

Il peut donc exister dans un grand nombre de sols pour autant qu'ils soient très fortement désaturés, et notamment sur certains régosols, sols bruns d'altitude, latosols et sols hydromorphes à engorgement quasi permanent.

Généralement, un facteur physique défavorable se superpose encore à ces caractéristiques chimiques adverses : le manque de profondeur de la couche de terre exploitable par le caféier.

Dans certains cas, des nappes de gravats empêchent toute pénétration des racines vers des couches moins désaturées, dans d'autres, la compacité des horizons inférieurs, jointe au faible développement des horizons supérieurs plus meubles joue exactement le même rôle; dans d'autres enfin, la présence d'une nappe phréatique élevée est encore plus néfaste, réduisant de façon absolue, parfois à moins de 30 cm d'épaisseur, la couche superficielle exondée : ceci est surtout vrai pour les sols hydromorphes organiques.

La présence de ces zones d'étranglement physique et leur rôle ont déjà été discutés à propos de la carence en calcium. Dans une plantation on peut rencontrer les deux types de symptômes sur un même sol, selon que l'ombrage soit présent ou fasse défaut. Sous ombrage, le symptôme de la déficience en calcium est seul apparent; avec la disparition progressive de celui-là, on note de plus en plus de feuilles marbrées en rosette et, dans les endroits où des conditions plus défavorables encore l'ont fait régresser complètement, l'aspect typique ci-dessus s'épanouit.

Le même phénomène existe pour les déficiences en potassium développées dans des conditions identiques; néanmoins l'absence de symptôme caractéristique pour la déficience potassique sur caféier d'Arabie n'en permet pas la vérification visuelle. Nous pensons qu'il en va de même pour la déficience en magnésium, bien qu'ici, nos données analytiques soient plus fragmentaires.

En fait donc, un déséquilibre cationique poussé à l'extrême, doublé d'une déficience cationique globale, se traduit dans des conditions écologiques défavorables par le syndrome unique décrit ci-dessus.

Nous ne croyons pas que l'accumulation de manganèse dans les tissus puisse être considérée comme cause première de la malnutrition en elle-même; l'acidité du sol également ne constitue pas à elle seule une condition suffisante de développement du syndrome.

Dans les sols profonds, acides et perméables, peu saturés, mais à équilibre cationique du complexe sorbant normal (soit de l'ordre de 75/18/7 pour Ca/Mg/K), les symptômes décrits ci-dessus n'apparaissent

TABLEAU XVII

*Caractéristiques chimiques des échantillons foliaires moyens de sites où se manifeste le syndrome d'excès d'acidité.*

Sol	Situation	N° de prospection	Teneur pour 100 g de matière sèche					Cations (m.éq. %)	Rapport cationique (% m.éq.)			Mn (p.p.m.)	Fe (p.p.m.)
			N	P	Ca	Mg	K		Ca	Mg	K		
Lithosol . . . . .	Loango	104	2,74	0,196	1,18	0,46	1,65	139	42	27	31	945	120
Sol colluvial jeune sur itabirite . . . . .	Kaso	91	3,15	0,128	0,82	0,62	1,40	128	32	40	28	625	121
Sol brun d'altitude . . . . .	Isambio	8	3,28	0,288	0,13	0,32	2,42	95	7	28	65	480	108
Sol brun d'altitude . . . . .	Isambio	75	2,85	0,222	1,18	0,37	1,45	126	47	24	29	772	108
Latosol . . . . .	Ngweshe	122	2,94	0,150	0,79	0,21	2,90	131	30	13	57	660	60
Latosol à horizon sombre	Niandja	132	2,85	0,180	1,01	0,22	3,05	146	34	12	54	331	240
Sol organique hydromorphe . . . . .	Niangesi	206	2,66	0,134	0,70	0,88	0,50	120	29	60	11	765	140

TABEAU XVIII

Caractéristiques pédologiques de la couche humifère des sites où se manifestent des symptômes d'excès d'acidité.

Sol	Situation	N° de prospection	N° de la plante correspondante	Matière organique		pH	Capacité d'échange de bases (T) (m.éq./100 g)	V(*) (%)	Cations en % de V		
				C (%)	N (%)				Ca	Mg	K
Lithosol . . . . .	Loango	C 40	104	5,1	0,40	4,5	20,4	29,0	39	50	11
Sol brun d'altitude . . . . .	Isambio	C 33	8	6,4	0,55	4,7	31,2	8,6	41	41	18
Sol brun d'altitude . . . . .	Isambio	C 2	75	6,9	0,62	4,7	33,5	12,5	36	21	43
Latosol . . . . .	Ngweshe	C 53	122	3,8	0,41	4,7	20,6	15,0	10	23	67
Latosol à horizon sombre . . . . .	Niandja	C 57	132	5,8	0,68	5,2	22,2	16,0	44	12	44
Sol organique hydromorphe . . . . .	Niangesi	C 108	206	31,6	2,49	4,2	61,5	4,5	80	10	10

V(\*) : % de saturation du complexe.

pas, les teneurs en manganèse restent dans des limites raisonnables et les équilibres cationiques dans les feuilles se maintiennent dans des normes favorables.

Aussi, la conclusion tirée à propos de la déficience en calcium reste-t-elle valable ici et peut-elle s'appliquer à l'ensemble des déficiences cationiques des sols à acidité excessive : la réduction du volume de sol exploitable, jointe à la faible saturation du complexe sorbant, engendre une pénurie générale d'éléments cationiques. Le fait qu'un cation, plutôt qu'un autre, se trouve momentanément favorisé ne permet pas de conclure quant à son excès ni même à son niveau satisfaisant.

L'amélioration des conditions physiques défavorables est aussi importante que celle, par apport d'engrais, des conditions chimiques. Les moyens à mettre en œuvre varieront avec la nature du sol ; nous les discuterons au chapitre des exigences édaphiques.

Tous devront tendre à mettre à la disposition du caféier un volume plus grand de sol exploitable, avant de tenter d'améliorer ses caractéristiques chimiques.

### M. *Autres faciès.*

Des données suffisantes nous manquent pour décrire les symptômes et analyser les causes de déficiences en phosphore, en zinc, en molybdène et en cuivre, dont nous ne pouvons a priori exclure l'existence au Kivu. Peut-être leurs faciès se confondent-ils avec ceux d'autres états nutritifs aberrants auxquels ces déficiences seraient liées (cas du zinc par exemple) ; peut-être aussi ne possèdent-elles pas de faciès typiques.

Il convient également de souligner que les symptômes reconnus et décrits comme caractéristiques d'une déficience donnée ne sont pas nécessairement complets et exclusifs et que, dans l'avenir, certains faciès non observés, ou pour lesquels il ne nous a pas été possible de définir l'appartenance, pourraient très bien être attribués à l'une des déficiences déjà décrites dont ils ne constitueraient qu'une autre forme d'extériorisation.

Enfin, certains symptômes, de nature non parasitaire, peuvent n'être liés à aucun facteur édaphique ; en général cependant, bien qu'ils ne soient pas déterminants, des facteurs édaphiques peu favorables accentuent les maladies physiologiques engendrées par certaines conditions écoclimatiques.

Trois faciès supplémentaires, pour lesquels le facteur édaphique n'est pas apparu déterminant, méritent d'être mentionnés : la décolo-

ration marginale des jeunes feuilles, le retournement des feuilles de branches hautes et la brûlure.

### **1. La décoloration marginale des jeunes feuilles.**

Nous avons déjà eu l'occasion de parler antérieurement du blanchiment du bord du limbe qui garnit les feuilles d'un fin liseré blanc jaunâtre. On le rencontre parfois associé à de la décoloration internervienne et au syndrome d'un excès d'acidité du substrat; plus souvent, il apparaît seul, sur feuilles normales de premier à quatrième rang, particulièrement sur arbres jeunes et vigoureux conduits en « clean weeding » et en absence d'ombrage.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de caractéristiques chimiques différentielles constantes pour pareil faciès, sinon pour les feuilles atteintes par rapport à des feuilles saines homologues, des teneurs plus élevées en azote, plus faibles en calcium et plus élevées en potassium. Dans le rapport cationique, les feuilles affectées possèdent des excès de potassium en regard du calcium et du magnésium.

Ces données sont valables, quel que soit le rang de la feuille, et elles sont indépendantes des teneurs enregistrées pour les échantillons moyens des sites considérés. Les caractéristiques chimiques des sols où ce symptôme se manifeste ne semblent pas présenter de points communs : il s'extériorise dans les sols les plus riches (sols bruns sur cendrées volcaniques anciennes) comme dans les plus pauvres (latosols rouges à acidité excessive), en sol déficients ou non en potassium.

### **2. Le retournement des feuilles des branches hautes.**

Ce faciès très caractéristique a été rencontré dans un nombre restreint de plantations où il affecte en général des arbres vigoureux, à port et de couleur normaux.

L'ensemble des feuilles des branches hautes non fructifères de la couronne esquisse un mouvement de rotation autour de leur axe longitudinal et s'incline vers le sol; parfois, les feuilles peuvent se croiser sous les rameaux et vers l'arrière de leur point d'insertion. Les pétioles tordus sont striés de fines bandes de subérisation à l'endroit de la courbure; ces dernières constituent des points de moindre résistance.

Les données analytiques se rapportant à ce symptôme ne nous permettent pas de lui attribuer de cause précise; d'une façon générale, les feuilles atteintes ont des teneurs plus faibles en phosphore et en calcium, et surtout en cations totaux.



Les pH des sols correspondants sont moyennement acides, les teneurs en cations échangeables du complexe sorbant sont normales, mais certains de ces sols sont très déficients en phosphore assimilable selon TRUOG.

