

Valeur du diagnostic foliaire du caféier Robusta

J. FORESTIER

*Chef de la division de Chimie-Pédologie
au Centre de Recherches Agronomiques de Boukoko (R. C. A.)*

INTRODUCTION

Place du diagnostic foliaire

Le diagnostic foliaire est une des méthodes employées pour connaître l'état minéral de la plante, parmi d'autres méthodes telles que la reconnaissance des symptômes visuels de déficience, l'analyse foliaire de LUNDEGARDH, les tests chimiques rapides (1).

Définition du diagnostic foliaire

La méthode originale du diagnostic foliaire et sa définition furent mises au point par LAGATU et MAUME pendant la période 1924-1933 avec plusieurs études sur la composition minérale des feuilles de vigne et de pomme de terre (2). Les variations de la composition chimique des feuilles en fonction des conditions de milieu étant sensibles, l'analyse de la feuille seule suffisait, et cette méthode se révélait particulièrement intéressante pour les plantes arbustives pérennes. Dès lors, les espèces végétales les plus diverses furent soumises au diagnostic foliaire pour le contrôle de leur alimentation minérale. C'est LOUÉ (3) qui, en 1951 en Côte

d'Ivoire, entreprit les premières études sur le diagnostic foliaire du caféier Robusta.

Les définitions du diagnostic foliaire énoncées par les promoteurs de la méthode sont bien connues: « Le diagnostic foliaire à un instant donné est l'état chimique à l'instant considéré d'une feuille prise en place déterminée, convenablement choisie » et « le diagnostic foliaire annuel est la série des états chimiques de cette feuille relevés par l'analyse à diverses époques répartis sur tout le cycle végétatif ».

Diagnostic foliaire et production

Le diagnostic foliaire rend compte uniquement de la nutrition minérale, laquelle est en relation plus ou moins étroite avec d'autres mécanismes physiologiques. La nutrition minérale de la plante ne peut donc avoir une relation étroite avec le rendement de la culture, trop d'autres facteurs intervenant. Le diagnostic foliaire aurait donc une utilité principalement pour suivre l'effet des engrais et tester l'effet des conditions extérieures sur la nutrition de la plante.

LES INFLUENCES JOUANT SUR LA NUTRITION MINÉRALE

Les influences jouant sur la nutrition minérale de la plante peuvent se rattacher soit à la plante elle-même, soit aux conditions du milieu, notamment du sol et du climat, soit aux conditions culturales.

INFLUENCES DUES A LA PLANTE

Distribution des éléments dans la plante

Pour sa nutrition minérale, la plante est sensible aux conditions du milieu et ceci se reflète dans la composition de la feuille. Mais la connaissance approfondie du végétal montre que les éléments minéraux ne sont pas uniformément répartis dans la plante. Cette distribution est modifiée selon que l'on s'adresse à une partie de la plante généralement ensoleillée ou à une partie à l'ombre, selon qu'il s'agit d'un rameau ancien ou d'un rameau de l'année en pleine croissance, selon que ce rameau porte ou non des glomérules de fruits.

Sur deux échantillons de 66 feuilles prélevées sur les mêmes arbres, les différences relevées s'élevaient de 1 % à 3 % pour l'azote et le phosphore et de 7 à 8 % pour les cations.

Un échantillonnage soigneux et assez important devra être fait pour diminuer ces variations dues à la distribution des éléments dans le caféier.

Age du caféier

Les teneurs en éléments minéraux de la feuille varient avec l'âge du caféier. C'est ainsi que l'azote diminue légèrement, le potassium également, tandis que le calcium augmente avec l'âge.

TABLEAU I

*Variation des éléments minéraux dans la feuille
en fonction de l'âge des caféiers*

Age des caféiers	Nombre d'analyses	Taux moyen en pourcentage de matière sèche	
		Potassium	Calcium
2 ans	44	1,90	1,42
3 ans	58	1,93	1,56
4 ans	47	1,84	1,72
5 ans	36	1,79	1,81

Il sera donc important de tenir compte de l'âge du caféier pour fixer les niveaux corrects de nutrition en azote, potassium et calcium principalement, et donner une interprétation exacte des résultats.

Il faut remarquer par ailleurs que le recépage modifie ce vieillissement. Il semblerait donc que l'âge du caféier n'est pas seul en cause et que l'âge de la branche aurait également une certaine importance.

Influence de la taille

Pour mettre en évidence le rôle de l'âge de la branche sur le taux des éléments minéraux dans une feuille, nous avons suivi sur les mêmes arbres les différences d'alimentation entre les feuilles des vieilles tiges et celles des jeunes gourmands qui vont servir de tige de remplacement les années suivantes. Simultanément deux systèmes de taille étaient étudiés se rattachant tous deux à la conduite en multicaulie. Dans un cas, la taille était conçue pour le remplacement simultané de toutes les tiges en ne gardant qu'un tire-sève, dans l'autre cas il s'agissait d'une taille tournante où une vieille tige est remplacée par un jeune gourmand chaque année. Il y avait deux répétitions pour chaque cas.

Les résultats montrent que les jeunes gourmands ont dans les feuilles des taux d'azote plus élevés avec une différence très nette dans le cas du remplacement quasi-total, moins accentuée dans la taille tournante. Les teneurs en phosphore suivent les mêmes variations ainsi que les teneurs en potassium. En ce qui concerne le calcium il y a une légère supériorité du taux dans les feuilles prises sur les tire-sève, supériorité beaucoup plus marquée dans la taille tournante. Pour le magnésium, les résultats sont hétérogènes.

Mais un résultat intéressant à observer alors est le taux de matière sèche de la feuille par rapport au poids frais.

Quelle que soit la taille, le rapport poids sec/poids frais est plus bas dans les feuilles prises sur jeunes gourmands que sur vieilles tiges ; pour les jeunes gourmands il est encore plus faible dans le cas d'une taille avec tire-sève que dans le cas de la taille tournante. Les différences entre les rapports

TABLEAU 2

Teneur en éléments minéraux, après la taille, des feuilles des jeunes gourmands, vieilles tiges et tire-sève

Mode de taille	Nature de la branche	En pourcentage de matière sèche				
		N	P	K	Ca	Mg
Taille totale avec tire-sève	jeunes gourmands	2,99	0,162	2,85	1,82	0,31
	tire-sève	2,45	0,118	2,11	1,87	0,26
	jeunes gourmands	2,98	0,181	2,69	1,41	0,29
	tire-sève	2,60	0,113	1,92	1,68	0,30
Taille tournante	jeunes gourmands	2,70	0,147	2,11	1,62	0,31
	vieilles tiges	2,36	0,124	1,95	2,30	0,35
	jeunes gourmands	2,51	0,148	2,18	1,67	0,34
	vieilles tiges	2,36	0,119	2,06	2,02	0,29

pois sec/poids frais paraissent inversement proportionnelles aux différences que nous observons dans les taux des éléments N P K rapportés au pourcentage de matière sèche. Cette observation nous a conduit à exprimer les résultats en milliéquivalents pour 100 g de poids frais.

Dans ce cas, les différences deviennent beaucoup moins accusées pour N P K et plus accusées pour Ca — Mg. Il est remarquable que le taux d'azote dans

la feuille d'un jeune gourmand soit presque toujours inférieur à celui de la feuille d'une vieille tige. Par contre phosphore et potassium gardent un léger avantage dans les jeunes gourmands, surtout dans le cas de la taille avec tire-sève. Bien que ce prélèvement de feuilles ait été effectué fin juillet, les feuilles des vieilles tiges marquent déjà une accumulation en calcium très nette.

D'autres analyses effectuées en septembre donnent des résultats analogues. L'accumulation du calcium est encore bien plus accusée dans les feuilles des vieilles tiges, surtout dans le cas de la taille tournante. Ces tableaux permettent de supposer que les niveaux critiques sont différents en fonction de l'âge de la branche, principalement pour N K Ca qui présentent les plus grandes variations. L'année suivante, les analyses montrent que les différences sont devenues minimes et non significatives entre jeunes gourmands et vieilles tiges dans le cas de la taille avec tire-sève, alors qu'elles demeurent très sensibles dans le cas de la taille tournante.

TABLEAU 3

Rapport poids sec/poids frais pour des feuilles de tiges d'âges différents

Mode de taille	jeune gourmand	vieille tige ou tire-sève
Taille avec tire-sève	28,6	36,2
	28,5	37,1
Taille tournante	32,7	36,4
	31,5	36,4

TABLEAU 4

Teneur en éléments minéraux des feuilles de tiges d'âges différents en milliéquivalents pour 100 g de matière fraîche

Mode de taille	Nature de la branche	N	P	K	Ca	Mg	somme K+Ca+Mg
Taille totale avec tire-sève	jeunes gourmands	61	4,5	21	26	7,4	54
	tire-sève	63	4,1	20	34	8,0	61
	jeunes gourmands	61	5,0	20	20	6,8	46
	tire-sève	69	4,0	18	31	9,3	59
Taille tournante	jeunes gourmands	63	4,6	18	26	8,3	52
	vieilles tiges	62	4,4	18	42	10,6	71
	jeunes gourmands	56	4,5	18	26	9,1	53
	vieilles tiges	62	4,2	19	37	8,7	65

Ainsi l'échantillonnage pour le diagnostic foliaire devra tenir compte de ces résultats : les feuilles devront être prises sur des tiges de même âge et cet âge devra être précisé.

Interaction entre éléments

Un autre aspect de la nutrition minérale du caféier qu'il est utile de connaître est celui des interactions entre éléments. Il est possible de s'adresser à des travaux effectués sur de jeunes caféiers, particulièrement les cultures en milieu artificiel, qui facilitent les interprétations en accentuant les différences entre milieu.

D'une culture sur sable avec solution nutritive, nous avons obtenu les résultats suivants :

TABLEAU 5 (*)

Taux d'éléments minéraux dans les feuilles de caféiers *Robusta* poussant en solutions nutritives

Caractéristique de la solution	Taux d'éléments en pourcentage de matière sèche				
	N	P	K	Ca	Mg
complète	2,40	0,165	4,00	1,50	0,29
sans azote	1,27	0,330	3,70	1,19	0,34
sans soufre	2,80	0,225	2,75	1,70	0,30
sans bore	2,60	0,165	3,95	1,75	0,33
sans potassium	2,65	0,270	0,60	2,40	1,10
sans calcium	2,60	0,190	4,70	0,50	0,40
sans magnésium	2,60	0,170	4,10	1,40	0,07
sans manganèse	2,30	0,170	3,60	1,50	0,29
sans fer	2,10	0,150	3,95	1,30	0,29

Les résultats obtenus pour les caféiers poussant en solution complète laissent supposer que la solution nutritive était trop riche en potassium, et un peu faible en azote.

Des interactions connues entre éléments minéraux pour le caféier, on déduit que le calcium et le magnésium peuvent s'accumuler dans la feuille si le potassium est carencé, que magnésium et potassium peuvent s'accumuler si le calcium est déficient, que le potassium augmente préférentiellement si le magnésium manque. Les relations entre azote et calcium, azote et potassium dépendent des équilibres existant dans le milieu.

Degré de sélection

Nous avons vu dans une autre publication (4) qu'avec une sélection poussée il existait des races physiologiques au point de vue alimentation minérale. Ce facteur ne joue pas évidemment pour les travaux effectués sur des descendances illégitimes.

(*) Il n'a pas été possible de donner de résultats d'analyse pour les solutions sans phosphore, le matériel végétal obtenu étant insuffisant.

CONDITIONS DE MILIEU

Pluviométrie

On sait que les pluies abondantes provoquent un lessivage partiel des éléments minéraux contenus dans la feuille (5).

En outre, beaucoup de variations saisonnières des éléments de la feuille ont été rapprochées du régime pluviométrique ainsi que l'ont montré les études de LOUÉ en Côte d'Ivoire (6), BUSCH en République-Centrafricaine (7), VELLY à Madagascar (8), nous-même pour la République du Congo, Brazzaville (9). Ainsi les variations de la nutrition azotée suivent celles du régime pluviométrique avec un léger décalage ; le cycle de nutrition phosphorée est très près de celui de l'azote. La courbe représentative de la nutrition potassique suit moins fidèlement la courbe pluviométrique annuelle que celle de l'azote. Pour le calcium, l'accumulation est maximum pendant la saison sèche, et pour le magnésium les amplitudes des variations restent faibles en général au cours de l'année.

Variation journalière

Il existe, outre une variation annuelle, des variations journalières de l'alimentation entre le matin et le soir (10) (11) d'où la précaution de faire des prélèvements à heures régulières.

Sols

On sait que la richesse du sol et les proportions des bases échangeables retiennent directement sur la nutrition minérale de la plante. Les interactions et antagonismes entre éléments très complexes parfois ne permettraient cependant pas d'utiliser le diagnostic foliaire comme un guide de fertilité très sûr.

L'humidité du sol agit également sur la nutrition minérale. Nous avons montré dans une précédente publication (12) qu'en sol sableux plus sec, le potassium paraît être mieux assimilé, alors qu'en sol à tendance hydromorphique le potassium est mal absorbé.

LES FACTEURS CULTURAUX

Leur influence se rattache souvent à une action sur les conditions de milieu et quelquefois sur la plante. Nous avons déjà vu l'influence de la taille sur le diagnostic foliaire.

Ombrage

Les études de Loué en parcelle expérimentale ont fait ressortir un net enrichissement en azote, un écart positif modique pour le phosphore, une augmentation du potassium, surtout pendant la saison sèche, et également du calcium, mais pendant la saison pluvieuse.

Nous avons retrouvé les mêmes effets de l'ombrage en République Centrafricaine (azote, phosphore surtout). Les variations provoquées représentent de 5 à 15 % des taux moyens selon les éléments et ne peuvent être négligées lors de l'établissement d'une corrélation entre caractéristiques du sol et alimentation du caféier Robusta.

Plante de couverture

Cette influence a surtout été étudiée par Busch sur des parcelles expérimentales (13). C'est surtout sur la nutrition azotée que les plantes de couverture ont une influence : la plante paraissant la moins concurrente est la *Leucaena glauca*, puis viennent, *Pueraria* et *Tithonia*, *Mimosa* et enfin le *Paspalum* et les graminées en général qui ont un effet très défavorable.

Paillage

Le paillage provoque une augmentation de l'assimilation du phosphore et du potassium. En compensation, calcium et magnésium baissent très légèrement. Le taux d'azote se maintient bon à moyen sans devenir exceptionnel.

Clean weeding

Les résultats obtenus en station montrent qu'il y a une nette diminution de l'assimilation de l'azote, ainsi que du potassium. Cet abaissement du taux de potassium dans les feuilles est corrélatif d'un abaissement du taux de potassium échangeable dans le sol.