### 3. La brûlure.

Nous ne ferons ici qu'effleurer ce sujet qui a déjà fait l'objet d'une étude détaillée pour les régions de l'Est du Congo belge [JURION, 1936].

Rappelons que cette maladie physiologique, caractéristique des hautes altitudes et des vallées d'altitude moyenne, consiste dans une nécrose des sommets végétatifs non lignifiés. Les extrémités des pousses à entre-nœuds très courts sont pratiquement dénudées; l'arbre, dans sa partie supérieure, ne possède le plus souvent que des petites feuilles irrégulières, contournées et nécrosées, sensiblement épaissies par rapport aux feuilles normales. La mort des bourgeons terminaux entraîne une prolifération des pousses secondaires et, par suite du raccourcissement progressif des entre-nœuds, l'arbre finit par acquérir un port pyramidal caractéristique.

Le mécanisme de la maladie a été étudié expérimentalement par JURION (*op. cit.*) qui l'attribue à la variation brusque de température au lever du soleil et souligne le rôle de l'ombrage dans l'atténuation de cette dernière. Il signale que la susceptibilité varie avec l'exposition, la situation, la variété de caféier, mais que, par contre, l'influence du sol et des conditions culturales sur la brûlure elle-même serait réduite.

Nous avons pu vérifier personnellement le bien fondé de ces assertions. Il convient néanmoins d'ajouter, à la lumière de nos données, que :

- très souvent, la brûlure est associée à d'autres faciès, notamment au syndrome d'un excès d'acidité du sol, reflété dans les feuilles par des déséquilibres et des déficiences cationiques;

- la brûlure, en absence de ce syndrome, est également très souvent associée à des déficiences en potassium dans les feuilles et dans le sol;

- en général, c'est précisément dans les sols mal protégés contre le décapage et la désaturation que l'ombrage est le plus maigre, sinon absent, et que la brûlure y est la plus accentuée.

Si donc, les causes premières de la brûlure sont extra-édaphiques, la question de leur suppression pourrait très bien se ramener à un problème agrologique d'établissement d'un ombrage adéquat.

## § 2. Composition chimique des feuilles du caféier d'Arabie.

Avant d'examiner les exigences édaphiques du caféier d'Arabie de façon plus détaillée, il a paru opportun de donner quelques précisions touchant la composition chimique des feuilles.

La vaste prospection que nous avons effectuée nous a permis, en un laps de temps relativement court (fin de saison des pluies – début de saison sèche, soit pendant les mois de mai et juin), d'échantillonner 98 sites dans 49 plantations. Sur cette base il est possible d'évaluer l'état nutritif général du caféier d'Arabie au Kivu et de tirer quelques conclusions relatives à son diagnostic chimique. Les informations acquises pourraient servir également à définir certains problèmes de fertilité dans les sols envisagés, et notamment à orienter les recherches subséquentes.

Les chiffres obtenus n'ont une valeur absolument rigoureuse que pour la période de l'année durant laquelle les prélèvements furent effectués. Une recherche plus poussée des fluctuations des teneurs en fonction des saisons serait nécessaire pour extrapoler ces résultats à d'autres périodes annuelles.

D'autre part, les données recueillies ne s'appliquent qu'à des caféiers en production, conduits en tige multiple comme ils le sont actuellement dans la majorité des plantations de la région envisagée. On ne peut pas les utiliser pour de jeunes caféiers encore improductifs, à chimisme foliaire différent, dont les teneurs en azote, phosphore et potasse sont généralement plus élevées et les teneurs en calcium plus faibles.

Ils ont enfin la signification que nous leur attribuons dans les seuls cas où l'échantillonnage est effectué suivant les directives précisées à la page 45.

Les données de composition chimique foliaire ont été condensées en diagramme de distribution de fréquence (fig. 5 et 6). Sur ces graphiques sont indiqués également les niveaux, dits « critiques », qui correspondent, pour l'élément envisagé, à des seuils sous lesquels les symptômes de déficience décrits au chapitre précédent se manifestent presque toujours.

Ces niveaux ne doivent cependant pas être considérés sans discernement, car, nous l'avons souligné déjà, des déséquilibres nutritifs peuvent s'observer sans que pour autant les niveaux « critiques »

soient atteints ou dépassés; à cette restriction près, ces derniers sont susceptibles de fournir d'utiles indications.

### A. Teneurs en éléments majeurs.

#### *Azote.*

Le taux d'azote des feuilles de quatrième rang échantillonnées varie de 2 à 3,6 %, avec une teneur moyenne voisine de 2,9 %. Des teneurs de 4,8 % que nous avons trouvées doivent être considérées comme exceptionnelles.

Il semble que les teneurs normales doivent être de l'ordre de 3 % au moins et que celles inférieures à 2,6 % sont à considérer comme déficitaires.

L'attention est attirée par la faible dispersion des teneurs en azote en regard de celle des autres éléments nutritifs. Peut-être est-ce dû au simple fait qu'une légère déficience en azote se marquerait principalement par une diminution de croissance et de rendement, sans affecter particulièrement les teneurs des feuilles de quatrième rang. Il n'est d'ailleurs pas exclu que des feuilles d'un autre rang reflètent mieux des déficiences légères en cet élément.

Ces teneurs sont sensiblement identiques à celles que nous avons trouvées dans des échantillons provenant d'autres régions : Haut-Ituri et Ruanda-Urundi<sup>1</sup>.

A Nioka (Haut-Ituri), des essais d'engrais, effectués sur caféiers adultes, ont d'ailleurs montré que l'apport d'azote (nitrate d'ammonium à la dose de 100 kg/ha) faisait augmenter significativement les teneurs en azote des feuilles (de 2,77 à 2,88 %).

A Rubona (Ruanda-Urundi) des teneurs normales pour caféiers adultes de 2,5 à 3 % sont passées à 3,24 % dans les mêmes conditions.

Ces teneurs correspondent d'ailleurs à celles signalées sur caféier d'Arabie au Brésil par MEDCALF *et al.* [1956].

#### *Phosphore.*

Les teneurs en phosphore de la matière sèche des feuilles fluctuent entre 0,100 et 0,350 %. Il semble que les teneurs normales devraient être supérieures à 0,200 %, ce chiffre constituant d'ailleurs la moyenne. Des teneurs inférieures à 0,160 % nous paraissent déficitaires.

Des applications d'engrais réalisées au Ruanda sur des plantations à teneur moyenne en phosphore de 0,170 % n'ont pas fait augmenter celle-ci tandis que des applications d'azote ont eu un effet dépressif.

1. Données non publiées extraites du « Rapport annuel pour l'exercice 1956 » de la Division d'Agrologie de l'INÉAC à Yangambi.

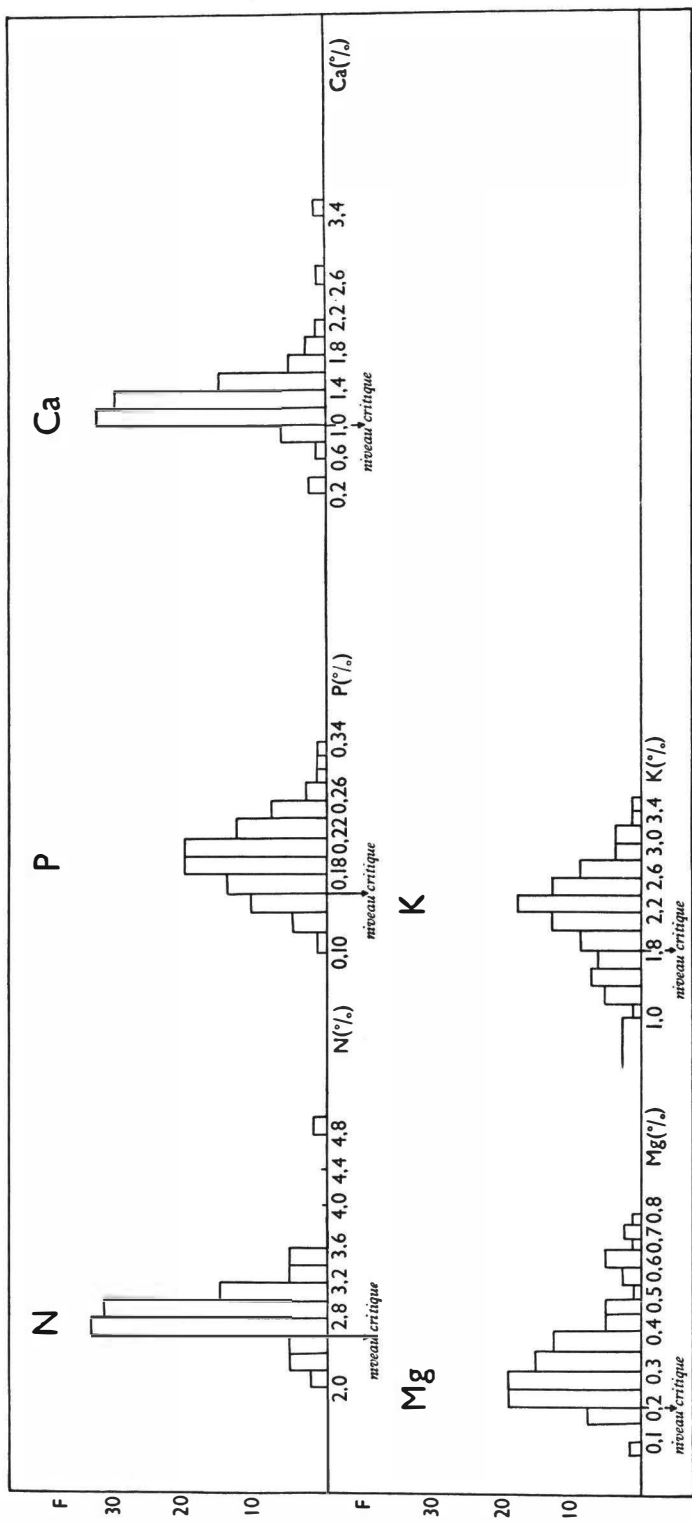


Fig. 5. — Distribution de fréquence des paramètres traduisant la composition chimique des feuilles.

*Calcium.*

Les teneurs en calcium, dans la majorité des plantations, accusent 0,8 à 1,4 % de la matière sèche, avec une moyenne se situant aux environs de 1,10 %. On peut néanmoins enregistrer pour cet élément des chiffres anormalement élevés ou faibles.

Des teneurs inférieures à 0,8 % se rencontrent dans certains sols à pH et à complexe sorbant déséquilibrés. Par contre, des teneurs supérieures à 1,4 % et pouvant parfois atteindre 3,6 % ne s'observent qu'en sols à pH alcalin, chimiquement riches mais, semble-t-il, peu propices au développement normal des caféiers.

*Magnésium.*

Les teneurs en magnésium sont éminemment variables, elles vont de moins de 0,10 à 0,80 % et plus, avec des teneurs moyennes de 0,30-0,35 %.

On doit en fait considérer des teneurs inférieures à 0,20 % comme déficitaires mais comme pour les autres cations, les valeurs du magnésium dans le rapport cationique constituent souvent un meilleur guide d'appréciation de déficience ou de toxicité que les niveaux critiques donnés.

Pour la plupart, les chiffres supérieurs à 0,45 % correspondent à des teneurs déficitaires en potassium et, parfois, en calcium. Ces cas sont nombreux en sols acides dérivés de basaltes et en marais.

*Potassium.*

Nous avons enregistré des teneurs en potassium variant de moins de 1 à plus de 3,4 %, les teneurs moyennes se situant aux environs de 2,35 %.

La courbe de fréquence pour le potassium est très asymétrique, un plus grand nombre d'échantillons ayant des teneurs faibles. On doit considérer les teneurs inférieures à 1,80 % comme insuffisantes.

Il existe une corrélation assez étroite entre les teneurs déficitaires des feuilles en potassium et les insuffisances en potassium échangeable du sol; les paramètres des droites de régression varient avec la nature du sol.

**B.‡ Teneurs en éléments mineurs.**

*Fer.*

Les teneurs en fer des feuilles sont de l'ordre de 100 à 125 p.p.m. Nous avons enregistré des teneurs allant de 45 à 300 p.p.m.

Des teneurs inférieures à 70 p.p.m. ne se rencontrent généralement que dans des sols à pH alcalin, en association avec des teneurs défici-

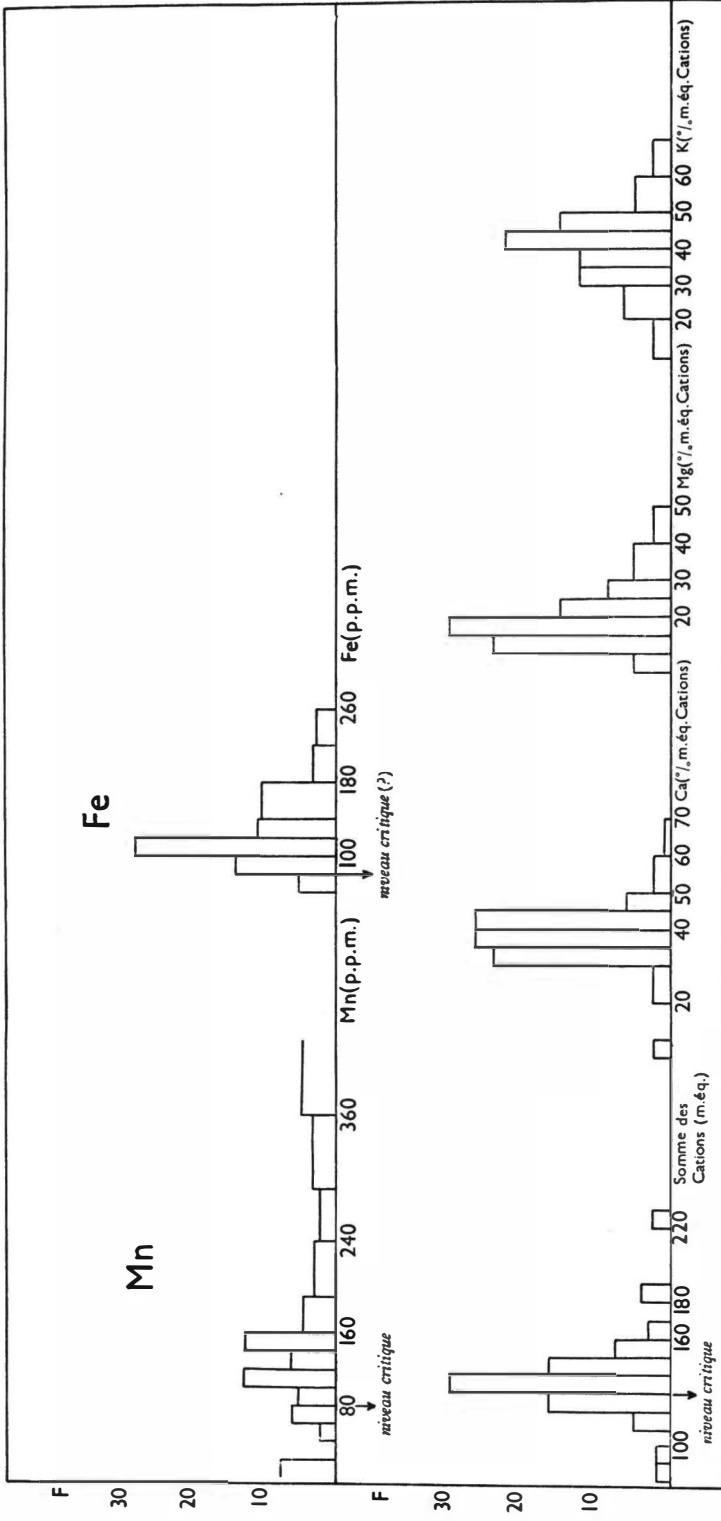


Fig. 6. — Distribution de fréquence des paramètres traduisant la composition chimique des feuilles.

taires en manganèse. Par contre, pour les symptômes de déficiences rencontrés, les teneurs en fer des feuilles de quatrième rang, sans être élevées, restaient néanmoins dans des limites acceptables : ce phénomène a déjà été discuté au chapitre de la chlorose calcaire.

#### *Manganèse.*

De tous les éléments dont nous ayons effectué la détermination dans les feuilles, c'est le manganèse qui présente les fluctuations les plus importantes. On rencontre des teneurs en manganèse variant de moins de 1 à plus de 1.000 p.p.m. En général, les teneurs normales fluctuent entre 80 et 200 p.p.m.

A des teneurs inférieures à 80 p.p.m. correspondent des débuts de déficience en manganèse, qui s'accroissent dès que l'on tombe sous 60 p.p.m.

Inversement, à des teneurs supérieures à 350 p.p.m. correspondent, en général, des symptômes caractéristiques d'un déficit cationique des caféiers et d'excès d'acidité du sol.

Il existe une corrélation étroite entre les teneurs en manganèse des feuilles et le pH du sol (figure 7). On ne rencontre pas de teneurs supérieures à 100 p.p.m. de manganèse pour des pH supérieurs à 6,4, ni à 200 p.p.m. pour des pH supérieurs à 5,2. Par contre, dans des sols à pH inférieur à 5, les teneurs en manganèse dans les feuilles sont toujours supérieures à 100 p.p.m.

#### *Zinc.*

Les teneurs en zinc enregistrées fluctuent entre 15 et 50 p.p.m., les plus fréquentes étant de l'ordre de 30 à 35 p.p.m.

Notre expérience ne nous permet pas d'avancer ici de données relatives à une déficience en zinc, mais il semble que des chiffres de l'ordre de 15 à 20 p.p.m. soient assez faibles.

L'analyse n'a pas permis de mettre en évidence de déficiences en zinc pour certains symptômes présumés tels.

#### *Bore.*

Normalement les teneurs en bore sont de l'ordre de 30 à 35 p.p.m., mais couramment, elles sont supérieures à 50 p.p.m. Pour des teneurs inférieures à 20 p.p.m. dans les feuilles de quatrième rang, on constate des symptômes de déficience en bore sur les feuilles âgées où l'on enregistre alors des carences aiguës en cet élément ( $\leq 5$  p.p.m.).