Si le « clean weeding » s'accompagne d'érosion, la nutrition azotée devient rapidement comparable à celle observée avec la présence de graminées.

Mode d'ouverture de la plantation

Le mode d'ouverture de la plantation joue aussi un rôle surtout après forêt. En effet, selon que l'on procède à l'andainage après l'abattage ou au brûlis plus ou moins complet, il y a enrichissement très lent ou très brutal du sol en éléments minéraux. C'est le plus souvent les alimentations phosphorée et calcomagnésienne qui bénéficient du brûlis de la forêt tandis que la nutrition azotée diminue sensiblement et celle du potassium légèrement. Comme le mode d'ouverture retentit sur la compo-

sition du sol, la nutrition du caféier variera dans le même sens que les taux d'éléments et les équilibres dans le sol.

Irrigation

Cette méthode est encore peu employée pour le caféier Robusta. Il est bon cependant de savoir qu'en saison sèche, l'irrigation provoque une augmentation de l'absorption du potassium au détriment du calcium pendant une courte période.

TABLEAU 6. — Composition minérale des feuilles de caféier avec ou sans irrigation (en % de matière sèche)

	Caféiers irrigués	Caféiers non irrigués
Azote.....	2,63	2,66
Phosphore.....	0,117	0,106
Potassium.....	2,17	1,87
Calcium.....	1,06	1,22
Magnésium.....	0,28	0,28

Engrais

Les engrais influent bien entendu sur le diagnostic foliaire du caféier et nous avons déjà étudié les principaux effets et les interactions entre éléments dans une autre étude (14).

DIFFICULTÉS D'INTERPRÉTATION

L'étude des facteurs pouvant influencer sur la nutrition minérale du caféier nous montre les précautions à prendre pour effectuer correctement un prélèvement et un échantillonnage de diagnostic foliaire, ainsi que les soins qui seront nécessaires pour faire une bonne interprétation.

GOUNY (15) a excellemment résumé ces difficultés d'interprétation de l'analyse végétale :

— manque de proportionnalité entre l'absorption des éléments et la croissance,

— variation journalière dans la composition des feuilles,

— redistribution des éléments à l'intérieur de la plante,

— influence des facteurs extérieurs,

— interactions entre éléments,

— influence de l'état sanitaire.

Cependant; en restant dans un milieu donné pour lequel les facteurs extérieurs changent peu, en pratiquant l'échantillonnage au mieux pour éliminer variation journalière ou redistribution dans la plante, il doit être possible d'établir les limites d'une zone de nutrition optimum favorisant une production maximum.

ALIMENTATION ET RENDEMENT

GÉNÉRALITÉS

Il est admis que le diagnostic foliaire fournit des indications très utiles dans l'étude des maladies de carence et reste un outil fondamental dans les études de nutrition minérale. Mais il n'a pas été possible de relier toujours d'une façon satisfaisante les analyses végétales de concentration en éléments minéraux à la croissance ou au rendement des plantes. Cependant, dans un milieu pédoclimatique donné, il serait possible d'obtenir quelques normes empiriques. Comme nous voulons utiliser le diagnostic foliaire comme guide dans l'estimation de la fertilité des sols, il nous est nécessaire de montrer la valeur des niveaux et des équilibres retenus comme étant les meilleurs pour la nutrition minérale du caféier.

Cependant, avant toute tentative d'établissement d'une corrélation entre l'alimentation minérale représentée par les résultats de diagnostic foliaire et le rendement de la plante, il nous apparaît indispensable d'étudier théoriquement les limites possibles d'une telle relation.

Éléments du rendement pour le caféier

L'alimentation minérale déterminée par le diagnostic foliaire de la plante ne correspond qu'à un passé récent de l'alimentation de la plante. Il est donc certain que pour mettre en relation ces résultats de diagnostic foliaire et le rendement de la plante, il faudra écarter à priori ou éliminer les éléments ayant un rôle à longue influence sur la détermination du rendement, par des calculs ou des bases de référence appropriées. Le caféier Robusta est une plante arbustive pérenne : la production de l'arbre une année donnée peut donc être conditionnée par les facteurs ayant agi dès le moment de la plantation ou peu après : l'analyse de la feuille n'en rendra pas compte. Si l'on examine les facteurs de la production d'une caféière, il est possible de mettre en évidence la densité de plantation, le nombre de tiges par arbre, la vigueur de chacune des tiges corrélative du nombre des glomérules et de leur grosseur, le poids moyen des cerises. La densité de plantation varie de 1.000 à 1.600 plants à l'hectare. Il est possible que le diagnostic foliaire ne soit pas influencé par la densité de pieds à l'hectare, il n'est donc pas recommandable de se servir du rendement à l'hectare. Le caféier étant conduit en multicaulie, il peut se former pour une raison ou une autre un nombre de tiges variables si la taille de formation n'est pas cor-

rectement faite. C'est ainsi que dans un même essai agronomique, nous avons relevé sur des moyennes de 55 arbres, un nombre de branches allant de 2,9 à 4,4 par arbre : la nutrition minérale du caféier n'est probablement pas affectée par le nombre de branches si celui-ci n'est pas ou trop faible ou trop fort, alors que la production l'est fortement. Nous avons recherché des arbres dont les tiges étaient de vigueur homogène, mais en nombre varié, et pesé la récolte (moyenne d'une dizaine d'arbres pour chaque chiffre).

TABLEAU 7

Récolte par arbre en fonction de la vigueur des tiges (en grammes de cerises fraîches)

Nombre de tiges	Vigueur des tiges			
	Vigoureuse	Moy.	Faible	Très faible
2		4.343	3.202	
3	11.788	7.841	4.012	1.147
4	14.817	11.292	5.648	1.475
5	18.711	11.695	6.209	1.340
6		15.381	7.244	

Il existe donc une forte variation moyenne en fonction du nombre des tiges. Si l'on rapporte la production à la tige, on obtient alors le tableau suivant :

TABLEAU 8

Récolte par tige en grammes de cerises fraîches en fonction de la vigueur des tiges et de leur nombre par arbre

Nombre de tiges	Vigueur des tiges			
	Vigoureuse	Moy.	Faible	Très faible
2		2.171	1.601	
3	3.929	2.614	1.337	282
4	3.706	2.823	1.412	392
5	3.742	2.339	1.242	268
6		2.575	1.207	
Valeur moyenne ..	3.792	2.504	1.360	347

D'après les tableaux 7 et 8, on se rend compte que la production unitaire est forte jusqu'à 4 tiges, mais que pour une cinquième ou une sixième tige, la diminution par tige n'est pas assez sensible pour empêcher l'augmentation de la production par arbre, sauf peut-être pour les arbres très faibles. C'est en nous basant sur le tableau 8 mettant en évidence la faible variation de la récolte d'une tige pour une vigueur donnée, que nous avons pris

comme base de rendement la production par tige plutôt que la production par arbre chaque fois que cela a été possible, surtout si nous soupçonnions une variation importante du nombre moyen de tiges par arbre. Une analyse plus poussée de la vigueur des tiges montre que le nombre et la grosseur des glomérules sont liés à la vigueur de la tige et donc probablement à son alimentation.

Période utile de diagnostic foliaire

Dans la recherche d'une corrélation entre diagnostic foliaire et rendement, il faut encore déterminer la période de l'année où le diagnostic foliaire a le plus de chances d'être en relation avec la production. En effet, les résultats d'analyses varient en cours d'année et l'attention a été attirée par ULRICH (16) sur le fait que la corrélation entre l'analyse de la plante et la croissance ne vaut que pour la croissance mesurée au moment où a été faite la prise d'échantillon pour l'analyse.

Nous avons vu qu'à la vigueur des tiges étaient liés le nombre et la grosseur des glomérules. Les glomérules se trouvant à la base des feuilles, leur nombre va être fonction de la croissance de la plante. La grosseur des glomérules sera fonction de l'importance des floraisons qui se produiront pendant la saison sèche. Il semble donc qu'il faudrait effectuer deux prélèvements : un pendant la période de croissance, l'autre au début de la saison

sèche. Le graphique 1 montre qu'il existe une évolution parallèle de l'alimentation minérale entre juin (période de croissance) et décembre (entrée de la saison sèche). On peut donc estimer que le prélèvement de décembre rendra compte, au moins en partie, de la phase de croissance et sera le meilleur puisqu'en même temps il précède la floraison.

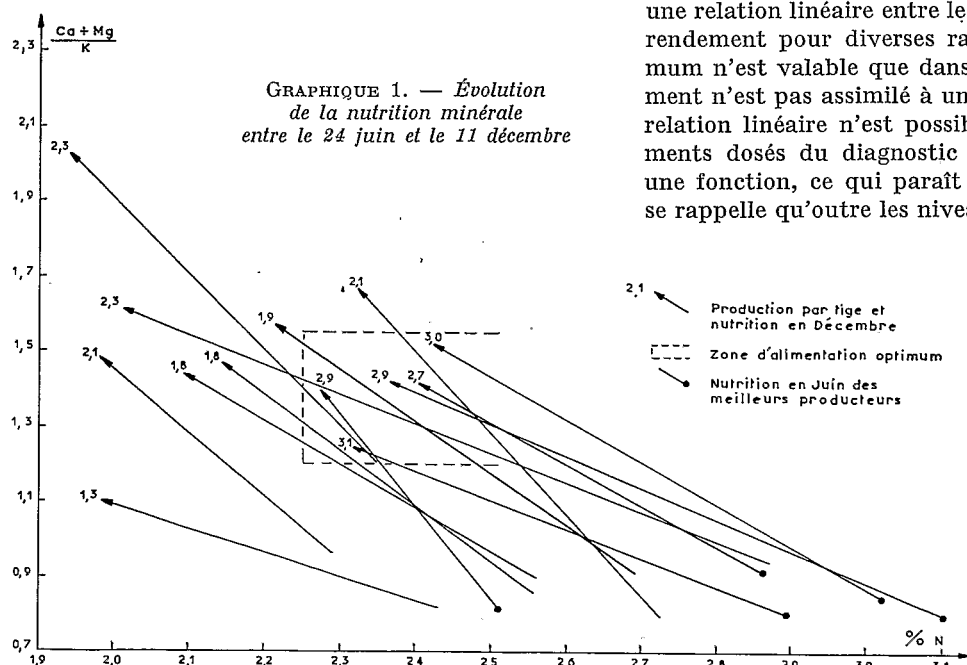
Éléments minéraux

Pour établir une relation il semblerait que plus on admettra d'éléments minéraux à la fois; plus il sera possible de mieux rendre compte de l'état physiologique de la plante. LOUÉ avait pensé que la floraison était sous l'influence du rapport C/N, lui-même en relation avec le rapport N/K. Par ailleurs, BUSCH et LOUÉ ont tenu compte des rapports entre potassium, calcium et magnésium. Il faudrait donc tenir compte des éléments N, K, Ca, Mg au moins, P paraissant moins intéressant du fait que la nutrition en phosphore en début de saison sèche tend à s'égaliser. Afin d'avoir des graphiques très maniables, nous avons utilisé le taux d'azote seul en abscisse et le rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$ en ordonnée plutôt que la représentation en coordonnées trilineaires de Ca — Mg — K qui ne donne pas d'avantages particuliers dans la résolution de ce problème.

Forme générale de la relation

Nous ne pensons pas qu'il soit utile de rechercher une relation linéaire entre le diagnostic foliaire et le rendement pour diverses raisons : la loi du minimum n'est valable que dans le cas où un seul élément n'est pas assimilé à un taux convenable. Une relation linéaire n'est possible que si tous les éléments dosés du diagnostic foliaire sont réduits à une fonction, ce qui paraît hors de propos si l'on se rappelle qu'outre les niveaux des éléments, leurs

rapports peuvent avoir un rôle. Enfin tous les éléments minéraux agissant sur le rendement ne sont pas dosés et ils peuvent entraîner des modifications de production pour un même équilibre et un même niveau des quatre principaux éléments dosés. Pour toutes ces raisons, nous pensons définir seulement une



zone de nutrition optimum favorable à une production maximum. De plus, nous croyons qu'un état optimum de nutrition minérale ne correspondra qu'aux meilleurs rendements qu'il soit possible d'obtenir dans les conditions où la plantation est placée, et non pas à un niveau bien défini de rendement. En effet l'avortement de floraison par la sécheresse, l'infestation parasitaire qui peut varier d'une région à l'autre influent certainement sur le rendement.

Ainsi, la corrélation entre le diagnostic foliaire et le rendement pourra s'établir dans la mesure où le facteur intervenant sur la récolte intervient aussi sur le diagnostic foliaire. C'est le cas de l'ombrage, des engrais, de l'entretien de la plantation, du recépage, de la fertilité du sol, mais ce n'est pas le cas du nombre de tiges retenu pour la formation de l'arbre, de la densité de plantation, des manquants, du taux d'infestation parasitaire, des accidents climatiques.

LES RÉSULTATS : ÉTABLISSEMENT DES RELATIONS

Taux optima de nutrition

Les graphiques 2, 3, 4, 5, 6 montrent les relations que nous obtenons entre éléments minéraux et rendements, ainsi que les zones de bonne nutrition en fonction de l'âge de la branche : 3, 4 et 5 ans

pour des analyses effectuées en décembre, au début de la saison sèche. L'âge de la branche est compté de la façon suivante : un caféier planté en 1953 donne une tige de 3 ans fin 1956. Il faudrait probablement une autre échelle pour des caféiers où l'âge de la tige sera calculé après recépage, car le vieillissement semble plus précoce. Les tableaux 9 et 10 résument les valeurs chiffrées obtenues sur les graphiques. Le tableau 9 rappelle en outre les caractéristiques qui paraissent préférables en juin, au moment de la croissance, surtout en azote et phosphore ; le rapport $(Ca + Mg)/K$ est rappelé pour montrer quelle est sa position la plus favorable à cette époque.

Du tableau 9, il ressort que le rapport $(Ca + Mg)/K$ calculé sur la teneur en pourcentage de matière sèche au mois de décembre, au début de la saison sèche, est le plus favorable dans la limite de :

1,20 à 1,55 pour une tige de 4 ans avec récolte sur tige de 5 ans
0,90 à 1,20 pour une tige de 3 ans avec récolte sur tige de 4 ans
0,55 à 0,90 pour une tige de 2 ans avec récolte sur tige de 3 ans

et surtout 0,80 à 0,90 dans ce dernier cas.

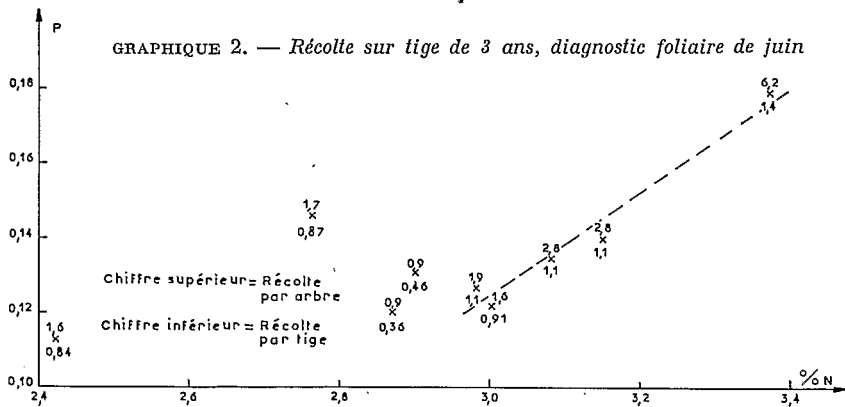
Cette variation s'explique principalement par l'accumulation de calcium qui se produit pendant la deuxième partie de l'année, d'autant plus que la tige est plus âgée. En effet, entre mai et juillet, dans tous les cas, le rapport $(Ca + Mg)/K$ doit être inférieur à 1,0 et ne doit pas descendre en-dessous de 0,60 ceci, quel que soit l'âge de la tige.

TABLEAU 9

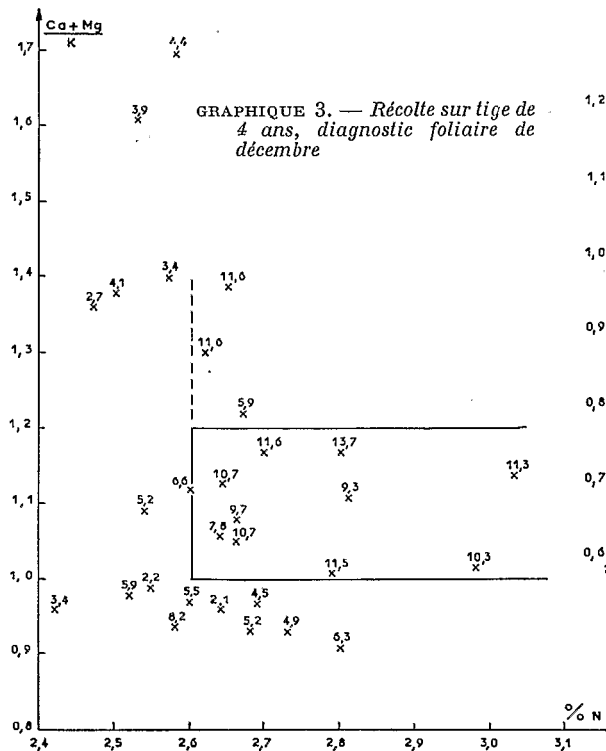
Caractéristiques de la nutrition favorables aux bonnes productions (d'après les pourcentages sur matière sèche)

	en décembre		en juin	
	$\frac{Ca + Mg}{K}$	N	$\frac{Ca + Mg}{K}$	N — P
récolte sur tige de 3 ans				
1 ^{er} cas	0,55 - 0,95	2,65	0,60 - 0,90	N = 2,40 et surtout 2,90 P = 0,11
2 ^e cas	0,75 - 0,90	2,80		
récolte sur tige de 4 ans				
1 ^{er} cas	0,90 - 1,15	2,65	0,60 - 1,00	N = 2,60 et même 3,0 N = 2,65 P = 0,125 N = 2,60 et très favorable 3,10 P = 0,11
2 ^e cas	1,00 - 1,20	2,60 - 3,05	0,65 - 0,75	
3 ^e cas	0,90 - 1,20	2,55		
récolte sur tige de 5 ans				
1 ^{er} cas	1,20 - 1,55	2,25	0,95	N = 2,85 P = 0,115

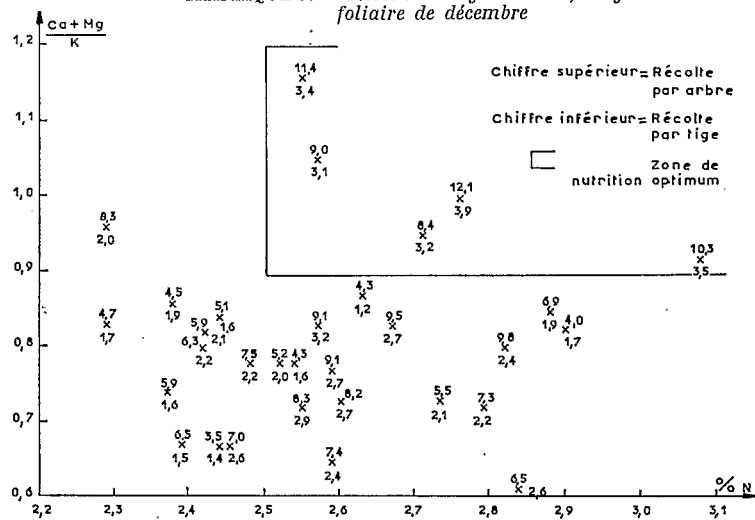
GRAPHIQUE 2. — Récolte sur tige de 3 ans, diagnostic foliaire de juin



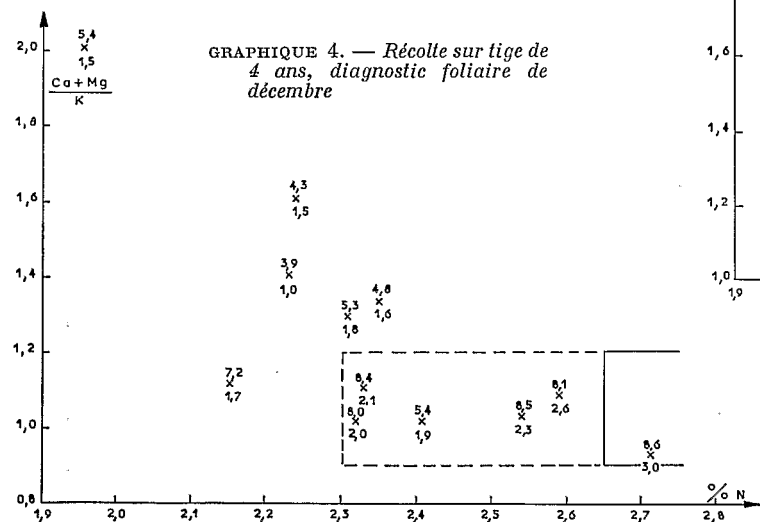
GRAPHIQUE 3. — Récolte sur tige de 4 ans, diagnostic foliaire de décembre



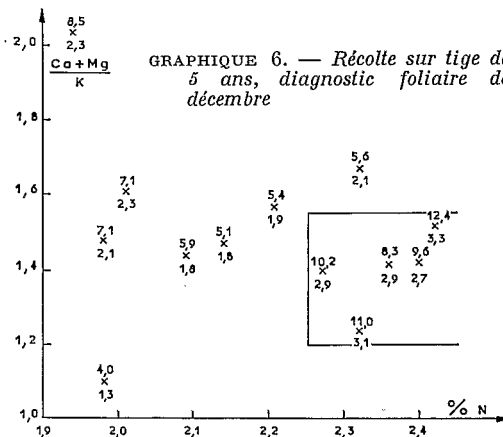
GRAPHIQUE 5. — Récolte sur tige de 4 ans, diagnostic foliaire de décembre



GRAPHIQUE 4. — Récolte sur tige de 4 ans, diagnostic foliaire de décembre



GRAPHIQUE 6. — Récolte sur tige de 5 ans, diagnostic foliaire de décembre



Pour des tiges de trois et quatre ans, le taux d'azote doit dépasser 2,65 % et il va jusqu'à 3,05 % sans que ce dernier chiffre soit un maximum certain. Sur tige de cinq ans, il semble que l'on puisse admettre un niveau d'azote plus bas jusqu'à 2,25 %. A l'époque de la croissance, le taux d'azote ne doit pas être inférieur à 2,65 % et il est nettement plus favorable lorsqu'il atteint ou dépasse 3 %. Le taux de phosphore ne paraît pas essentiel pourvu qu'il dépasse 0,11 %, mais il apparaît que des teneurs de 0,13 — 0,14 % ne peuvent être que plus intéressantes pendant la période annuelle de croissance du caféier. Enfin, pour la première année de production (récolte sur tige de 3 ans), les taux d'azote et de phosphore pendant la croissance sont en bonne corrélation avec la récolte alors que pour les branches plus âgées, la nutrition en décembre reste primordiale : elle peut masquer les effets favorables de N et P pendant la croissance.

Le tableau 10 donne l'analyse des feuilles pour les caféiers ayant donné de très bonnes productions à trois ans, quatre ans et cinq ans. Les productions indiquées dans ce tableau sont très fortes puisqu'elles correspondent à des rendements de 2,4 ou 2,5 t à l'hectare de café marchand. Des productions de une tonne ou une tonne et demie peuvent se trouver avec des limites très différentes de celles annoncées.

Elles ne correspondent pas aux possibilités les meilleures du caféier Robusta.

D'après le tableau 10, une bonne nutrition azotée est supérieure à 2,65 % en général à 3 et 4 ans, à 2,30 % à 5 ans ; la nutrition phosphorique doit dépasser 0,11 % et même 0,13 % à 3 ans, la nutrition potassique semble se tenir entre 2,0 et 2,20 % à 3 ans, entre 1,80 et 2,00 % au delà ; la nutrition calcique vers 1,40 — 1,55 % à 3 ans, 1,55 — 2,00 % à 4 ans, 2,0 — 2,40 % à 5 ans. Enfin la nutrition magnésienne semble se tenir vers 0,29 — 0,35 %. Ces valeurs sont celles dont nous nous servirons comme bases de bonne nutrition du caféier.

Nous pourrions montrer par quelques exemples que l'on obtient des productions moins fortes, soit que le taux d'azote soit insuffisant, soit que l'équilibre potassium-calcium-magnésium ne soit pas aux valeurs optima, soit que l'insuffisance d'azote et le déséquilibre potassium-calcium-magnésium se produisent simultanément.

Dans les graphiques que nous présentons, nous avons donné lorsque les mesures avaient pu être faites, la récolte par arbre ou par tige. Dans le graphique 4, il est possible en rapportant la récolte à la tige, de s'expliquer la présence d'une production de 5,4 kg de cerises fraîches au milieu de productions dépassant 8 kg, car en réalité, on se trouve dans

TABLEAU 10

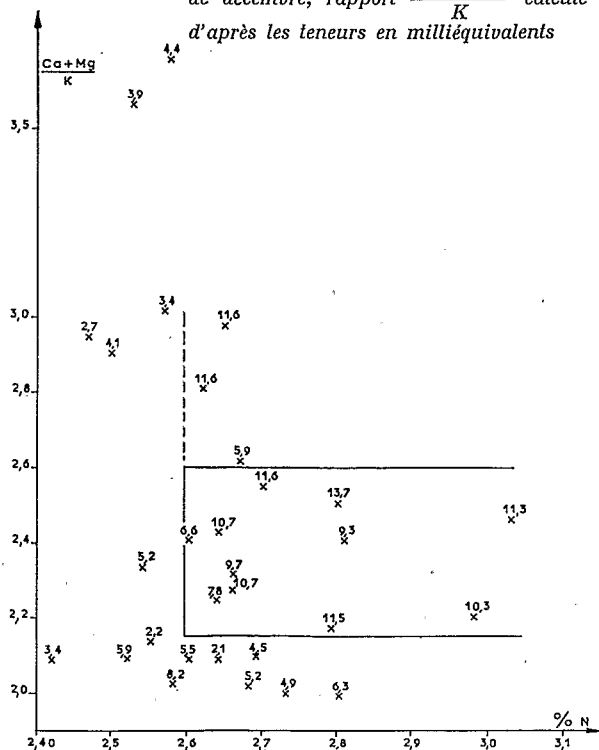
Recherche des niveaux N — K — Ca — Mg pour les meilleures productions

Age de la tige à la récolte	Nombre d'arbres en essai	Récolte en kg cerises fraîches		Diagnostic foliaire en décembre pourcentage de matière sèche					
		pied	tige	N	P	K	Ca	Mg	(Ca+Mg)
									K
3 ans	21	6,7	1,9	2,99	0,135	2,18	1,57	0,23	0,83
	41	6,2	1,4	2,68	0,159	2,34	1,04	0,25	0,55
	21	5,0	1,6	3,00	1,136	2,04	1,45	0,26	0,84
	56	3,8	1,2	2,94	0,136	1,98	1,44	0,26	0,86
	56	3,8	1,0	2,84	0,130	2,20	1,45	0,22	0,76
	56	3,1	1,0	3,15	0,140	2,18	1,37	0,22	0,74
4 ans	36	13,7		2,80	0,122	1,88	1,88	0,22	1,17
	19	12,1	3,9	2,76	0,125	2,29	2,04	0,24	1,00
	36	11,6		2,70	0,107	1,69	1,64	0,34	1,17
	36	11,5		2,79	0,108	1,78	1,54	0,26	1,01
	19	11,4	3,4	2,55	0,124	1,99	2,00	0,31	1,16
	36	11,3		3,03	0,125	1,95	1,88	0,35	1,14
	36	10,7		2,66	0,113	1,76	1,55	0,31	1,05
	36	10,7		2,64	0,113	1,79	1,70	0,32	1,13
	36	10,3		2,98	0,129	1,89	1,64	0,30	1,02
	19	10,3	3,5	3,08	0,112	2,35	1,89	0,27	0,92
	19	9,0	3,05	2,57	0,135	2,16	1,98	0,29	1,05
	55	8,6	3,0	2,71	0,106	1,80	1,38	0,29	0,93
	19	8,4	3,2	2,71	0,122	2,14	1,75	0,29	0,95
	5 ans	55	12,4	3,3	2,42	0,114	1,77	2,36	0,34
55		11,0	3,1	2,32	0,116	1,98	2,17	0,28	1,24

TABLEAU 11. — Niveaux de nutrition minérale en cas de production faible

Age de la tige à la récolte	Nombre d'arbres en essai	Récolte en kg cerises fraîches		Diagnostic foliaire en décembre, pourcentage de matière sèche					
		ped	tige	N	P	K	Ca	Mg	$\frac{Ca + Mg}{K}$
Taux d'azote insuffisant, équilibre cationique satisfaisant									
4 ans.....	55	8,5	2,3	2,54	0,099	1,90	1,67	0,30	1,03
4 ans.....	55	8,0	2,0	2,32	0,125	1,93	1,67	0,31	1,02
4 ans.....	55	3,0	1,1	2,09	0,098	1,89	1,50	0,31	0,96
5 ans.....	55	5,9	1,8	2,09	0,102	1,82	2,29	0,33	1,44
5 ans.....	55	5,1	1,8	2,14	0,103	1,68	2,18	0,29	1,47
Taux d'azote suffisant, déséquilibre cationique									
4 ans.....	19	6,5	2,6	2,84	0,115	2,55	1,34	0,19	0,60
4 ans.....	19	9,8	2,4	2,82	0,127	2,32	1,58	0,27	0,80
4 ans.....	19	7,3	2,2	2,79	0,111	2,36	1,46	0,24	0,72
4 ans.....	19	5,5	2,1	2,73	0,156	2,79	1,80	0,23	0,73
Taux d'azote insuffisant et déséquilibre cationique									
4 ans.....	55	3,9	1,0	2,23	0,106	1,58	1,87	0,36	1,41
4 ans.....	36	2,7		2,47	0,093	1,46	1,64	0,34	1,36
4 ans.....	19	4,7	1,7	2,20	0,118	2,40	1,79	0,21	0,83
5 ans.....	55	4,0	1,3	1,98	0,103	1,95	1,87	0,27	1,10

GRAPHIQUE 7. — Récolte sur tige de 4 ans, diagnostic foliaire de décembre, rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$ calculé d'après les teneurs en milliéquivalents



la zone de production comprise entre 1,9 et 2,1 kg par tige. Dans ce même graphique, la production rapportée à la tige montre que plus le taux d'azote a été élevé, plus le rendement s'est accru pour un rapport $(Ca + Mg)/K$ se trouvant dans la zone convenable, phénomène qui n'apparaissait pas avec la production rapportée à l'arbre. Pour le graphique 5, la production rapportée à la tige permet de mieux mettre en évidence la zone optimum de nutrition et facilite l'interprétation. Enfin la comparaison entre les graphiques 3 et 7 prouve qu'il n'y a aucun avantage à faire les calculs des cations et de leurs rapports en milliéquivalents plutôt qu'en pourcentage de matière sèche dans le cas de plantes saines.