#### *Cuivre.*

Il ne nous a pas semblé opportun d'entreprendre des déterminations de cuivre dans les échantillons prélevés au Kivu, car la pratique géné-

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

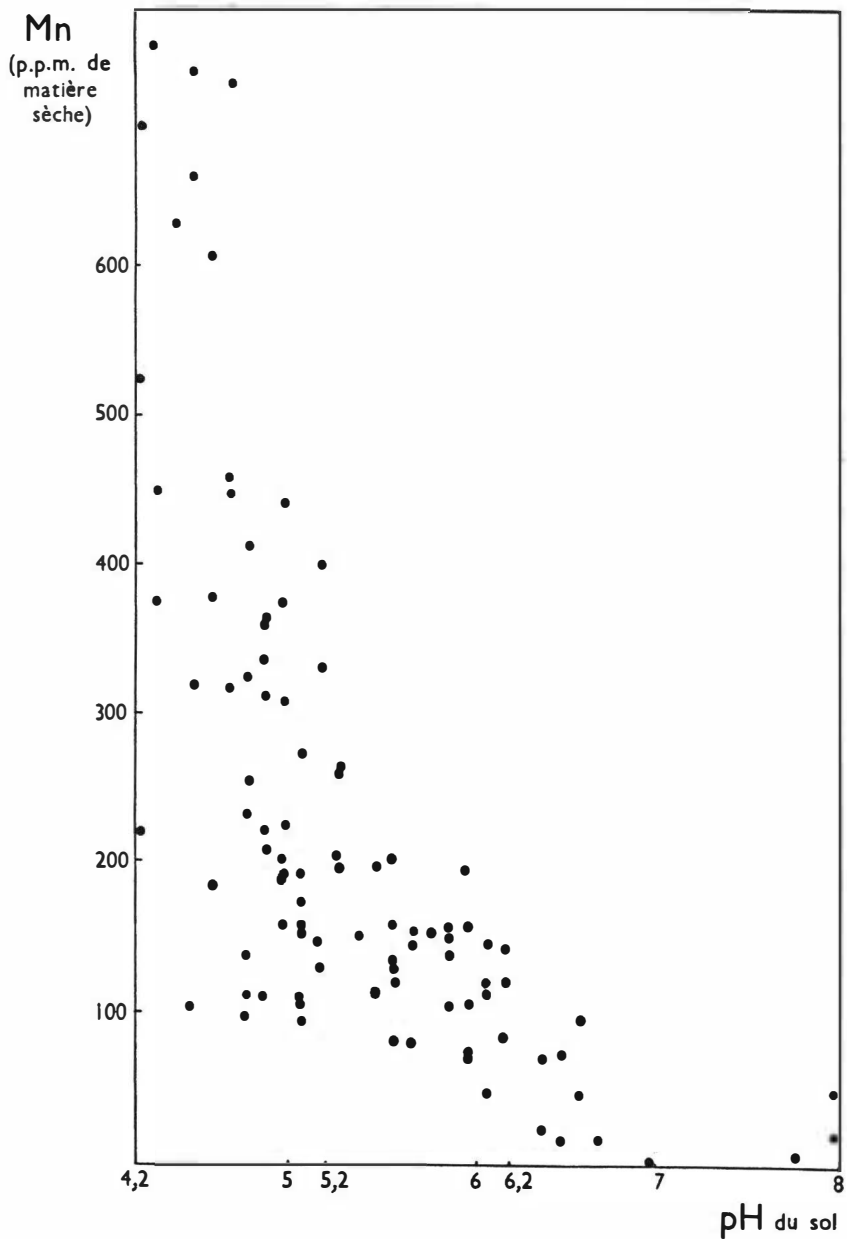


Fig. 7. — Variation de la teneur en manganèse de feuilles en fonction du pH du sol.



ralisée de traitements fongicides aux produits cupriques leur enlève toute signification.

Par contre, nous possédons d'utiles renseignements sur les teneurs en cuivre pour le Ruanda-Urundi. Sur des échantillons foliaires provenant de cette région, nous avons pu situer entre 8 et 12 p.p.m. les teneurs normales en cuivre des caféiers adultes, et nous avons également pu enregistrer des teneurs déficitaires de l'ordre de 2 à 3 p.p.m.

#### *Molybdène.*

Les teneurs en molybdène des feuilles peuvent aller de moins de 0,1 à 2 p.p.m. En général, on ne rencontre des teneurs supérieures à 1 p.p.m. que dans les sols à pH alcalin. Par contre, dans les sols à pH acide les teneurs fluctuent entre 0,1 et 0,5 p.p.m.

Ici également, nos données sont trop fragmentaires pour conclure à des déficiences possibles, et à plus forte raison pour en évaluer l'incidence sur les rendements.

### *C. Interactions et rapports entre éléments nutritifs.*

La seule considération des teneurs centésimales en éléments chimiques permet déjà de tirer des conclusions intéressantes relatives à la nutrition foliaire. Une étude basée sur ces seules données serait néanmoins fort incomplète, car elle négligerait une source d'information tout aussi fructueuse, celle des rapports et équilibres entre éléments nutritifs, comme l'ont illustré les travaux de M. HOMÈS et son école<sup>1</sup>.

De multiples rapports pourraient être retenus et étudiés; nous ne pensons cependant pas que leur nombre doive être démesurément grossi, car généralement quelques-uns, judicieusement choisis, suffisent à apporter, aux teneurs centésimales, les précisions complémentaires pour leur interprétation.

L'étude de ces rapports et surtout la recherche des normes entre lesquelles ils sont susceptibles de fluctuer et à partir desquelles on souhaite poser un diagnostic, nécessitent évidemment la spécification des conventions adoptées pour l'expression même des résultats.

Il est logique de considérer les cations calcium, magnésium et potassium sous leur forme équivalente, puisque c'est en tant qu'ions qu'ils sont absorbés et qu'ils migrent dans le végétal.

---

1. Cfr HOMÈS, M.V., *La nutrition des plantes et le problème des engrais chimiques*, THONE (Liège) et MASSON (Paris), 1953.

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Ce mode d'expression a de plus l'avantage de les comparer sur la base de l'unité fonctionnelle qui les lie et à partir de laquelle leur substitution a lieu.

Par contre, l'azote et le phosphore ont été conservés sous leur expression élémentaire : ils sont susceptibles de revêtir diverses formes chimiques que, quantitativement, on ne distingue généralement pas.

D'un point de vue pratique d'ailleurs, quel que soit le mode d'expression adopté, on doit toujours arriver aux mêmes conclusions dès que les normes de fluctuations des différents rapports retenus sont connues avec suffisamment de précision.

### *Le rapport N/P.*

Le rapport N/P, utilisé en maintes circonstances pour la caractérisation de l'état nutritionnel des feuilles de certaines plantes (notamment du palmier à huile), ne paraît pas tellement intéressant pour le caféier d'Arabie. Il fluctue en effet dans de très larges limites (de 6 à 24), les valeurs les plus fréquentes étant de 12 à 16.

A des valeurs supérieures à 18 correspondent des déficiences en phosphore; par contre, à des valeurs inférieures à 11 ne correspondent pas toujours des déficiences en azote, des teneurs élevées en phosphore pouvant induire à elles seules de faibles rapports.

En présence de déficiences en azote et en phosphore, on enregistre des rapports normaux qui ne se prêtent pas à discussion et il semble bien qu'en pareil cas, l'examen des teneurs centésimales soit plus fructueux.

### *La somme des cations.*

La somme des cations, exprimés en milliéquivalents, constitue à notre sens une donnée essentielle à l'interprétation du diagnostic chimique. Tout en mesurant le degré de minéralisation des tissus végétaux, elle sert également de base aux calculs des équilibres ioniques; elle fluctue généralement dans des limites assez étroites pour des arbres sains et producteurs.

Chez le caféier d'Arabie, elle est en moyenne de 135 à 140 m.éq./100g de matière sèche, ses limites normales allant de 130 à 170 m.éq.

Des teneurs inférieures à 130 m.éq. indiquent, en général, des sols peu saturés et sont souvent associées à des déséquilibres cationiques provoqués par des déficiences en l'un ou l'autre élément.

On rencontre des teneurs supérieures à 170 m.éq. et en pareil cas également, on se trouve souvent en présence de déséquilibres cationiques engendrés principalement dans la plante par des excès de calcium associés à un pH élevé du sol.

Parmi des groupes d'arbres d'un site déterminé, et à la suite de diverses circonstances, dont la présence de symptômes de déficience

d'intensité variable, on enregistre souvent une corrélation positive entre les teneurs en azote et les teneurs en cations totaux.

Par contre, à l'échelle de toute la région caféière du Kivu, les variations de ces deux données semblent totalement indépendantes. L'examen de leur rapport ne paraît pas apporter d'information complémentaire utile et nous le négligerons donc ici.

*Le rapport cationique.*

Le rapport cationique est basé sur l'expression milliéquivalente centésimale des cations calcium, magnésium et potassium et trouve sa représentation graphique dans un diagramme triangulaire. L'utilité d'une telle expression est incontestable et les nombreux exemples de discussions donnés au paragraphe précédent en font d'ailleurs foi.

L'examen des équilibres cationiques des différents échantillons moyens prélevés et analysés à l'occasion de notre étude nous a permis de mettre en évidence les principaux faits suivants :

- L'intervalle de variation des teneurs centésimales milliéquivalentaires que peuvent revêtir dans l'équilibre les différents cations est très large :

- pour le calcium, de moins de 10 à 70 %
- pour le magnésium, de moins de 10 à 50 %
- pour le potassium, de moins de 10 à 70 %.

Les valeurs les plus générales se situent cependant dans des limites plus restreintes :

- de 30 à 50 % pour le calcium
- de 15 à 30 % pour le magnésium
- de 30 à 50 % pour le potassium.

- Nous avons déjà eu l'occasion d'envisager les variations de teneurs cationiques en fonction de déficiences en l'un des éléments. Rappelons ici que, pour le calcium, le magnésium et le potassium, il y a déficience si le pourcentage dans la somme des cations tombe respectivement au-dessous des valeurs de 32, 12 et 32.

- A des pourcentages trop faibles en un élément correspondent évidemment des pourcentages excessifs en un autre, et inversement; la détermination de la cause du déséquilibre n'est possible qu'en présence de données pédologiques (notamment pH, capacité d'échange et cations échangeables) d'une part, et des teneurs globales en éléments cationiques des feuilles d'autre part.

- D'une façon générale, à pH alcalin, des excès de calcium induisent des déséquilibres au détriment du potassium et du magnésium, malgré des teneurs normales en ces éléments dans les feuilles.