Sur la base matière fraîche

Afin de nous rendre compte si nous aurions des valeurs plus stables en considérant la concentration des éléments dans la matière fraîche, nous avons établi la teneur des feuilles en milliéquivalents pour 100 g de poids frais, car nous avons reconnu que la variation du rapport poids sec/poids frais dans la feuille pouvait être importante et

qu'en général ce rapport augmentait avec l'âge de la tige. C'est ainsi que nous avons pu montrer que la teneur en azote doit être comprise au début de la saison sèche, entre 69 et 75 milliéquivalents pour 100 g de poids frais, et qu'il serait possible d'admettre un seuil de 65 milliéquivalents pour les tiges les plus âgées ; la différence est nettement inférieure aux chiffres obtenus par pourcentage de la matière sèche, l'écart est à peine de 6 % au lieu de plus de 13 %.

Pour le potassium il semble qu'un taux de 18 milliéquivalents plus ou moins 1 milliéquivalent soit le plus convenable. Au-delà de 20 milliéquivalents il semble que la nutrition calcomagnésienne correcte soit plus difficilement atteinte pour obtenir un bon rapport entre les trois cations.

L'accumulation du calcium se manifeste très fortement par le calcul en poids frais. Proche de 25 milliéquivalents pour les plus jeunes, la teneur passe à 28 — 35 milliéquivalents puis à plus de 40 milliéquivalents pour les tiges de 5 ans. La nutrition magnésienne semble devoir approcher 9 à 10 milliéquivalents.

TABLEAU 12

Calcul en milliéquivalents pour 100 g de poids frais de la composition minérale des feuilles de caféiers fort producteurs

Age de la tige à la récolte	N	P	K	Ca	Mg	(Ca + Mg)/K
3 ans	69	4	18	25	6	1,72
	75	6	24	20	8	1,17
	73	5	18	25	8	1,83
	72	5	18	25	8	1,83
	64	4	18	23	6	1,61
	75	4	18	23	6	1,50
4 ans	73	4	18	34	10	2,44
	69	4	21	36	7	2,05
	74	4	16	31	11	2,63
	74	4	17	28	8	2,12
	67	4	19	37	10	2,47
	72	4	17	31	10	2,41
	70	4	17	29	10	2,20
	69	4	17	31	10	2,41
	75	4	17	29	9	2,24
	79	4	21	34	8	2,00
5 ans	73	5	22	39	10	2,23
	74	4	18	26	9	1,94
	75	5	21	34	9	2,05
	67	4	17	46	11	3,35
	65	4	20	43	9	2,60

PROBLÈMES ANNEXES DE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

MINÉRALISATION

Certains auteurs insistent sur l'importance de la minéralisation qu'ils calculent en ajoutant les teneurs en milliéquivalents des différents éléments, notamment la somme potassium + calcium + magnésium.

Dans des travaux de prospection, nous avons obtenu comme valeurs extrêmes 122 et 214 milliéquivalents de cations pour 100 g de poids sec. Les minéralisations les plus faibles se produisent pour des déficiences calciques ou calcomagnésiennes telles que le montrent les exemples suivants :

TABLEAU 13

Minéralisation insuffisante

Minéralisation en m.é./100 g	Teneur en éléments en % M. S.		
	K	Ca	Mg
122	1,81	1,15	0,22
122	2,45	0,97	0,13
123	2,86	0,80	0,12
125	2,28	1,01	0,19
126	2,43	0,80	0,28
129	2,03	1,12	0,26

Inversement les minéralisations les plus fortes ont lieu pour des carences potassiques compensées par une forte absorption calcique, ou dans le cas d'alimentation excessive (chlorose) sur terrain riche.

TABLEAU 14

Minéralisation excessive

Minéralisation en m.é./100 g	Teneur en éléments en % M. S.		
	K	Ca	Mg
214	1,53	2,85	0,39
210	1,85	2,77	0,30
205	1,40	2,65	0,44
205	1,62	2,66	0,37
204	1,19	2,46	0,61
201	0,54	2,32	0,86
201	1,51	2,57	0,39

Les tableaux 13 et 14 montrent que la minéralisation des feuilles de caféiers dépend surtout de la nutrition calcique du caféier. Il est alors compréhensible que cette minéralisation augmente avec l'âge des tiges sur lesquelles les feuilles sont prélevées puisque le calcium s'accumule plus fortement dans les feuilles provenant de tiges âgées. Ces va-

riations restent cependant assez faibles. Les valeurs moyennes se trouvent entre 150-165 milliéquivalents.

Il arrive, mais sans que cela soit une règle générale, que les fortes productions soient associées à une minéralisation supérieure à la moyenne (170-180 milliéquivalents).

FORMATION DES CERISES

En même temps qu'il existe des variations dans le cycle annuel de nutrition minérale des feuilles du caféier, se produisent la croissance du caféier, dont le rythme peut être donné par le développement du nombre des feuilles sur un jeune rameau, et le grossissement des cerises. Dans quelle mesure ces phénomènes de croissance et de fructification peuvent-ils influencer sur le diagnostic foliaire ?

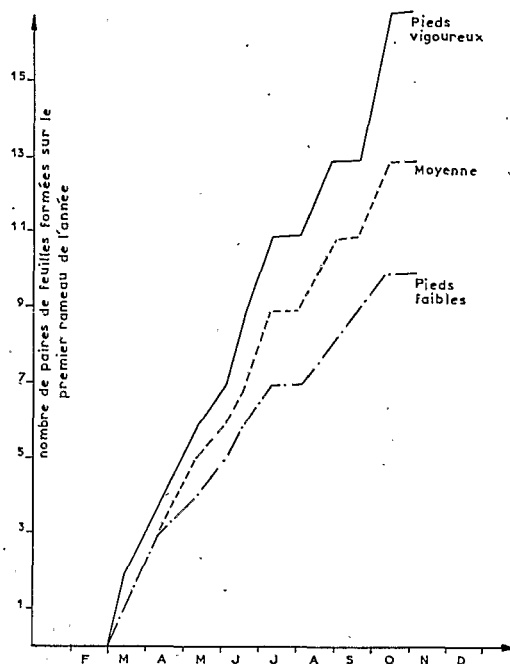
Croissance

En ce qui concerne la croissance, nous avons pu observer qu'en République Centrafricaine le démarrage de la végétation se produit dès les premières pluies de février, début mars. Le nombre de feuilles sur les branches hautes de la tige croît à peu près régulièrement d'environ 2 paires de feuilles par mois jusqu'au mois d'août sur des arbres correctement alimentés, puis le rythme ralentit. A l'entrée de la saison sèche, il y a un arrêt brutal de la croissance. Ainsi, pour une année de croissance jusqu'en fin novembre, il y a formation de 15 à 17 paires de feuilles sur les rameaux jeunes des arbres les mieux nourris. Les différences d'un arbre à l'autre sont notables et sur un même arbre la croissance n'est vraiment active que sur les rameaux les plus jeunes, formés à la fin de la saison précédente ou au début de la saison observée (graphique 8).

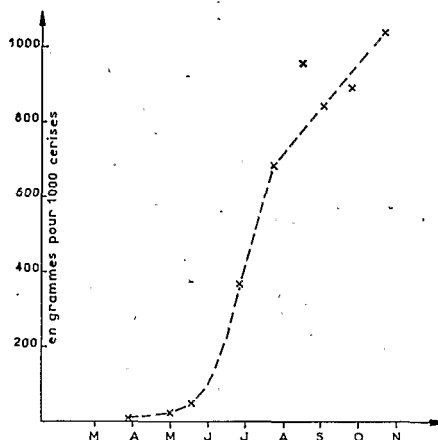
Fructification

Nous avons suivi pendant une année le grossissement des cerises du caféier et les exigences minérales de ces cerises pour connaître le rythme des besoins en éléments minéraux (graphique 9).

Au moment de la formation des grains, l'équilibre potassium — calcium — magnésium est analogue à celui d'une feuille de troisième rang employée pour le diagnostic foliaire, avec même plus de magnésium. Cette importance relative du calcium et du magnésium justifie l'emploi de l'équilibre K — Ca — Mg pour juger de la bonne alimentation du caféier au moment de la floraison.



GRAPHIQUE 8. — Rythme de croissance du caféier Robusta



GRAPHIQUE 9. — Grossissement des cerises

Par la suite calcium et magnésium deviennent bien moins importants que l'azote et le-potassium.

Le tableau 15 montre que ce grossissement du grain est très actif de juin à août alors que la croissance de l'arbre continue à se manifester. Il apparaît donc que les besoins du caféier en éléments plastiques tels que l'azote restent très importants pendant cette période. La diminution du taux d'azote observée alors dans les feuilles pourrait

TABLEAU 15

Variation du taux des éléments minéraux dans les cerises en voie de développement

Date	Poids frais de 1.000 cerises	Rapport poids sec/poids frais	En pourcentage de matière sèche					Variations centésimales de la somme des cations		
			N	P	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
9 avril	14	31,1	3,46	0,226	2,21	1,77	0,590	48,4	38,7	12,9
11 mai	28	31,3	3,48	0,230	2,12	1,50	0,449	52,1	36,9	11,0
1 juin	48	26,8	3,43	0,229	2,23	1,50	0,491	53,4	35,9	11,7
20 juin	47	27,4	3,30	0,224	2,23	1,70	0,481	50,6	38,5	10,9
9 juillet	369	20,2	2,40	0,171	2,21	0,53	0,258	73,7	17,7	8,6
5 août	678	16,7	2,36	0,146	2,15	0,54	0,197	74,5	18,7	6,8
26 août	965	18,9	2,26	0,143	2,13	0,46	0,207	75,1	16,2	7,3
15 septembre ..	844	20,9	2,25	0,142	2,36	0,44	0,209	78,4	14,6	7,0
7 octobre	893	25,9	2,22	0,103	2,09	0,41	0,180	78,0	15,0	6,7
2 novembre	1.045	32,9	2,09	0,120	2,08	0,33	0,171	80,6	12,8	6,6
12 décembre ..	997	34,3	2,18	0,126	2,11	0,33	0,194	80,1	12,5	7,4

TABLEAU 16

Absorption d'éléments minéraux, en kg, par les cerises pour la récolte d'une t par ha de café marchand (soit environ 4,4 t de cerises fraîches ou 4×10^6 : cerises)

Date	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium	Poids de matière sèche
9. IV. 60	0,60	0,04	0,38	0,31	0,10	17
11. V. 60	1,18	0,08	0,72	0,51	0,15	31
1. VI. 60	1,76	0,10	0,15	0,77	0,25	51
9. VII. 60	7,16	0,51	6,59	1,58	0,30	298
5. VIII. 60	10,69	0,66	9,74	2,45	0,89	453
26. VIII. 60	16,49	1,04	15,83	3,36	1,51	730
15. IX. 60	15,88	1,00	16,65	3,10	1,47	706
7. X. 60	20,54	0,95	19,34	3,79	1,67	925
2. XI. 60	28,74	1,65	28,60	4,54	2,35	1 375
12. XII. 60	29,82	1,72	28,86	4,51	2,65	1 368
Cerises mûres	30,61	1,64	30,16	4,33	2,42	1.493

être en relation avec une mobilisation des réserves de la plante pour faire face aux besoins de la croissance et de la fructification.

Si le tableau 15 montre une brusque diminution du taux des éléments à partir du prélèvement de juillet, exception faite du potassium qui reste remarquablement constant, le tableau 16 prouve que le prélèvement d'éléments minéraux pour le grossissement du grain a été très élevé fin juin-début juillet puisque le potassium a quintuplé, l'azote et le phosphore ont quadruplé, le magnésium a triplé et le calcium doublé. Cette absorption massive se continue en juillet-août puis se stabilise et un complément d'éléments minéraux est absorbé au moment de la maturation (octobre-novembre).

Il n'est pas certain que ce fort besoin d'éléments minéraux nécessaires à la croissance de l'arbre et à la fructification se répercute entièrement sur le diagnostic foliaire : celui-ci serait alors insuffisant pour rendre compte de tous les besoins en engrais et surtout de leur rythme d'application.

BESOINS DU CAFÉIER

Les besoins du caféier en éléments minéraux peuvent se résumer ainsi : il faut une bonne nutrition nitrophosphorée pendant la période de croissance. A l'entrée de la saison sèche, il est nécessaire d'avoir un taux d'azote convenable et principalement un équilibre correct entre les cations potassium, calcium, magnésium : toutes ces conditions permettent d'avoir une bonne floraison, base d'un bon rendement.