## DÉFICIENCES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

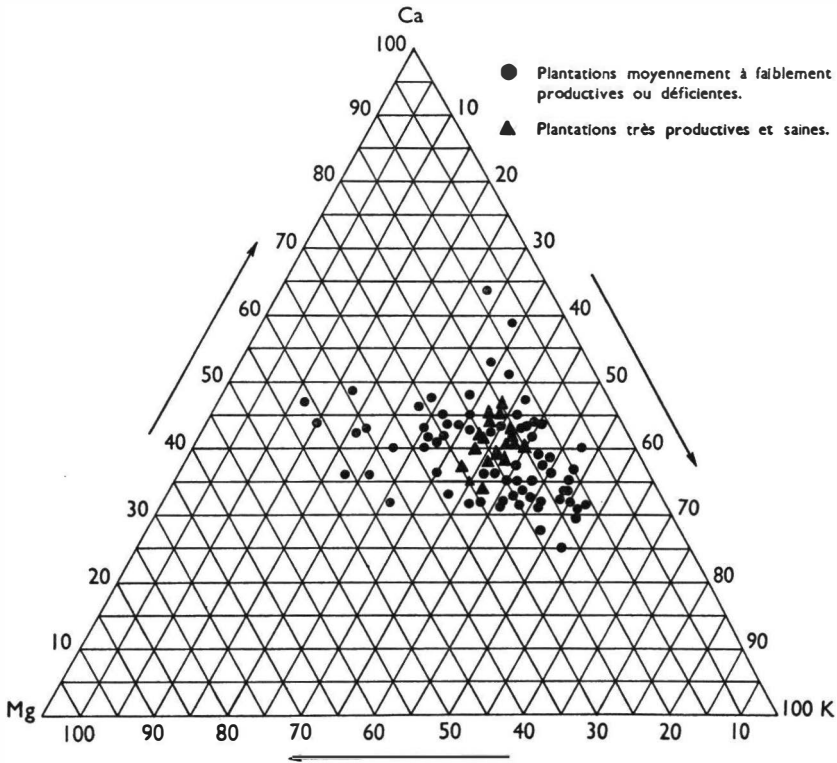


Fig. 8. — Rapport cationique de feuilles.

— Inversement, à pH acide, des déficiences en potassium induisent des déséquilibres au profit du magnésium; des déficiences en calcium induisent des déséquilibres au profit du potassium. Dans ces substitutions antagonistes, la nature du sol semble jouer un rôle secondaire.

— Pour les plantations normalement entretenues, à production importante, où des symptômes de déficience sont absents, on constate que le rapport cationique des feuilles de quatrième rang tend vers un optimum quelle que soit la nature du sol. Il se situe dans un triangle Ca/Mg/K au point de coordonnées 40/18/42, à deux unités près, la somme des cations pouvant elle-même varier de 130 à 160 m.éq.

Dans ces conditions, on doit admettre que le rapport cationique optimum du caféier est indifférent à la nature et aux propriétés du sol, pour autant que l'arbre s'y développe et y produise normalement. La figure 8, où sont indiqués les rapports cationiques des feuilles prélevées dans des plantations en bon ou en mauvais état, est particulièrement suggestif à cet égard.

DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

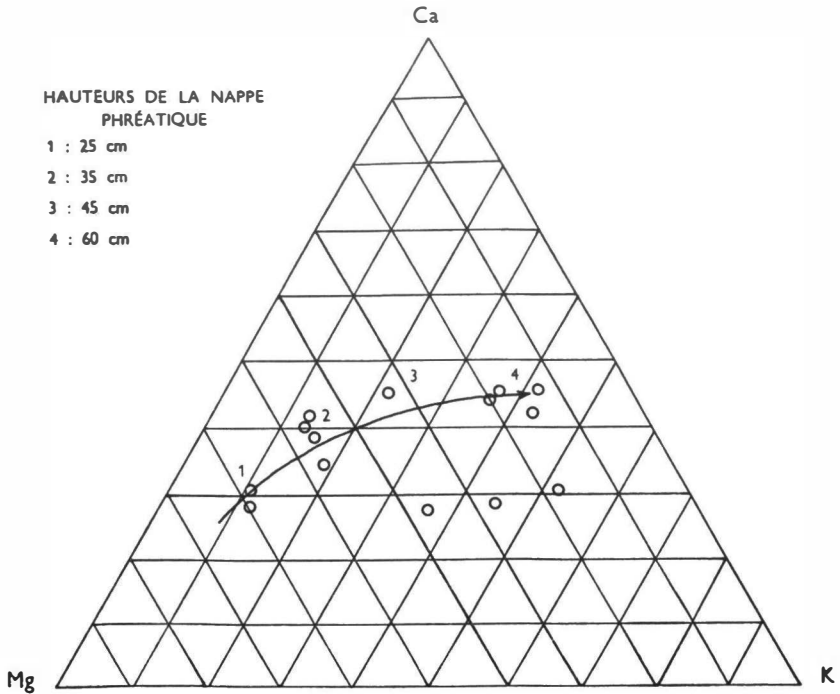


Fig. 9. — Sols de marais :  
amélioration du rapport cationique avec l'abaissement de la nappe phréatique.

Selon la nature du sol, les moyens à mettre en œuvre pour rétablir une alimentation cationique déficitaire donnée varieront mais, du point de vue rapport cationique, le résultat net sera toujours une tendance au rapprochement vers le point optimum. On constate d'ailleurs que, dans les mauvaises plantations, le rapport cationique des feuilles prélevées aux meilleurs endroits tend sensiblement à s'établir au voisinage de ce point optimum et que, d'autre part, l'amélioration de certaines conditions physiques du sol, comme l'aération et le drainage, tend à établir vers son optimum l'équilibre cationique foliaire tout en favorisant le développement des caféiers (figure 9).

Les considérations que nous venons d'émettre sont valables pour l'ensemble des sites échantillonnés.

S'il est possible, dans de nombreux cas particuliers, de trouver des limites plus précises, des rapports supplémentaires, permettant de poser un diagnostic plus fin et plus sûr, leur utilité générale contestable n'en permet pas la mention en cet endroit.

## TROISIÈME PARTIE

### LES EXIGENCES ÉDAPHIQUES DU CAFÉIER D'ARABIE

Une plante donnée ne peut parfaire harmonieusement son développement que dans des conditions écologiques bien déterminées. Sa croissance, sa production surtout sont fonction d'un ensemble de facteurs d'ordre climatique, édaphique, physiographique et biotique, indépendants ou synergétiques voire antagonistes, composants de son habitat.

Pour certaines de leurs combinaisons, on constate que les critères intégrateurs de l'influence du milieu, croissance et production, revêtent un caractère d'intensité élevé et l'on peut considérer, en pareille conjoncture, comme normal le comportement du végétal.

Selon les espèces, les exigences relatives à l'environnement sont plus ou moins strictes; celles du caféier d'Arabie se montrent à cet égard particulièrement sévères et ses facultés d'adaptation à des situations mésologiques moins favorables paraissent restreintes.

Ces dernières entraînent dans les tissus des déséquilibres d'ordre physiologique et nutritionnel que la plante extériorise par des symptômes, multiples et variés, et dont un aperçu a été donné au paragraphe 1 de la deuxième partie.

Il est heureusement possible d'agir sur certains facteurs du milieu, soit pour les modifier, soit pour en atténuer la rigueur. Encore de telles pratiques postulent-elles leur connaissance préalable et la mesure de leur intensité optimum sur la base des caractères distinctifs que nous venons de spécifier.

Nous n'avons pas l'intention, cela sortirait d'ailleurs de notre compétence, d'analyser l'ensemble des facteurs composant l'environnement du caféier d'Arabie. Nous croyons néanmoins pouvoir dégager ici, à la suite de nos observations et à la lumière des faits exposés aux paragraphes précédents, quelques conclusions relatives aux exigences

édaphiques de cette plante. Cette synthèse pourrait utilement servir de guide pour la détermination des causes édaphiques responsables au premier chef de rendements insuffisants et à la spécification du sens dans lequel leur amélioration doit être entreprise.

Il est malheureusement difficile de distinguer à coup sûr la part que prennent les propriétés inhérentes au sol dans la productivité des plantations. Bien que leur effet soit direct, le comportement des caféiers résulte en fait du jeu global de l'ensemble des agents du milieu, dont certains peuvent parfois imprimer à ce dernier son caractère le plus marquant. La primauté qu'acquièrent en maintes circonstances des facteurs tels que l'exposition aux vents dominants, l'entretien par paillage de la couche humifère, la nature de la couverture du sol, la nature et la densité de l'ombrage, le mode de taille, l'état sanitaire, peut ainsi rejeter au second plan certains facteurs édaphiques d'ordinaire prépondérants.

Parmi ces derniers, il convient de distinguer par ordre d'importance :

- la profondeur du sol meuble;
- les propriétés de la couche humifère;
- l'économie en eau;
- la composition du matériau originel;
- le développement du profil pédologique;
- la nature et les caractères de saturation du complexe sorbant.

Chacun de ces points sera analysé en détail dans cette partie du travail que nous clôturerons par une rapide esquisse des circonstances extra-édaphiques susceptibles d'interaction immédiate avec eux.

### § 1. La profondeur du sol meuble.

Les exigences du caféier quant à la profondeur du sol meuble sont particulièrement strictes dans le cas des sols dérivés de roches riches en quartz. Nous avons distingué trois cas où elle restreint le développement normal de l'arbre :

1. En sols minces où la profondeur est limitée par des nappes trop épaisses (plus de 25 cm) de gravats, dont les éléments s'imbriquent les uns dans les autres. Nous considérons une épaisseur minima de 60 cm de sol meuble comme indispensable.

2. En sols minces, dont l'épaisseur est limitée par la roche. Il n'est pas possible ici de définir de profondeur standard minima pour le sol meuble, car celle-ci dépend de la nature de la roche même. Il convient notamment de faire la distinction entre les roches massives, générale-

ment ignées, et les roches stratifiées, les schistes par exemple. Pour ces derniers, la pénétration des racines est possible entre les plans de clivage; l'inclinaison de la roche a également son importance, une schistosité horizontale paraissant moins favorable.

La profondeur optima est également déterminée par la nature du matériau meuble; nous avons souligné déjà combien en sol pauvre et de composition granulométrique défavorable, le volume total de sol exploitable avait d'importance. Inversement, nous avons observé des caféiers de bon aspect dans des sols riches de moins de 40 cm de profondeur.

3. En sols profonds, de texture légère, trop filtrants pour réaliser de bonnes conditions d'économie en eau. Pour une terre contenant moins de 30 % d'argile, une profondeur de plus de deux mètres devient défavorable, et d'autant plus que les fractions sableuses sont plus grossières et que l'argile est de nature kaolinitique.

### § 2. Les propriétés de la couche humifère.

Quelles que soient les qualités physiques et chimiques d'un sol, sa productivité diminue lorsque la couche humifère se décape ou quand la matière organique s'oxyde par une exposition directe et prolongée au soleil.

Le rôle favorable joué par l'humus découle de ses multiples propriétés et son effet bénéfique principal est fondé tantôt sur l'une, tantôt sur l'autre, selon la nature du sol.

1. Dans tous les sols lourds et dans les sols bruns à texture moyenne de haute ou de basse altitude, la couche humifère agit principalement par la création d'une structure grumeleuse bien aérée.

L'épaisseur de la couche humifère et la proximité de l'horizon B agissent également sur la croissance des arbres d'ombrage qui sont d'autant plus nécessaires que le matériau originel du sol est plus pauvre et plus lessivé. Les plantations sur sols bruns d'altitude dérivés de basalte offrent un bel exemple de l'influence directe de la couche humifère sur les arbres d'ombrage qui, à leur tour, déterminent fortement le comportement des caféiers.

2. Dans les latosols, la couche humifère agit plus spécialement par ses propriétés physico-chimiques en augmentant la capacité de sorption pour les bases. Son rôle bénéfique sur l'état structural du sol est par contre partiellement suppléé par les oxydes de fer libres.



Les teneurs minima en matière organique des latosols sans horizon sombre devraient être d'au moins 150 t de carbone par hectare et par mètre de profondeur. En zone d'altitude, les latosols à horizon sombre contenant moins de 300 t/ha/m de carbone portent en général des caféiers moins vigoureux.

Dans les terres longuement cultivées par les indigènes et où s'est formé un horizon B structural compact, l'influence de la matière organique sur l'état physique des horizons superficiels reste considérable, particulièrement dans les sols lourds. Pour ces derniers, l'épaisseur même de la couche humifère joue un rôle important : elle devrait être de 20 cm au moins.

Signalons enfin que les normes données ici ne sont pas valables pour la zone forestière du Kivu, à matière organique de nature différente.

3. Dans les sols colluviaux jeunes, la richesse du matériau originel et la nature illitique des fractions fines réduisent plus ou moins l'importance de la couche humifère, sans pour autant lui assigner un rôle secondaire. Par leur situation topographique sur des pentes très accusées, ces terres sont très sujettes à l'érosion, que les propriétés stabilisatrices de structure de l'humus permettent de freiner. La mise en œuvre de mesures antiérosives y reste en tous cas indispensable. Quoique des « normes d'épaisseur » soient difficiles à définir ici, on peut considérer 15 cm comme minimum, particulièrement dans le cas où le profil ne contient pas d'anciens horizons humifères ensevelis.

4. Les régosols sur roches acides, en raison de leur nature, sont très exigeants quant à leur teneur en matière organique. Le relèvement de leur taux en humus constitue le seul moyen d'y augmenter la capacité d'échange de bases et d'y améliorer l'économie en eau.

Les régosols sur cendrées volcaniques font plus ou moins exception à la règle générale : ils sont rarement déficients en humus et nous avons d'autre part expliqué pourquoi le paillage avait comme effet d'y accentuer les déficiences en manganèse.

5. Dans tous les sols enfin, la couche humifère joue un rôle nutritionnel de premier plan, car elle est, en l'absence de fumure, la seule pourvoyeuse d'azote, grâce à la décomposition lente mais continue d'une partie de sa matière organique.

### § 3. L'économie en eau.

Le régime normal des précipitations, assez élevées au Kivu (1.500 à 2.000 mm d'après l'altitude), comprend une saison sèche d'une durée maximum de 90 jours (sauf pour la région au Sud de Bukavu où elle

## EXIGENCES ÉDAPHIQUES

est plus longue). Elle ne met que rarement en danger les plantations de caféiers, pour autant que ces dernières ne se trouvent pas dans des conditions de sol trop filtrant et à réserve en eau utile faible.

Comme nous avons eu l'occasion de le préciser déjà, les sols profonds et sablonneux sont à déconseiller, particulièrement s'ils sont latosolisés comme en certains endroits dans la région de Luofu.

Il convient enfin de mentionner ici, bien que cela ne constitue pas à proprement parler un problème d'économie en eau au sens strict mais plutôt un problème de profondeur de sol effectivement exploitable, le cas particulier des sols organiques : l'engorgement pratiquement permanent de ces sols à faible profondeur ne permet pas leur mise en valeur si l'on n'y maintient à au moins 60 cm en toutes saisons le niveau de la nappe d'eau. Cette exigence l'emporte sur toute autre d'ordre chimique, aussi bien pour les arbres d'ombrage que pour les caféiers.

### § 4. La composition du matériau originel.

La composition idéale du matériau originel d'un sol voué à la culture en général et à celle du caféier en particulier est régie, à notre sens, par trois facteurs principaux :

- la teneur et la nature de l'argile (fraction de 0 à 2  $\mu$ );
- la teneur en limon (fraction de 2 à 20  $\mu$ );
- le degré de finesse des sables.

On ne saurait trop insister ici sur l'importance agronomique des fractions limoneuses, aux points de vue tant physique que chimique. Donnons pour fixer les idées quelques normes de composition que nous considérons comme particulièrement favorables :

- pour les sols bruns et les sols colluviaux jeunes, des teneurs en argile comprises entre 30 et 50 % nous paraissent particulièrement propices au développement du caféier. Ces marges s'élargissent quand les proportions de limon augmentent. La diminution de la teneur en argile peut cependant avoir de fâcheuses conséquences, dans les cas où le sol est profond et la nappe phréatique éloignée de la surface.

Dans les sols bruns lourds, la détérioration de la structure par destruction de la matière organique peut provoquer des phénomènes d'asphyxie et même arrêter définitivement la pénétration du système racinaire.

- Les latosols, ne contenant que très peu de limon, occupent une position agronomique nettement moins avantageuse. Leur valeur, toutes autres conditions égales, est directement fonction de leur teneur

en argile qui, au Kivu, pour des raisons d'économie en eau surtout, devrait être au minimum de 40 %.

– Les sols bruns podzoliques et les régosols sont toujours de composition texturale défavorable dans les cas, les plus nombreux, où la nappe phréatique est profonde. Pour leur amélioration, on agira principalement sur la couche humifère.

### § 5. Le développement du profil pédologique.

Nous visons ici principalement la formation des horizons B texturaux qui diminuent considérablement le volume de sol exploitable par les racines. Son influence est la plus forte dans les sols lourds dérivés de basalte.

Un sous-solage ne peut avoir qu'un effet favorable sur l'état physique de ces terres. L'apport de chaux est moins à conseiller; il peut provoquer des phénomènes de carence en fer sur caféiers avant que son influence ne se fasse sentir dans l'horizon B. De toute façon, une trouaison de grandes dimensions, perçant l'horizon B est nécessaire lors de la plantation; un apport de matière organique sous forme de fumier ou de compost dans les trous peut y augmenter favorablement la fertilité.

Ces considérations sont également applicables aux latosols lourds à horizon structural apparent.

### § 6. La nature et les caractères de saturation du complexe sorbant.

Le complexe sorbant découle directement des quantités de matière organique et d'argile présentes dans les différents horizons et de leur nature.

Son principal rôle agronomique est de retenir à la portée des plantes, sous forme échangeable relativement assimilable, les cations qui sinon disparaîtraient en profondeur.

Un complexe sorbant de haute capacité d'échange est d'ordinaire des plus favorable. Son état de saturation est défini par deux caractères principaux, à savoir :

- le degré de saturation auquel le pH du sol est directement lié;
- l'équilibre relatif entre les différents ions saturant le complexe qui règle dans une large mesure leur assimilation par la plante.

## EXIGENCES ÉDAPHIQUES

1. Des sols complètement saturés sont susceptibles d'induire des déficiences en oligo-éléments chez le caféier, plante acidophile. Un taux idéal de saturation de 65 à 90 %, correspondant à un pH variant de 6 à 6,6, devrait toujours être observé.

Pour des taux de saturation inférieurs, les sols deviennent pauvres en cations, particulièrement pour des capacités d'échange réduites. Si alors, les conditions de profondeur de sol meuble, d'économie en eau et de développement de profil pédologique sont défavorables à l'extension du système racinaire du caféier, la réduction des quantités globales d'ions disponibles pour la plante affecte très fortement la productivité.

2. On constate que, pour des sols moyennement à faiblement saturés, l'équilibre idéal entre les cations échangeables Ca/Mg/K se situe aux environs de 75/18/7.

Le respect de cet équilibre est d'autant plus nécessaire que le sol est moins saturé et que d'autres conditions, édaphiques ou extra-édaphiques, limitent déjà le développement des caféiers.

Un déséquilibre cationique du sol induit en général un déséquilibre cationique dans la plante, variable évidemment en intensité avec la nature de l'argile, la capacité d'échange de bases et le taux de saturation. Une étude approfondie de ces relations pour le caféier d'Arabie, nous paraît devoir fournir des conclusions fructueuses quant à une utilisation rationnelle des engrais appliqués actuellement sur des bases empiriques peu sûres et presque toujours sans la moindre connaissance relative aux caractères de saturation du complexe sorbant.