Les possibilités engendrées par une telle schématisation des besoins avec prépondérance de la phase de croissance ou de la phase de floraison permettent de concevoir que des sujets à nutrition très différente en dehors de la zone optimum peuvent avoir des récoltes pratiquement identiques : un arbre avec une bonne croissance (N fort) mais avec des glomérules peu fournis (Ca + Mg/K mal équilibré) peut produire la même récolte qu'un arbre à croissance limitée (N moyen) mais avec des glomérules plus gros (Ca + Mg/K mieux équilibré).

CONCLUSION

Le diagnostic foliaire est un instrument de travail utile notamment pour la détection des insuffisances alimentaires caractérisées. Les notions de niveau critique, de corrélation entre concentration minérale et rendement n'ont pas encore une valeur reconnue par tous.

Nous avons vu que pour interpréter correctement un diagnostic foliaire et établir des corrélations avec le rendement, il était nécessaire de bien étudier les divers éléments concourant à la production de la plante, afin de n'établir une corrélation qu'en tenant compte des éléments qui agissent à la fois sur le rendement et la nutrition minérale.

Les corrélations à établir ne peuvent être simples, sauf cas particuliers, car trop d'éléments minéraux sont à confronter simultanément, tant

par leurs niveaux que par leurs équilibres. Dans le cas où une corrélation, ou du moins des niveaux optima de nutrition sont déterminés avec sûreté, il est probable que le diagnostic foliaire pourra servir de guide pour les études de fertilité des sols.

Dans le cas particulier du caféier Robusta, les possibilités maxima connues de productivité de l'arbre permettent de croire qu'une tige de caféier peut fournir 900 à 1.000 g de café marchand dans les meilleures années de production. Il est évident que pour déterminer les zones optima de nutrition, il faut se rapprocher de ces chiffres, probablement ne pas descendre au-dessous des 3/4 des maxima de production comme référence, sinon on pourra obtenir des équilibres minéraux très différents pour des productions comparables et on ne pourra pas déterminer une zone optimum de nutrition.

BIBLIOGRAPHIE

1. WALLACE (T.). — Methods of diagnosing the mineral status of plants. C. R. du colloque IRHO 1956 sur l'analyse des plantes et les problèmes de fumure minérale, p. 13-21.
2. LAGATU (H.), MAUME (L.). — Recherches sur le diagnostic foliaire. Annales de l'école d'agriculture de Montpellier. NS., T. 22, n° 4, p. 257-306.
3. LOUÉ (A.). — Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Bull. du CRA de Bingerville, 1951, n° 3, p. 13-41.
4. FORESTIER (J.). — Sélection et nutrition minérale du caféier Robusta. *Café Cacao Thé*, vol V, n° 4, oct.-déc. 1961, p. 219-226.
5. MES (M. G.). — Excretion of phosphorus and other mineral elements by leaves under the influence of rain. *S. AF. JI. SCI.*, T 50, p. 167-172. D'après *Soils and Fertilizers*, 1954, T. 17, n° 5, p. 426, abs 1852.
6. LOUÉ (A.). — Etudes sur la nutrition minérale du caféier en Côte d'Ivoire. Bull. spécial du CRA de Bingerville, 1955.
7. BUSCH (J.). — Etude de la nutrition minérale du caféier Robusta dans le Centre Oubangui. *Agron. Trop.*, 1956, T. II, n° 4, p. 416-447.
8. VELLY (J.). — Evolution annuelle des éléments fertilisants sur caféier Robusta. Premières observations. Annexe n° 25 du Rapport sur les recherches caféières à la Station Agronomique d'Ilaka, juin 1960.
9. FORESTIER (J.). — Note sur l'alimentation du caféier Robusta dans la République du Congo. Annexe section chimie du rapport annuel C. R. A. Boukoko, Tome 2.
10. PHILLIS (E.), MASON (T. G.). — On diurnal variation in the mineral content of the leaf of the cotton plant. *Ann. of Botany*, 1942, p. 432.
11. SCHEIDECKER (D.), PREVOST (P.). — Nutrition minérale du palmier à huile à Pobé (Dahomey). *Oléagineux*, janvier 1954, p. 13-19.
12. FORESTIER (J.). — Relations entre l'alimentation du caféier Robusta et les caractéristiques analytiques des sols (en voie de publication).
13. BUSCH (J.). — De l'influence des plantes de couverture et des fumures sur la nutrition minérale et les rendements du caféier Canephora, variété Robusta. Annexe rapport annuel 1957 du CRA de Boukoko, section Chimie.
14. BORGET (M.), DEUSS (J.), FORESTIER (J.). — Quelques résultats des essais d'engrais sur C. Robusta au centre de recherches agronomiques de Boukoko (à paraître).
15. GOUNY (P.). — Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement. C. R. colloque IRHO, 1956, p. 87-103.
16. ULRICH (A.). — Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. of Pl. Phys.*, 1952, n° 3, p. 207.

FORESTIER (J.). — Valeur du diagnostic foliaire du caféier Robusta. *Café Cacao Thé*, Paris, vol. VI, n° 3, juil.-sept. 1962, p. 191-206, 9 fig., tabl., 16 réf.

L'auteur s'est attaché dans cette étude à déterminer les caractéristiques de la nutrition et les niveaux N, K, Ca, Mg correspondant à une bonne production du caféier Robusta en République Centrafricaine.

Ses conclusions sont les suivantes :

Le diagnostic foliaire est un instrument de travail utile, notamment pour la détection des insuffisances alimentaires caractérisées. Les notions de niveau critique, de corrélation entre concentration minérale et rendement n'ont pas encore une valeur reconnue par tous.

Pour interpréter correctement un diagnostic foliaire et établir des corrélations avec le rendement, il est nécessaire de bien étudier les divers éléments concourant à la production de la plante, afin de n'établir une corrélation qu'en tenant compte des éléments qui agissent à la fois sur le rendement et la nutrition minérale.

Les corrélations à établir ne peuvent être simples, sauf cas particuliers, car trop d'éléments minéraux sont à confronter simultanément tant par leurs niveaux que par leurs équilibres. Si une corrélation, ou du moins des niveaux optima de nutrition sont déterminés avec sûreté, il est probable que dans ce cas le diagnostic foliaire pourra servir de guide pour les études de fertilité des sols.

Dans le cas particulier du caféier Robusta, les possibilités maxima connues de productivité de l'arbre permettent de croire qu'une tige de caféier peut fournir 900 à 1.000 g de café marchand dans les meilleures années de production. Il est évident que pour déterminer les zones optima de nutrition, il faut se rapprocher de ces chiffres, probablement ne pas descendre au-dessous des 3/4 des maxima de production comme référence, sinon on pourra obtenir des équilibres minéraux très différents pour des productions comparables et on ne pourra pas déterminer une zone optimale de nutrition.

FORESTIER (J.). — **Value of the Robusta coffee leaf analysis.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. VI, n° 3, juil.-sept. 1962, p. 191-206, 9 fig., tabl., 16 réf.

In the present study, the Author is paying special attention to the characteristics, particular to nutrition and to N, K, Ca, Mg levels corresponding to a good yield of Robusta coffee tree in the Central African Republic.

He comes to the following conclusions :

Foliar analysis is a useful instrument specially for finding marked nutritional deficiencies. Notions referring to critical level, to correlation between mineral concentration and yield have not, as yet, acquired the same value for everyone.

In order to obtain the right interpretation of a leaf analysis and to establish correlations with the yield, the various elements contributing to the production of the plant should be carefully studied so that correlation is only established whilst bearing in mind the elements acting both on yield and mineral nutrition.

Except for certain cases, correlations cannot be readily established because of the great number of mineral elements which have to be confronted simultaneously both as regards their level and their equilibrium. When any correlation, or at least optimal nutrition levels are assessed with full assurance, then foliar analysis will become an useful guide for soils fertility investigations.

In as far as Robusta coffee tree is concerned, the uttermost productivity known for this tree allows to state that it may yield from 900 to 1.000 grammes of marketable coffee during the best production years. It is obvious that, in order to ascertain optimal zones of nutrition, one should keep near to these quantities, taking care not to refer to less than 3/4 of maximal production data, otherwise the mineral equilibrium obtained would be much different for comparable productions and thus the identification of an optimal nutrition zone would become impossible.

FORESTIER (J.). — **Wert der Blattanalyse beim Robusta Kaffeebaum.** *Café Cacao Thé* (Paris); vol. VI, n° 3, juil.-sept., 1962, p. 191-206, 9 fig., tabl., 16 réf.

Ziel des Verfassers in folgender Arbeit ist die Bestimmung der Ernährungseigenschaften und N, K, Ca, Mg Werte, die in der Zentralafrikanischen Republik für den Robusta Kaffeebaum einem guten Ertrag entsprechen.

Er schliesst wie folgt :

Die Blattanalyse ist ein brauchbares Hilfsmittel insbesondere für die Ermittlung markierter Nährstoffmangel. Die Begriffe : kritischer Wert, Korrelation zwischen Mineralprozentatz und Ertrag haben bisher noch nicht denselben Wert für jeden.

Um die Blattanalyse genau aufzufassen und die Beziehungen mit dem Ertrag festsetzen zu können müssen unbedingt die verschiedenen Elemente die zum Pflanzenertrag beitragen sorgfältig studiert werden, denn eine Korrelation kann nur festgesetzt werden, wenn die in Rechnung gezogenen Elemente gleichzeitig auf Ertrag und Mineralnahrung wirken.

Die Festsetzung solcher Korrelationen kann nur ausnahmsweise einfach sein, denn es sind zu viele Mineralstoffe, die, sei es für Ihren Wert oder für Ihr Gleichgewicht, gleichzeitig miteinander verglichen werden müssen. Vorausgesetzt dass eine Korrelation oder wenigstens einige optimale Nährwerte mit Sicherheit bestimmt wird, dann besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die Blattanalyse als Wegweiser für Untersuchungen der Bodenfruchtbarkeit benutzt werden könnte.

Soweit es Robusta Kaffee anbelangt, erlauben die maximalen bekannten Produktivitätsmöglichkeiten dieses Baumes, seinen Ertrag von Marktkaffee auf 900 bis 1.000 g für die besten Produktionsjahre zu schätzen. Es liegt auf der Hand, dass man bei der Bestimmung der optimalen Nährzonen sich diesen Werten annähern muss und dass man, wenigstens auf 3/4 der maximalen Produktionsangaben Bezugnahme nehmen muss ; sonst würde man sehr verschiedene Mineralgleichgewichte für ähnliche Produktionen erzielen und damit die Bestimmung einer optimalen Nährzone unmöglich machen.

FORESTIER (J.). — **Valor del diagnóstico foliar del café Robusta,** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. VI, n° 3, juil.-sept. 1962, p. 191-206, 9 fig., tabl. 16 réf.

El objeto del presente estudio fué la determinación de las características de nutrición y de los niveles de N K Ca Mg correspondientes a una buena producción del café Robusta en República Centroafricana.

Sacáronse las conclusiones siguientes :

El diagnóstico foliar es un instrumento de trabajo útil que revela especialmente las deficiencias de nutrientes caracterizadas. Las nociones de nivel crítico, de correlación entre concentración mineral y rendimiento no tienen valor universalmente reconocido.

Para interpretar correctamente un diagnóstico foliar y establecer correlaciones con el rendimiento, es preciso estudiar bien los varios elementos que desempeñan un papel en la producción de la planta : así se hallará una correlación que sólo tenga en cuenta los elementos con efectos a la vez sobre el rendimiento y la nutrición mineral.

Las correlaciones que han de establecerse no pueden ser simples salvo en casos especiales porque es necesario confrontar simultáneamente, en cuanto a sus niveles y a sus balances, una cantidad demasiada de elementos minerales. Cuando sea posible determinar con seguridad una correlación, o por lo menos niveles óptimos de nutrición, probablemente el diagnóstico foliar suministrará datos interesantes para los estudios de fertilidad del suelo.

En el caso especial del café Robusta, las posibilidades maximas de productividad conocidas permiten afirmar que en los años mejores un tallo puede producir unos 900-1.000 g de café comercial. Es claro, pues, que para determinar las zonas optimas de nutrición es preciso obtener valores vecinos de estas, probablemente no inferiores a los 3/4 de la producción máxima de referencia ; en el caso contrario se tendrán tal vez balances minerales muy diferentes para producciones comparables y no será posible determinar una zona de nutrición óptima.

Sélection et nutrition minérale du caféier robusta

J. FORESTIER

*Chef de la Division de chimie-pédologie
au Centre de Recherches Agronomiques
de Boukoko (R. C. A.)*

I. — BUT DE L'ÉTUDE

L'adaptation des plantes au sol est bien connue et l'on distingue couramment les plantes calcicoles, silicicoles, halophytes, nitrophiles, etc... De même, parmi les plantes cultivées, on différencie les plantes exigeantes de celles qui le sont peu : il s'agit d'espèces qui, pour un même terrain, donneront une médiocre ou une bonne production ; ainsi le cacaoyer est réputé plus exigeant que le caféier ou le palmier à huile.

A l'intérieur d'un même genre, les espèces ont également des besoins variables, quelquefois à propos des conditions climatiques, d'autrefois pour les sols. Ainsi, dans le genre *Coffea*, l'*Arabica* serait plus exigeant que le *Robusta*, lui-même l'étant plus que l'*Excelsa*. Ces différences se traduisent dans l'alimentation des plantes, et le diagnostic foliaire de ces trois espèces montre des niveaux sensiblement variés.

TABLEAU 1

*Diagnostic foliaire de plusieurs espèces de Coffea.
Niveau correct d'alimentation en pourcentage de matière sèche*

	<i>C. arabica</i>	<i>C. robusta</i>	<i>C. excelsa</i> (provisoire)
Azote	3,00	3,00	2,20
Phosphore ...	0,20	0,13-0,15	0,11
Calcium	1,10	1,35	1,50
Magnésium ...	0,30	0,29-0,36	0,20-0,30
Potassium ...	2,35	1,80-2,20	1,60

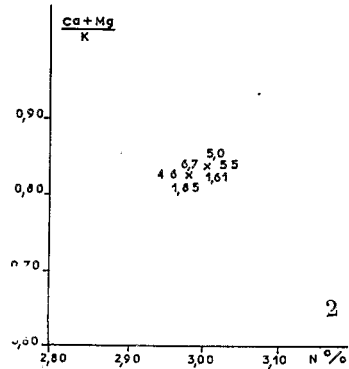
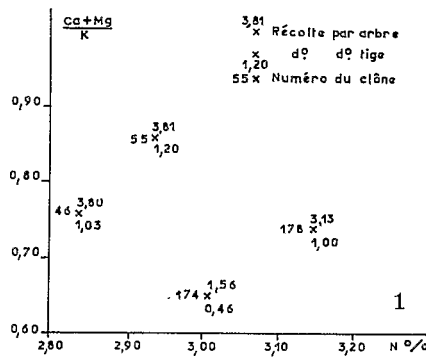
L'étude que nous avons faite avait donc pour but de rechercher si les différences d'adaptation au sol existant au niveau des familles et des espèces se retrouvaient au niveau des variétés et des races et si, dans ce dernier cas, un intérêt agronomique pouvait en être dégagé.

II. — REVUE DE LA LITTÉRATURE

NYE et FOSTER (1) ont montré que certaines espèces sont plus efficaces que d'autres dans l'absorption de phosphates du sol à bas potentiel.

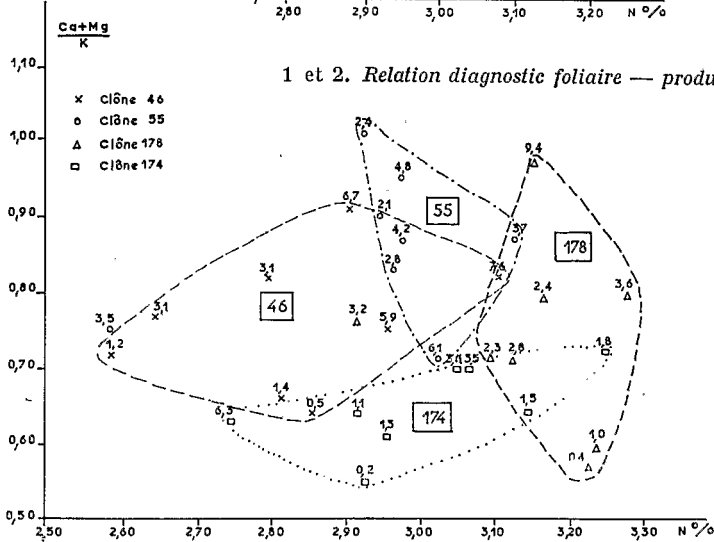
BOUYCHOU (2) rapportant les travaux de l'Institut de Recherches du Caoutchouc au Vietnam signale que les clones d'hévéa ont des exigences différentes pour le calcium : l'un, le BD 5, est sensible aux carences calciques, l'autre, le Tjir I, craint l'excès de calcium.

Sur le palmier à huile, PRÉVOST et ZILLER (3) avaient montré que les familles génalogiques avaient une influence sur les rendements, mais ils estimaient qu'il était très délicat de faire la distinction entre la potentialité génétique et les conditions écologiques (substances minérales, eau) dont les actions réciproques seraient très complexes. Ils étaient amenés à conclure qu'il existe des différences d'origine génétique quant aux relations entre teneur en éléments minéraux et rendements (graphique 5).

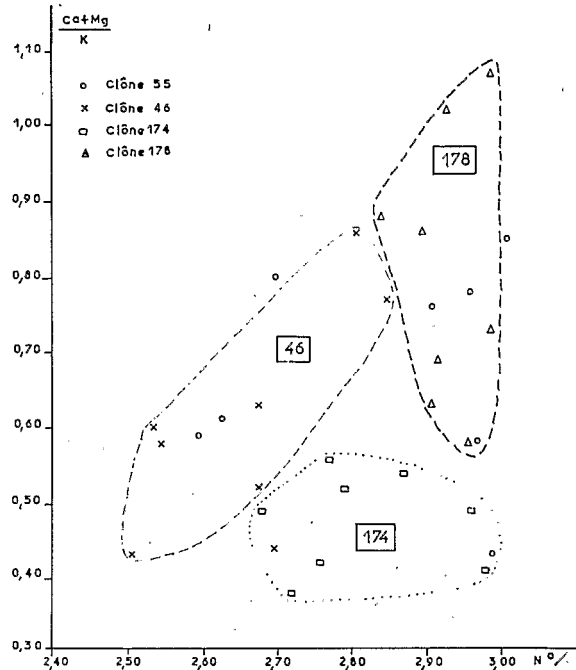


1. Moyennes de huit répétitions pour quatre clones.
2. Moyennes des trois meilleures répétitions pour deux clones.

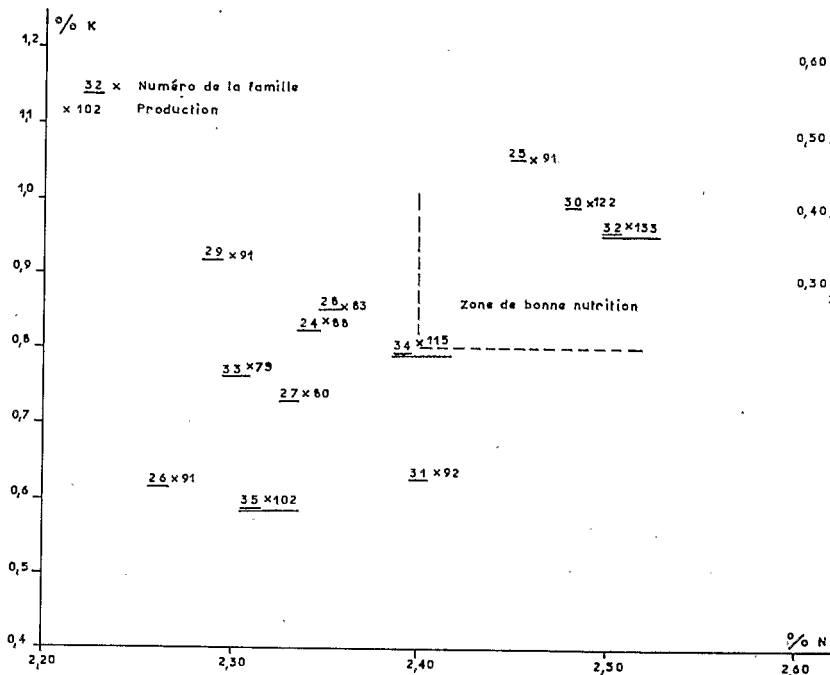
1 et 2. Relation diagnostic foliaire — production pour les clones. Récolte sur tige de trois ans.



3. Relation diagnostic foliaire-production pour les clones. Récolte sur tige de trois ans.



4. Diagnostic foliaire pour les clones, décembre 1959



(d'après Prévot-Ziller)

5. Influence de la famille généalogique et de la nutrition sur la production du palmier à huile.

III. — PRINCIPES DE SÉLECTION

A l'intérieur de chaque espèce, pour les besoins culturaux, les travaux des sélectionneurs ont abouti à l'isolement de variétés ou de races présentant des qualités de production supérieures à la moyenne de l'espèce.

Du point de vue de la production, la sélection d'une plante est basée sur l'isolement d'un génotype fixé qui, placé dans les mêmes conditions que les autres plantes de la même espèce ou variété, produira plus. Sous le vocable « mêmes conditions », on entend aussi bien les conditions climatiques qu'édaphiques. C'est ainsi qu'au début la sélection s'est effectuée sur des sols ordinaires, mais très rapidement on en est venu à la conception qu'une plante produisant plus, exigeait plus d'aliments et la sélection s'est opérée en présence d'engrais.

Deux possibilités existent alors pour expliquer la meilleure production d'une plante : soit que pour un même état physiologique une production soit meilleure, ce qui indique un potentiel de productivité plus élevé, soit qu'il y ait meilleure adaptation au sol, d'où meilleur état physiologique, d'où meilleure production. Par dénomination « potentiel de productivité » il faut entendre non pas un, mais plusieurs facteurs génétiques qui, en dehors de la nutrition minérale de la plante, règlent la production : plus ou moins grande formation d'hydrates de carbone pour un même taux de phosphore ou de potassium par exemple, plus ou moins grande aptitude à former des primordia floraux, etc... Par meilleure adaptation au sol il semble que l'on puisse se référer aux facilités d'absorption par une race donnée des différents éléments minéraux, soit de tous, soit de l'un favorisant particulièrement la production de la plante.

Pour des plantes autofertiles annuelles, cette question de l'adaptation au sol a été relativement facile à éliminer en faisant les essais en plusieurs stations où nécessairement les conditions de sol et de climat varient, et en apportant des engrais. Pour des plantes autostériles et pérennes comme le caféier Robusta, il est nécessaire de faire une multiplication par bouture, moins rapide, et il n'est pas toujours possible d'avoir un grand nombre de stations d'essai dans les Etats africains en voie de développement.

C'est pourquoi les recherches sur l'adaptation des variétés au sol, sur la facilité d'absorption des éléments minéraux, nous paraissent d'un intérêt non négligeable dans le cas des plantes arbustives pérennes, en milieu tropical à agriculture encore peu évoluée. Il y a vraisemblablement un intérêt scientifique et probablement agronomique à faire la dis-

tinction entre potentialités génétiques et conditions écologiques quelle que soit la complexité des relations réciproques.

IV. — DIFFÉRENCIATION DES CLONES

L'ensemble des travaux que nous avons effectués sur la nutrition minérale des clones de caféier Robusta ont eu lieu sur un essai de comparaison clonale comportant 8 répétitions de 15 clones avec 7 arbres pour chaque clone par parcelle élémentaire. Cet essai a été mis en place en 1956 par la Section de Génétique du centre de Boukoko.

Pour les premières mesures, seuls quatre clones ont été choisis. En même temps les analyses de sol ont été faites à raison d'un prélèvement par clone et par répétition, soit 32 échantillons en tout. Les moyennes des analyses de sol donnent des résultats figurant au tableau 2. Notons que pour une même parcelle, les différences de teneurs en éléments fins (20 à 30 % d'éléments fins) peuvent être tenues pour négligeables et seuls les cations échangeables ont de l'importance.

TABLEAU 2

Caractéristiques du complexe absorbant d'un sol supportant un essai clonal

Caractéristiques du sol	Clones n°			
	174	178	55	46
Calcium	4,83	3,64	4,56	3,32
Magnésium	0,57	0,57	0,55	0,47
Potassium	0,35	0,37	0,36	0,35
Mg/K	1,65	1,55	1,50	1,35

On se trouve en présence d'un sol appauvri et déséquilibré avec un rapport Mg/K trop faible. Nous aurons donc des caféiers manifestant une déficience en magnésium.

Les résultats d'analyse de diagnostic foliaire du 11 décembre 1958 pour chacun des quatre clones (moyenne des 8 répétitions) sont donnés dans le tableau 3 (sur tige de deux ans) (graphique 1).

Ces quelques chiffres montrent qu'il existe des différences non négligeables dans l'alimentation des clones, différences qui pourront peut-être expliquer en partie les variations de production. Ainsi le clone 46 qui présente des caractéristiques moyennes du sol plus mauvaises que le clone 174 parvient à avoir

TABLEAU 3

Diagnostic foliaire de quatre clones en essai comparatif de production (décembre 1958)

Nature de la détermination	Clones n°			
	174	178	55	46
Rapport poids sec/poids frais	32,2	33,3	34,2	31,45
Azote	3,01	3,15	2,94	2,84
Phosphore	0,12	0,14	0,14	0,13
Potassium	2,25	2,18	1,98	2,20
Calcium	1,27	1,37	1,44	1,45
Magnésium	0,18	0,22	0,26	0,22
(Ca + Mg)/K ...	0,65	0,74	0,86	0,76

une meilleure alimentation cationique, puisque le rapport (Ca + Mg)/K est de 0,76 au lieu de 0,65 pour le clone 174 (optimum de 0,90). Le clone 46 présente donc une bonne adaptation aux sols ayant un rapport Mg/K faible, de même que le clone 55. Le clone 174 est, lui, mal adapté à de tels sols et il ne pourra y développer toutes ses possibilités de productivité.

Donc, dans un terrain relativement homogène, compte tenu des huit répétitions, la nutrition minérale moyenne des clones d'une même variété (*C. canephora* var. *robusta*) peut présenter des variations sensibles.

V. — LES TYPES D'ALIMENTATION DES CLONES

Définition du type d'alimentation

Nous avons vu dans le paragraphe précédent qu'il était possible de mettre en évidence des différences de nutrition pour les clones en nous basant sur les moyennes. Il nous a paru intéressant de rechercher si toutes les valeurs obtenues pour un clone se groupaient selon certaines modalités. Le graphique n° 3 donne la dispersion des points représentatifs des huit répétitions pour chacun des quatre clones analysés. Il est évident qu'il existe une zone d'alimentation pour chacun des clones malgré l'homogénéité du sol. Selon les clones, il apparaît que la sensibilité aux qualités du sol n'est pas la même pour chacun des éléments. Ainsi le clone 174 présente toujours un rapport (Ca + Mg)/K faible, variant peu, de 0,55 à 0,72, du fait d'une forte absorption du potassium et de la faiblesse de celles du calcium et du magnésium, alors que sa teneur en azote varie beaucoup plus largement de 2,75 à 3,25 %. Au contraire, pour le clone 178, selon la composition du sol, le rapport (Ca + Mg)/K de la feuille

passé de 0,57 à 0,97, tandis que le taux d'azote reste compris dans les limites étroites de 3,10 à 3,30 % en général.

Il semble donc que selon le clone, il soit possible d'obtenir des plantes à alimentation cationique ou à alimentation azotée présentant une faible dispersion. Ceci représente un type d'alimentation, le niveau moyen jouant aussi un rôle.

Evolution du type d'alimentation

Cette caractérisation d'un type d'alimentation ne présente d'intérêt que si elle est durable. Nous avons donc comparé pendant trois années successives, de 1958 à 1960, la nutrition minérale des quatre clones. Les graphiques 4 et 6 comparés au graphique 1 montrent que l'évolution de la

TABLEAU 4

Diagnostic foliaire des clones en décembre 1959 (en pourcentage de matière sèche)

Déterminations	N° du clone			
	174	178	55	46
Azote	2,82	2,93	2,82	2,67
Phosphore	0,13	0,15	0,14	0,13
Potassium	2,62	2,29	2,37	2,42
Calcium	1,03	1,54	1,30	1,21
Magnésium	0,22	0,30	0,28	0,22
(Ca + Mg)/K ...	0,48	0,81	0,68	0,60

nutrition des clones reste parallèle, et que chaque zone d'alimentation reste placée dans la même position par rapport aux autres. Cependant, l'aire de dispersion peut augmenter et notamment pour les clones présentant une sensibilité au sol aussi bien pour la nutrition azotée que pour la nutrition cationique.