### § 7. Conditions extra-édaphiques.

Ce paragraphe serait incomplet si nous ne signalions ici les exigences extra-édaphiques qui nous ont paru étroitement liées aux facteurs pédologiques.

Les facultés d'adaptation du caféier d'Arabie à l'une ou l'autre condition d'environnement moins favorable dépendent évidemment de l'ensemble des autres facteurs constitutifs de son habitat. Plus adéquats seront ceux-ci, meilleure sera l'adaptation. C'est pour cette raison que les exigences édaphiques du caféier sont plus strictes à des altitudes élevées.

Le rôle de la couverture du sol dépend essentiellement de sa nature. Des graminées adventices créent toujours des conditions d'asphyxie pour le système racinaire et une concurrence azotée entraîne un jaunissement. Une couverture vivante abondante constitue également

un facteur défavorable car elle concurrence le caféier, en sol pauvre au point de vue nutritif, et en sol léger au point de vue de l'eau. L'abandon du sarclage durant les périodes de récolte constitue à cet égard une pratique indéfendable.

L'action protectrice de la couverture contre la destruction de la matière organique du sol superficiel est efficace, particulièrement dans le cas d'une couverture morte (paillis).

L'ombrage est un moyen important de lutte contre des conditions édaphiques défavorables : son rôle protecteur pour le sol et les caféiers se double d'un rôle régulateur contre les rigueurs du climat. Il est indispensable en sols chimiquement pauvres : il réduit fortement le métabolisme et les besoins nutritifs du caféier, lui permettant de mener à bien la maturation d'une récolte peut-être moins abondante, mais mieux en rapport avec leur potentiel agrologique. Sa suppression ne peut se défendre que dans les meilleurs sols; encore est-il indispensable de soustraire la couche humifère à l'influence destructrice des agents climatiques par un paillis et d'apporter de fortes quantités d'engrais chimiques.

Pour ces derniers, il convient de noter que leur efficacité maxima ne peut être atteinte que s'ils constituent le facteur limitatif de la production et que la pratique de la fumure devrait en fait constituer le couronnement de toutes les autres susceptibles d'augmenter les rendements.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

A. L'utilisation conjointe de l'analyse pédologique et du diagnostic foliaire, c'est-à-dire du diagnostic chimique, nous a permis de définir les causes et de proposer des remèdes à un certain nombre de déficiences minérales des caféiers d'Arabie au Kivu.

Nous énonçons brièvement ici les principales conclusions, relatives à ces affections, que nous avons pu tirer :

- Une déficience en azote est dans la majorité des cas la conséquence du décapage de l'horizon superficiel ou de la concurrence d'une couverture de graminées; les remèdes sont essentiellement d'ordre cultural (p. 46).

- Aucune déficience en phosphore n'a été observée comme telle, mais ce fait n'implique évidemment pas que les besoins en phosphore du caféier soient nécessairement couverts (p. 78).

- Une déficience en calcium est la conséquence, en sol peu profond, d'un faible pourcentage de saturation du complexe sorbant et d'un déséquilibre au sein du rapport des cations absorbés, au détriment du calcium (pp. 47-51).

- Une déficience en magnésium découle d'un déséquilibre au désavantage de cet ion dans le sol. Elle apparaît principalement en sol développé sur des matériaux originels riches en minéraux potassiques (pp. 51-54).

- Une déficience en potassium est liée à des teneurs anormalement faibles du potassium échangeable du sol. Elle est fréquente dans les sols dérivés de roches riches en minéraux ferro-magnésiens (p. 54-55).

- Un excès de calcium, conséquence d'un pH élevé et d'une saturation complète, en grande partie par l'ion calcique, du complexe sorbant, entraîne un déséquilibre potassique et magnésique dans les feuilles (p. 57-59).

- Un déficit cationique global, doublé souvent de déséquilibres cationiques, apparaît fréquemment en sols peu profonds à acidité excessive (p. 69-71).

- Les déficiences en un élément cationique dans les feuilles se doublent en général d'un abaissement du taux d'azote de celles-ci (tabl. VII et IX, p. 49-52).

TABLEA

Causes de malnutrition	Symptômes principaux	Conditions édaphiques déterminantes
Déficiência en azote	Jaunissement uniforme Port grêle et érigé	1. Couche humifère réduite : - par un « clean weeding » prolongé . . . - par décapage . . . . . 2. Concurrence de graminées adventives . . .
Déficiência en phosphore		Faibles teneurs en phosphore assimilable, mais seuil variable selon les sols.
Déficiência en calcium	1. Mort du bourgeon terminal; feuilles adultes à bande festonnée olive. 2. Syndrômes d'un excès d'acidité	Sous ombrage : 1. sols à acidité excessive, minces ou décapés, ou à horizon d'étranglement. 2. déséquilibre cationique dans le sol au détriment du calcium En absence d'ombrage : mêmes circonstances
Déficiência en magnésium	Altération de la couleur normale du parenchyme internervien des feuilles adultes	1. Déséquilibre au détriment du magnésium dans la proportion des cations adsorbés (certains sols de cendrées volcaniques). 2. Déficit et déséquilibre en sols dérivés de matériau riche en minéraux potassiques. Déficit cationique global.
Déficiência en potassium		Déséquilibre au détriment du potassium dans la proportion des cations adsorbés : - en sols dérivés de roches riches en minéraux ferro-magnésien (basalte) - en sols à déficit cationique global (sol de marais)
Déficiência en potassium et en azote	Feuilles cuivrées à nervures décolorées	Couche humifère réduite et déficiéncia potassique du sol
Déficit cationique global	Syndrôme d'un excès d'acidité	Sols à acidité excessive : - Minces ou décapés. - A horizon d'étranglement.
Déficiência en fer	Chlorose calcaire	pH élevé et présence de carbonate de calcium dans les couches superficielles.
Déficiência en manganèse	Décoloration internervienne des feuilles adultes.	Immobilisation du manganèse dans le sol à pH élevé, sur sol de cendrées volcaniques récentes.
Excès de manganèse	Syndrôme d'un excès d'acidité	Sols à acidité excessive.
Déficiência en bore	Mort du bourgeon terminal; subérisation des nervures; prolifération de secondaires; chlorose de la partie apicale des vieilles feuilles.	Déficiéncia en bore en sols jeunes acides . . . Immobilisation du bore dans certains sols à pH alcalin . . . . .

X

### Remèdes à envisager

Couverture du sol; paillage et compostage; apport d'azote.

Mesures antiérosives; paillage et compostage; apport d'azote.

Éradication des graminées; remplacement de la couverture; apport d'azote.

En sols de marais acides : application de phosphates tricalciques, phosphates d'os, scories (?).

En régosols et sols colluviaux jeunes acides : idem.

En latosols à pouvoir fixateur élevé : superphosphates granulés.

En sols à pH moyennement acide : phosphates bicalciques et superphosphates.

En sols neutres ou alcalins : superphosphates.

Cas particulier d'un déficit cationique global; cfr cette rubrique.

Apport de sulfate de magnésium.

Cesser momentanément les apports d'engrais potassiques et apporter de la magnésie.

Cas particulier d'un déficit cationique global; cfr cette rubrique.

Application de sulfate de potasse.

Cas particulier d'un déficit cationique global; cfr cette rubrique.

Paillage et compostage; apport d'azote et de potasse.

En sols de marais : drainer prudemment; apporter des phosphates tricalciques ou des phosphates d'os; chauler graduellement et apporter éventuellement un sel potassique.

En sols de basalte : faire de larges trouaisons; apporter de la matière organique, lutter contre l'érosion et le décapage, chauler (?) à la chaux dolomitique et apporter du potassium.

En lithosols sur roches acides : trouer profondément; apporter de la matière organique; chauler modérément et apporter du magnésium.

Pulvérisations de sulfate ferreux ou de composés chélatés de fer sur les feuilles.

Pulvérisations de sulfate de manganèse ou de composés chélatés de manganèse sur les feuilles.

Cas particulier d'un déficit cationique global; cfr cette rubrique.

Pulvérisations foliaires ou, mieux, apport de borax au sol.

Pulvérisations foliaires.



## DÉFICIENCES MINÉRALES DU CAFÉIER D'ARABIE AU KIVU

- Une déficience en manganèse, due à l'immobilisation du manganèse dans le sol, est générale dans les sols dérivés de cendrées volcaniques récentes. Elle s'accroît en présence de fortes quantités de matière organique dans le sol (p. 64-65).

- Des excès de manganèse caractérisent les plantes subissant un déficit cationique global, dans les sols peu profonds à acidité excessive (p. 71-79).

- Il existe une corrélation étroite et négative entre les teneurs en manganèse des feuilles de caféier d'Arabie et le pH du sol (p. 82).

Les remèdes à proposer en fonction des conditions pédologiques à ces différents phénomènes de malnutrition ont été condensés au tableau XIX (p. 98-99).

B. De l'étude systématique des résultats du diagnostic chimique, nous avons également pu tirer des conclusions relatives à la composition minérale foliaire du caféier d'Arabie. Les teneurs moyennes en éléments nutritifs pour des arbres normaux sont de l'ordre de :

*Teneurs en g pour 100 g de matière sèche :*

N	: 2,9
P	: 0,160
Ca	: 1,10
Mg	: 0,30
K	: 2,35

*Teneurs en p.p.m. de matière sèche :*

Fe	: 120
Mn	: 120
B	: 30
Zn	: 30
Cu	: 10
Mo	: 0,8

*Somme des cations en m.éq. pour 100 g de matière sèche : 140*

*Rapport cationique pour 100 m.éq.*

Ca	: 40
Mg	: 18
K	: 42

La variabilité de ces données est discutée au paragraphe 2 de la deuxième partie.