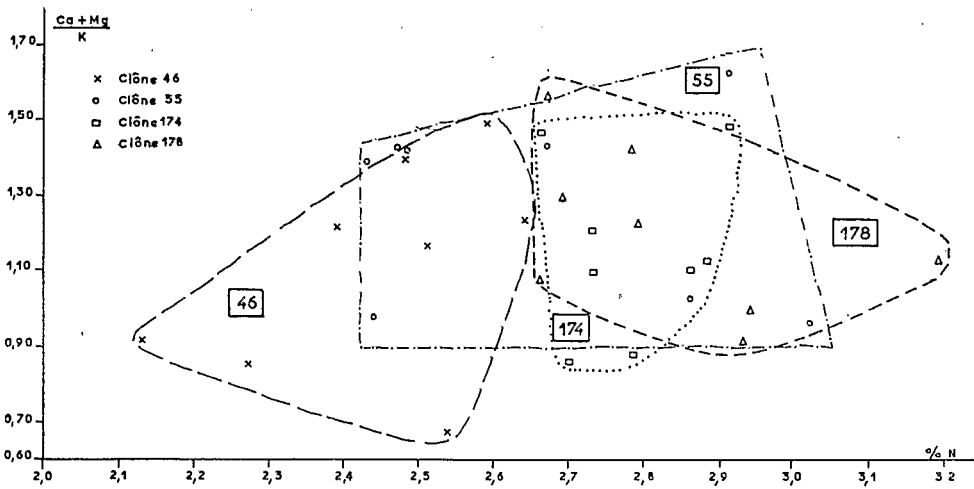
TABLEAU 5

Diagnostic foliaire des clones en décembre 1960 (en pourcentage de matière sèche)

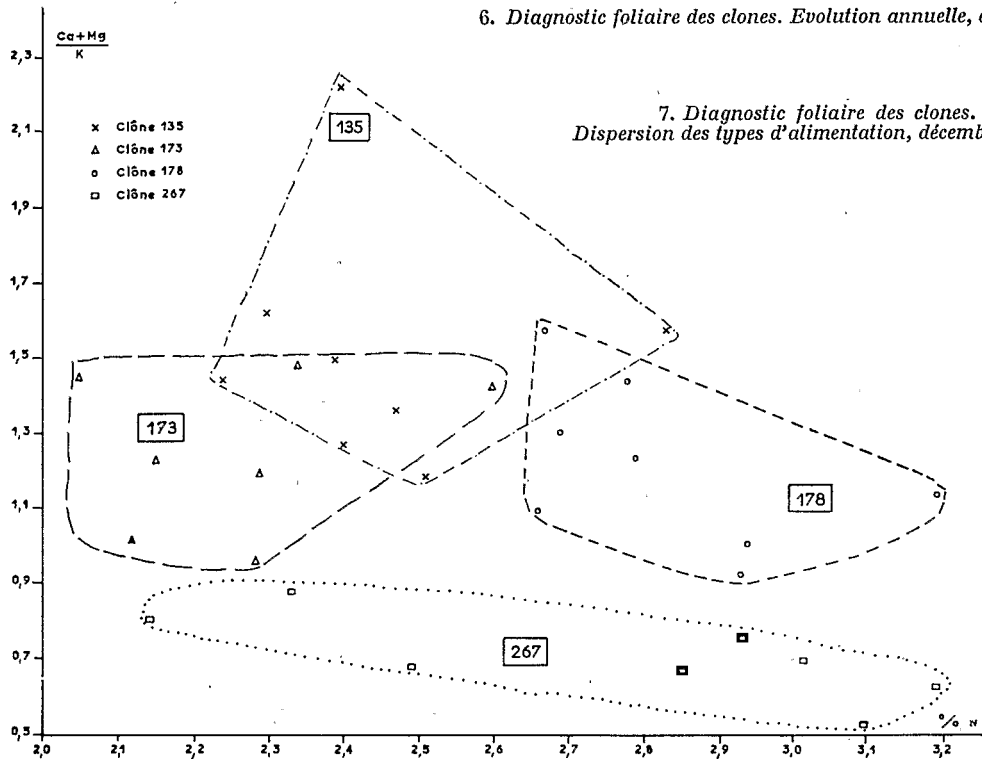
Déterminations	N° du clone			
	174	178	55	46
Azote	2,78	2,83	2,66	2,44
Phosphore	0,11	0,11	0,12	0,10
Potassium	1,80	1,92	1,71	1,89
Calcium	1,76	1,97	1,78	1,80
Magnésium	0,28	0,33	0,38	0,25
(Ca + Mg)/K ...	1,16	1,21	1,29	1,11

Amplitude des variations clones

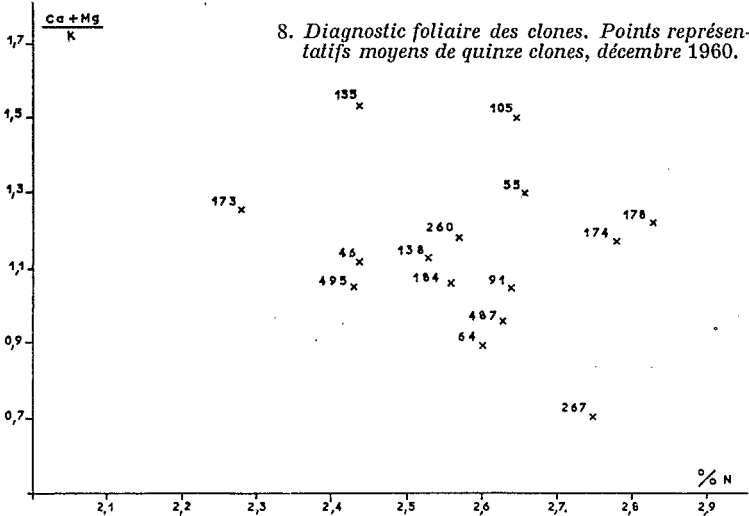
Les premiers résultats nous ayant montré l'existence des différences d'alimentation pour les clones se trouvant dans un même terrain, l'amplitude de



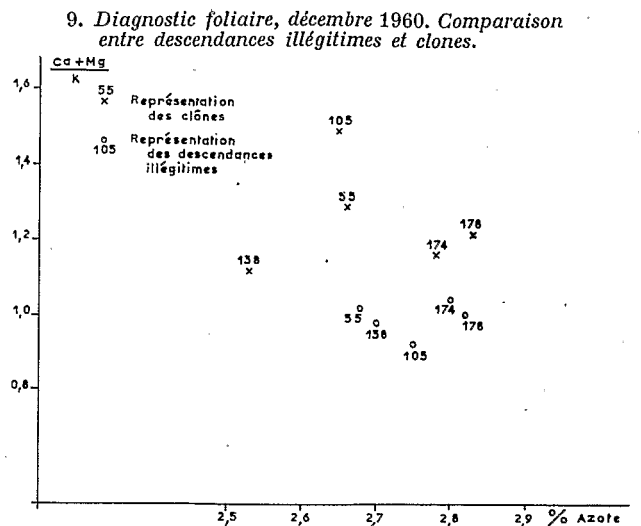
6. Diagnostic foliaire des clones. Evolution annuelle, décembre 1960.



7. Diagnostic foliaire des clones. Dispersion des types d'alimentation, décembre 1960.



8. Diagnostic foliaire des clones. Points représentatifs moyens de quinze clones, décembre 1960.



9. Diagnostic foliaire, décembre 1960. Comparaison entre descendance illégitimes et clones.

ces variations a pu être estimée en comparant les analyses de quinze clones, fin 1960. Les résultats soulignent que pour un même sol la nutrition des clones du caféier Robusta peut être très différente (graphique 8).

TABEAU 6

Diagnostic foliaire des clones en décembre 1960
(en pourcentage de matière sèche, moyenne de 8 répétitions)

Clone	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium	(Ca + Mg)/K
46	2,44	0,098	1,89	1,80	0,25	1,11
55	2,66	0,118	1,71	1,78	0,38	1,29
64	2,60	0,099	2,00	1,44	0,25	0,89
91	2,64	0,106	1,78	1,58	0,26	1,04
105	2,65	0,103	1,56	1,88	0,41	1,49
135	2,44	0,094	1,59	1,94	0,43	1,52
138	2,53	0,095	1,99	1,88	0,30	1,12
173	2,28	0,092	1,61	1,84	0,34	1,25
174	2,78	0,108	1,80	1,76	0,28	1,16
178	2,83	0,110	1,92	1,97	0,33	1,21
184	2,56	0,097	1,91	1,64	0,31	1,06
260	2,57	0,102	1,71	1,65	0,34	1,17
267	2,75	0,118	2,20	1,27	0,25	0,70
487	2,63	0,102	2,03	1,64	0,23	0,95
495	2,43	0,104	1,76	1,58	0,24	1,04

Ce tableau montre des valeurs extrêmes de 2,28 à 2,83 % pour l'azote, de 1,56 à 2,20 % pour le potassium, de 0,23 à 0,43 % pour le magnésium et des rapports (Ca + Mg)/K allant de 0,70 à 1,52.

Le graphique 7 qui représente les aires de dispersion les plus caractéristiques de quelques clones au point de vue type d'alimentation démontre que certains n'ont rien de commun.

VI. — NUTRITION ET PRODUCTIVITÉ DES CLONES

Le tableau 3 donnait les caractéristiques de la nutrition minérale de quatre clones jeunes, fin 58. Le tableau 7 donne les productions de ces mêmes quatre clones à la récolte 1959-1960 en kilogrammes de cerises fraîches.

TABEAU 7

Production en kg de cerises fraîches

Clone n°	Production par pied	Production par tige
55	3,81	1,20
46	3,80	1,03
178	3,13	1,00
174	1,56	0,46

Ainsi, la meilleure production du clone 55 et la production inférieure du clone 174 peuvent s'expliquer en partie par la différence dans la nutrition à partir d'un même terrain, donc par une meilleure adaptation au sol et non pas une meilleure potentialité de production, c'est-à-dire un rendement supérieur pour un même état physiologique.

Par ailleurs, si l'on compare la production des clones 55 et 46, nous observons que pour un sol plus défavorable, et un état physiologique sensiblement moins bon, le clone 46 présente une production par pied identique, mais inférieure par tige. Si l'on peut amener l'état physiologique du clone 46 à une valeur égale à celle du clone 55, on peut espérer obtenir une production par tige au moins égale et une production par pied nettement supérieure. En choisissant les trois meilleures productions de chacun des deux clones, on obtient des états physiologiques très voisins et dans ce cas, la production moyenne du clone 46 devient de 6,7 kg de cerises fraîches par pied et 1,85 kg par tige contre respectivement 5,0 kg et 1,61 kg pour le clone 55 (graphique 2).

TABEAU 8

Caractéristiques des trois meilleures répétitions des clones 55 et 46

Caractéristiques	Sol		Plante		
	Clone 46	Clone 55	Caractéristiques	Clone 46	Clone 55
Calcium	4,33	4,22	Azote	2,99	3,00
Magnésium	0,53	0,54	Potassium	2,18	2,04
Potassium	0,37	0,35	Calcium	1,57	1,45
Mg/K	1,40	1,6	Magnésium	0,23	0,26
			(Ca + Mg)/K	0,83	0,84

Ce dernier graphique montre donc que pour une sélection poussée aboutissant au clone, il existe des différences de production d'une famille à l'autre pour un même état minéral de la feuille du caféier. Ceci implique qu'il existe des différences de potentialité de productivité liées à des facteurs génétiques autres que ceux concernant la nutrition minérale. Ces facteurs peuvent être par exemple ceux régissant les relations entre les éléments minéraux et les différents mécanismes physiologiques de la plante.

Ce graphique montre aussi qu'une sélection, pour bien mettre en évidence les potentialités de productivité des plantes et faire le choix entre les clones, devrait se faire pour des nutriments minéraux équivalents. Sinon il est évident que l'on teste pour une bonne part l'adaptation au terrain.

Il est possible de donner les productions cumulées de 3 ans des divers clones analysés.

TABLEAU 9

Production cumulée sur 3 ans des différents clones
en kg de cerises fraîches par pied

Clone		Clone	
135	13,17	64	9,50
105	12,57	260	9,02
138	12,53	495	8,85
46	11,86	184	8,40
55	11,28	91	8,15
173	11,02	487	6,51
174	10,47	267	3,31
178	10,16		

On voit que les clones 173 et 178 ont une production peu différente. Or, le diagnostic foliaire met en évidence que le clone 173 a une nutrition azotée très faible (2,28 %) alors que le clone 178 a une bonne nutrition azotée (2,83 %) : il semble donc que le clone 173 devrait avoir des possibilités de production très supérieures à celles du clone 178, s'il devient possible d'améliorer sa nutrition azotée.

Ces raisonnements sur la production en fonction des états physiologiques supposent un principe : à l'intérieur d'une même espèce ou variété botanique l'état physiologique de la plante assurant la meilleure production reste toujours dans les limites définies pour l'espèce. Un tel principe ne pourra être démontré ou précisé qu'ultérieurement, lorsque les expériences clonales seront très nombreuses.

VII. — COMPARAISON ENTRE DESCENDANCE CLONALE ET DESCENDANCE ILLÉGITIME

Cette comparaison a porté sur 5 clones et 5 descendances illégitimes de 5 pieds-mères. Sa valeur exacte reste limitée, car les champs d'expérience

étaient différents. Les descendances clonales étaient implantées sur un terrain appauvri, les descendances illégitimes sur terrain non cultivé auparavant. Or, les différences d'alimentation ressortent d'autant mieux que le terrain est plus pauvre.

Le résultat de la comparaison montre que les différences existant entre clones issus de divers pieds ne se retrouvent pas dans les descendances illégitimes de ces mêmes pieds (graphique 9).

En conséquence, si l'on ne retrouve pas le même classement décroissant de productivité entre clones et descendances illégitimes, ceci peut provenir en partie du fait que les types de nutrition des descendances illégitimes ne sont pas aussi distincts l'un de l'autre que pour les clones.

VIII. — APPLICATIONS

Plusieurs applications agronomiques peuvent prendre leur origine dans les différences d'alimentation que nous avons mis en évidence pour les clones du caféier Robusta.

Dans les pays à agriculture encore peu évoluée, la sélection doit rechercher des clones ayant une bonne production, même dans des sols pas trop fertiles, sans qu'il y ait un apport d'engrais. Mais il peut exister quelques exploitations où les applications d'engrais sont possibles : au lieu de recommencer totalement la sélection, il serait peut-être préférable d'agir en prenant des clones ayant une bonne production moyenne au départ sans avoir une alimentation parfaite.

L'apport d'engrais améliorant nettement cette nutrition, il serait possible d'avoir une réponse aux engrais beaucoup plus intéressante que pour un clone ayant déjà un bon état physiologique au départ. C'est ainsi qu'avec l'application d'engrais, on peut espérer que le clone 173 donnera une production très supérieure au clone 178 auquel les engrais seraient moins profitables.