Les teneurs optima en azote et en phosphore seraient légèrement supérieures à celles-ci (p. 77 et suivantes).

## CONCLUSIONS

C. Les conditions édaphiques qui limitent la croissance du caféier d'Arabie et y induisent des déséquilibres nutritifs ont trait, en général et par ordre d'importance, à :

- la profondeur de sol meuble;
- les propriétés de la couche humifère;
- l'économie en eau
- la nature du matériau originel;
- le mode de développement du profil pédologique;
- la nature et les caractères de saturation du complexe sorbant.

Quantitativement, les exigences de la plante vis-à-vis de chacun de ces facteurs varient avec la nature du sol et sont, en fait, conditionnées par leur ensemble.



## BIBLIOGRAPHIE

1939. ASSELBERGHS, E., Notice explicative de la carte géologique de la région du Kivu au 500.000<sup>e</sup>, Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, IX, fasc. I, p. 283-306.
1949. BERGER, K.C., Boron in soils and crops, *Advances in Agronomy*, I, p. 321-51.
1944. BERGER, K.C. et TRUOG, E., Boron test for soils and plants, *Soil Sci.*, LVII, p. 27-36.
1939. BOUTAKOFF, N., Géologie des territoires situés à l'Ouest et au Nord-Ouest du fossé tectonique du Kivu, Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, IX, fasc. 1, p. 1-207.
1956. BROWN, J.C., Iron chlorosis, *Ann. Rev. Plant Phys.*, VII, p. 171-90.
1949. BRYAN, W.H. et TEAKLE, L.J.H., Pedogenic Inertia : a concept in Soil Science. *Nature*, Londres, CLXIV, p. 969.
- 1950a. BULTOT, F., Régimes normaux et cartes de précipitations dans l'Est du Congo belge, Publ. INÉAC, coll. in-4<sup>o</sup>, Bureau climat., Comm. n<sup>o</sup> 1.
- 1950b. BULTOT, F., Carte des régions climatiques du Congo belge. Publ. INÉAC, coll. in-4<sup>o</sup>, Bureau climat., Comm. n<sup>o</sup> 2.
1955. DE HEINZELIN DE BRAUCOURT, J., Le fossé tectonique sous le parallèle d'Ishango, Exploration du Parc National Albert, Mission J. de Heinzelin de Braucourt, fasc. 1, Publ. I.P.N.C.B.
1954. DENISOFF, I., HOLOWAYCHUCK, N., GILSON, P. et CROEGAERT, J., Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Publ. I.N.É.A.C., 4, Nioka (Ituri).
1952. DOLE, M.V., The Aspergillus Method for determining Copper in Soils, *Soil Sci.*, LXXIII, p. 135-47.
1941. DRAKE, M., SIELING, D.H. et SCARSETH, G.D., Calcium-Boron ratio as an important factor in controlling the boron starvation of plants, *Jl Am.Soc. Agronomy*, XXXV, p. 5.
1954. FIELDS, M. and SWINDALE, L.D., Chemical Weathering of Silicates in Soil Formation, *New Zeal. Jl Sci. Techn.*, XXXVI, p. 140-54.
1947. FRANCO, C.M. et LOOMIS, N.E., The Absorption of Phosphorus and Iron from Nutrient Solutions, *Plant Physiology*, XXII, p. 627-34.
1948. GERRETSEN, F.C., On the determination of Plant Nutrients in Soils by the use of *Aspergillus Niger*, *Anal. chem. Acta*, II, p. 783-92.
1953. GONZALES, El abonamiento del cafeto, *Suelo-Tico*, VII, p. 144-46.
1952. GONZALES et CAMACHO, Sintomas de la deficiencia del boro en el cafeto, *Bol., Technico Costa Rica*, Minist. Agric., XI, p. 1-5.
1950. HATCHER, J. et WILLCOX, L.V., Colorimetric determination of boron using Carmine, *Anal. Chem.*, XXII, p. 567-69.

## BIBLIOGRAPHIE

1949. HEINTZE, S.G. et MANN, P.S., The Exchange of Manganese of neutral and alkaline organic Soils, *Jl Agr. Sci.*, XXXIX, p. 80-95.
1953. JACKSON, M.L. et SHERMAN, G. D., Chemical Weathering of Minerals in Soils, *Advances in Agronomy*, V, p. 219-318.
1948. JACKSON, M.L., TYLER, S.A., WILLIS, A.L., BOUREBEAU, G.A., PENNINGTON, R.P., Weathering Sequence of Clay-size Minerals in Soils and Sediments. I. Fundamental Generalizations. *Jl Phys. Coll. Chemistry*, LII, p. 1237-60.
1936. JURION, F., La brûlure des caféiers, Publ. I.N.É.A.C., Série scient., n° 6.
1956. KANNO, I., A pedological Investigation of Japanese Volcanic ash-soils, C.R. VI<sup>e</sup> Cong. Int. Sci. Sol, Paris, E, p. 105-9.
1949. KELLOGG, C.E. et DAVOL, F.D., An exploratory Study of Soil Groups in the Belgian Congo, Publ. I.N.É.A.C., Série scient., n° 46.
1956. LAUDELOUT, H., MOLLE, A., CULOT, J.P., Carences en éléments mineurs du caféier d'Arabie au Kivu, Bull. OPAC, n° 36, p. 43-7.
1936. LEBRUN, J., Répartition de la forêt équatoriale et des formations végétales limitrophes, Publ. Min. Colonies, Bruxelles.
1947. LEEPER, G.W., Forms and Reactions of Manganese in Soils, *Soil Sci.*, LXIII, p. 79-84.
1956. MEDCALF, J.C., LOTT, W.L., TECTER, P.B. et QUINN, R.L., Experimental Programs in Brasil. IBEC Res. Inst., Bull. n° 6.
1954. MEYER, A., Notes vulcanologiques : les basaltes du Kivu méridional - Congo Belge et Ruanda-Urundi, Service Géolog., Mém. n° 2.
1952. MULDER, E.G. et GERRETSEN, C.F., Soil Manganese in Relation to Plant Growth, *Advances in Agronomy*, IV, p. 221-277.
1956. NICOLLS, K.D. et TUCKER, B.M., Pedology and Chemistry of the Basaltic Soils of the Lismore District N.S.W., C.S.I.R.O., Australia, *Soil Publ.*, n° 7.
1946. ROBERT, M., Le Congo physique, 3<sup>e</sup> éd., Liège.
1955. ROBINSON, Green Vein Chlorosis, *East Afr. Jl Agr.*, XX, 3.
1956. RUHE, R.V., Landscape Evolution in the High Ituri, Belgian Congo, Publ. I.N.É.A.C., Série scient., n° 66.
1955. RUHE, R.V. et CADY, J.G., Latosolic Soils of Central African interior High Plateaus. Trans. Vth. Int. Cong. Soil Sci., 16-21 août 1954, Léopoldville IV, p. 401-7.
1928. SALÉE, A., Constitution géologique du Ruanda oriental, Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, V, fasc. 2.
1933. SCAETTA, H., Le climat écologique de la dorsale Congo-Nil, Mém. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Sc. Nat. et Méd., tome III.
1956. SHERMAN, G. D. et GORO UEHARA, The Weathering of Olivine Basalt in Hawaii and its pedogenic Significance, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, XX, p. 337-40.
1941. SHIVE, J.W., Signification and role of trace elements in the nutrition of plants, *Plant Physiology*, XVI, 3, p. 433-45.
1951. SOIL SURVEY MANUAL, United States Department of Agriculture Handbook, n° 18.
- s. d. SERVICE PÉDOLOGIQUE INTERAFRICAIN, Repertory of soil analyses methods, circulated by B.I.S., Paris.
1953. STEPHENS, C.G., Manual of Australian Soils, C.S.I.R.O., Australia.
1954. SUDO, T., Clay mineralogical Aspects of the Alteration of Volcanic Glass in Japan, *Clay Minerals Bull.*, 2, p. 96-106.

## BIBLIOGRAPHIE

1955. THIRION, J. et NISOT, J., Contribution à la connaissance des sols à « horizon foncé en profondeur » des régions d'altitude de l'Est du Congo belge, C.R. V<sup>e</sup> Cong. Int. Sci. Sol, 16-21 août 1954, Léopoldville, IV, p. 392-400.
1951. THORNE, D.W., WANN, F.B., ROBINSON, W., Hypothesis concerning lime induced chlorosis, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, XVI, p. 254-8.
1948. VAN DEN PLAS, A., Sur la répartition verticale des précipitations dans la région montagneuse de l'Est du Congo belge, *Bull. agr. Congo belge*, XXXIX, 1, p. 101-18.
1951. WALLACE, T., The diagnosis of mineral deficiencies in plants, H.M. Stat. Office, Londres.









**MM. SIMONART, P.**, Professeur à l'Université Catholique de Louvain;  
**SOYER, L.**, Secrétaire général de l'Institut pour la Recherche Scientifique en Afrique Centrale;  
**STANER, P.**, Inspecteur royal des Colonies;  
**STOFFELS, E.**, Professeur à l'Institut Agronomique de Gembloux;  
**TAVERNIER, R.**, Professeur à l'Université de Gand;  
**TULIPPE, O.**, Professeur à l'Université de Liège;  
**VAN DE PUTTE, M.**, Membre du Conseil Colonial;  
**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;  
**TAVERNIER, R.**, Professeur à l'Université de Gand;

**C. DIRECTEUR GÉNÉRAL**

**M. JURION, F.**



Des Presses des Éts VROMANT, s. a.  
3, rue de la Chapelle, Bruxelles.