TABLEAU 10

Nutrition des clones et des descendances illégitimes issus de 5 pieds-mères
(en pourcentage de matière sèche)

N°	Descendances illégitimes						Clones					
	N	P	K	Ca	Mg	(Ca + Mg)/K	N	P	K	Ca	Mg	(Ca + Mg)/K
55 ..	2,68	0,113	2,12	1,84	0,29	1,02	2,66	0,118	1,71	1,78	0,38	1,29
105 ..	2,75	0,112	2,13	1,65	0,28	0,92	2,65	0,103	1,56	1,88	0,41	1,49
138 ..	2,70	0,107	2,17	1,83	0,26	0,98	2,53	0,095	1,99	1,88	0,30	1,12
174 ..	2,80	0,113	2,06	1,84	0,28	1,04	2,78	0,108	1,80	1,76	0,28	1,16
178 ..	2,82	0,117	2,10	1,80	0,28	1,00	2,83	0,110	1,92	1,97	0,33	1,21

Il serait également possible d'améliorer en partie la production du clone 173 en le greffant sur le clone 178, l'alimentation du porte-greffe se reflétant en partie sur celle du greffon. La comparaison entre descendance illégitime et descendance clonale montre qu'il y aurait probablement intérêt à ce que le porte greffe soit issu comme le greffon de boutures, et non pas de graines, pour garder parfaitement les propriétés d'adaptation au sol.

IX. — CONCLUSION

Entre les clones issus d'une même variété de caféiers (*Coffea canephora* var. *robusta*), il existe des différences de nutrition minérale très nettes, ces différences se conservent d'année en année. Chaque clone possède un type d'alimentation qui semble

CONCLUSION

Perfectly distinct differences in mineral nutrition are factual between clones of a same variety of coffee trees (*Coffea canephora* var. *robusta*) and such differences remain year after year. Each of these clones has a type of nutrition which seems constant. From these variations, one may explain, at least in part, the existing differences in yield.

One should, taking advantage of these findings, apply them to practical coffee tree fertilisation and grafting tests.

SCHLUSSERGEBNIS

Zwischen zwei aus einer selben Varietät, bzw. *Coffea canephora* var. *robusta* stammenden Klonen bestehen sehr scharfe Unterschiede in den Mineralnahrungsbedürfnissen, die jahrelang halten. Jeder Klon hat seine eigenen Nahrungsbedürfnisse und diese sind scheinbar konstant. Diese Abweichungen der Nahrungsbedürfnisse erklären wenigstens teilweise die Differenzen in der Produktivität.

Dem obigen Befund Folge gebend, würde es sich lohnen Pfropfen und Düngungsversuchen in den Kaffeeplantagen auszuführen.

CONCLUSION

Entre los clones de una misma variedad de cafetos (*Coffea canephora* var. *robusta*) existen unas diferencias de nutrición mineral muy marcadas que se conservan de un año a otro. Cada clon tiene un tipo de nutrición que parece constante. Estas variaciones en la nutrición de los clones permiten explicar en parte las diferencias de productividad. Basándose en estas observaciones podríanse estudiar experimentalmente los efectos de los abonos y de los injertos en la producción de los cafetos.

constant. Ces variations dans la nutrition des clones permettent d'expliquer en partie les différences de productivité. Plusieurs expériences pratiques sur les engrais, le greffage, mettant à profit ces observations, pourront être conduites sur caféier.

BIBLIOGRAPHIE

1. NYE (P. H.), FOSTER (W. N. M.). — Soil phosphate uptake and plant species. *Plant and soil*, juil. 1958, vol 9, n° 4, p. 338-352.
2. BOUYCHOU. — Les problèmes posés dans l'application du diagnostic physiologique et de ses conclusions. In « Nutrition minérale et engrais », Compte rendu du Colloque d'Abidjan, janvier 1959.
3. PREVOT (P.), ZILLER (R.). — Etude d'une carence en potasse et en azote sur palmier à huile au Dahomey. *Oléagineux*, juin 1957, vol. 12, n° 6, p. 369-376.



Relations entre l'alimentation du caféier Robusta et les caractéristiques analytiques des sols

J. FORESTIER

Ingénieur agricole,

*Chef de la section de chimie-pédologie du centre
de recherches agronomiques de Boukoko (R. C. A.)*

INTRODUCTION

Actuellement, en agriculture tropicale, l'amélioration de la production végétale se poursuit par la sélection, la mise au point des méthodes culturales et l'emploi des engrais. L'emploi des engrais est encore peu répandu, bien que certains succès spectaculaires aient déjà été obtenus par l'expérimentation, notamment l'emploi du potassium dans les sables côtiers du golfe de Guinée.

Le diagnostic foliaire a été particulièrement employé pour contrôler les expérimentations et des normes de nutrition minérale optimum ont été définies pour plusieurs plantes : caféier, palmier, arachide, cocotier. Par contre, les analyses de sol, pourtant fort nombreuses, ne servent pas encore de façon usuelle pour la détermination d'une formule de fumure précise, comme c'est le cas en pays tempéré.

L'étude que nous avons menée sur le caféier

Robusta avait donc pour but de **déterminer des normes de fertilité des sols des caféières en se servant du diagnostic foliaire comme guide ; ceci afin de pouvoir ultérieurement déterminer des formules d'engrais sur caféiers à partir des analyses de sol, dès le moment de la plantation, et de mieux connaître les terrains aptes à porter une culture caféière.**

Cette possibilité d'estimer la fertilité d'un sol, en se servant de l'analyse foliaire comme guide, a notamment été étudiée par LUNDEGARDH (1) ; ses conclusions sont favorables, mais il faut multiplier les précautions pour éviter les erreurs d'interprétation. Pour d'autres auteurs (2), il n'est pas possible d'admettre qu'il existe une relation directe simple entre la concentration des ions dans le sol et l'absorption par la plante, d'où l'impossibilité de prendre le diagnostic foliaire comme guide pour estimer la fertilité du sol.

MÉTHODES

Délimitation de l'étude

Cette recherche de la correspondance entre la fertilité des sols et la nutrition minérale de la plante peut aboutir soit à l'établissement de relations générales, permettant de prévoir l'alimentation de la plante à partir d'une analyse de sol, soit à la définition de la nutrition sur des sols ayant des caractéristiques pédologiques ou minéralogiques bien déterminées, soit à la connaissance des causes des nutriments anormaux et à leur correction.

Une telle recherche demande en principe l'analyse de nombreux échantillons, tant de sols que de feuilles, pris dans les conditions les plus variées afin d'éviter les cas particuliers dans l'établissement d'une relation générale, ces cas devant être étudiés seulement par la suite et devant se rattacher à la règle générale. Mais, en possession de très nombreux résultats analytiques, il paraît plus logique d'émettre une hypothèse de travail et de vérifier son exactitude, plutôt que d'essayer de dégager une relation générale sans guide particulier. Cette hypothèse de travail doit évidemment s'inspirer de recherches précédemment effectuées et des résultats publiés par ailleurs.

Diagnostic foliaire

Le diagnostic foliaire devant servir de guide, il devient nécessaire que cette méthode soit parfaitement au point, que toutes les influences agissant sur la nutrition minérale du caféier soient connues et que les zones optima de nutrition soient déterminées.

Cette connaissance du diagnostic foliaire du caféier Robusta existe et a fait l'objet d'une publication. Rappelons brièvement que les variations journalières sont éliminées en prélevant toujours à la même heure, que l'influence de la redistribution des éléments à l'intérieur de la plante est écartée en constituant des échantillons assez importants d'une feuille toujours en position identique. Les facteurs extérieurs climatiques (ensoleillement ou ombrage, pluviométrie, humidité du sol) sont connus et l'on en tient compte dans l'interprétation des résultats. Les facteurs cultureux agissent beaucoup sur l'alimentation azotée et il ne sera pas possible d'établir une relation précise entre cet élément et les caractéristiques du sol. Certaines influences propres à la plante sont connues et peuvent être évitées en constituant des séries homogènes, notamment pour l'étude de la nutrition calcique.

Les zones de nutrition optima ont été également

déterminées et seront rapportées à propos de chacun des éléments étudiés.

Caractéristiques analytiques des sols

L'étude que nous nous proposons n'était pas une étude pédologique des sols des caféières, mais une étude agrobiologique des caractères chimiques utiles à connaître pour la détermination future des besoins en engrais à partir d'une analyse de sol. Nous n'avons donc pas recherché tous les facteurs de croissance d'origine édaphique : nous savons que l'ensemble du profil serait alors important, mais surtout du point de vue physique, car les conditions de drainage, de rétention en eau, de compacité ont une action directe sur le développement et la production du caféier. Nous avons estimé, à la suite de plusieurs observations, que pour l'étude des macroéléments, seule la couche superficielle était importante et qu'il y avait un certain nombre d'avantages à ne considérer que cette couche de sol dans notre étude chimique. En effet, la culture du caféier Robusta est généralement pratiquée en région forestière. Or, dans les sols forestiers, la couche humifère est très mince et ne dépasse pas cinq centimètres le plus souvent (3). Il s'agit de la zone la plus riche et souvent un prélèvement plus épais ne représente qu'une image atténuée de la couche superficielle : les différences analytiques sont estompées et l'interprétation risque d'être moins nuancée. De plus, les racines servant à la nutrition du caféier se trouvent toujours dans la couche superficielle du sol : dans les vieilles caféières où le sol n'est pas remué, il existe dans les tout premiers centimètres du sol un lacs de racines et de racines difficilement pénétrable. C'est donc dans la zone superficielle la plus riche que se nourrit le caféier et c'est la richesse de cette zone qu'il importe de bien connaître.

Hypothèse de travail

La nutrition minérale de la plante est conditionnée par la plante elle-même et par la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. En ce qui concerne la plante, pour cette étude, nous nous limitons à une variété bien définie : le *Coffea canephora* var. *robusta* et toutes les mesures sont faites sur des descendances illégitimes.

Pour la disponibilité des éléments minéraux, nous avons estimé qu'elle était conditionnée par

deux facteurs : d'une part les réserves pouvant facilement venir en solution, ce qui correspond aux teneurs en éléments échangeables pour le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium, d'autre part la capacité de libération de l'élément par le sol, c'est-à-dire le potentiel chimique de cet élément (ou inverse de l'énergie de liaison et du potentiel capillaire). Cette disponibilité des éléments dans le milieu étant définie, interviennent alors les équilibres entre éléments ou interactions.

Donc, pour établir nos relations entre la nutrition minérale du caféier et les caractéristiques du sol, il nous faudra évaluer la nutrition de la plante, déterminer les réserves de l'élément, obtenir une mesure de la capacité de libération et tenir compte des interactions entre éléments.

Cette hypothèse de travail que nous avons formulée au début de l'expérimentation (4) s'appuyait sur les théories de SCHOFIELD (5) pour le phosphore, sur les résultats expérimentaux d'auteurs anglais (6), qui estimaient qu'on ne peut expliquer la facilité d'assimilation du phosphore par les plantes que par les notions de potentialité (réciproque de S, S étant la sorption de l'élément phosphoré) et de réserves assimilables (« A value » de Dean) ; sur les premiers résultats des travaux de BLANCHET (7), qui trouve une très bonne corrélation entre le rendement en foin par coupe et par hectare et le produit du phosphore isotopiquement dilué en 15 minutes (mesure de la capacité de libération) par le phosphore contenu dans un litre de solution dans un extrait sol/eau = 1/4 (mesure représentative des réserves). C'est ainsi que BARBIER (8) écrivait plus récemment que les meilleures méthodes donnant la nutrition de la plante ou permettant le diagnostic des besoins en engrais phosphorés allieraient la mesure des quantités des ions actifs à celle de leur disponibilité et citait la méthode combinatoire de BLANCHET.

Notre hypothèse de travail étend donc le principe admis pour le phosphore aux autres éléments : calcium, magnésium, potassium et tient compte, en outre, des interactions.

Nous avons vu que nous appelions réserves ou masse des réserves d'un élément à un moment donné uniquement les ions échangeables ou autodiffusibles de cet élément, l'autodiffusion étant « l'ensemble des mouvements spontanés et permanents de particules diffusibles se compensant statistiquement dans un milieu de concentration ou d'activité uniformes, c'est-à-dire ne modifiant pas la distribution moyenne de la substance dans l'espace » (BARBIER, 9).

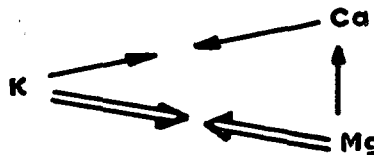
Pour le calcium, le magnésium et le potassium, il a été facile de déterminer les bases échangeables des sols. Pour le phosphore, cela n'était pas possible et nous avons dû doser le phosphore dit « assimilable ». Beaucoup des méthodes actuellement employées pour doser le phosphore dit « assimilable » correspondent le plus souvent au dosage d'une fraction

du phosphore échangeable. On peut admettre qu'à l'intérieur d'un groupe de sol, sols latéritiques par exemple, pour lequel le régime hydrique, la température et diverses caractéristiques du complexe absorbant sont similaires, le taux de phosphore « assimilable » dosé par une certaine méthode est une fonction du taux du phosphore échangeable, fonction qui n'est pas nécessairement rectilinéaire.

La connaissance de la capacité de libération d'un élément par le sol se traduit soit par la mesure directe du potentiel, soit par la mesure d'une conséquence de ce potentiel, soit par la mesure des facteurs déterminant cette capacité. Nous avons dû éliminer la mesure directe du potentiel et la mesure d'une conséquence (vitesse de libération par exemple) et nous adresser à la mesure des différents facteurs déterminant la capacité de libération, ou d'un effet global de ces facteurs. L'effet global répondant le mieux aurait été la capacité de sorption du sol pour l'élément considéré : elle est en effet fonction de la plupart des facteurs agissant sur la capacité de libération du sol : taux de l'argile ou des éléments fins (argile, limon et autres colloïdes tels les sesquioxides), nature de l'argile (montmorillonite, kaolinite, illite). Nos travaux sur la sorption du phosphore dans les sols latéritiques (10) nous ont montré la grande difficulté qu'il y avait à mesurer cette capacité de sorption. Les facteurs affectant la capacité de libération étant nombreux, il est évident que la détermination de chacun des facteurs et de son influence est plus longue et que, les causes d'erreur s'additionnant, les résultats sont moins précis. Nous avons dû nous borner à la mesure d'un seul facteur, celui de la teneur en éléments fins du sol, estimant qu'en travaillant uniquement dans les sols latéritiques, nous serions presque toujours en présence d'une argile à capacité de saturation relativement homogène. Nous avons d'ailleurs déjà choisi ce facteur dans une précédente étude (11).

Pour tenir compte des proportions relatives de chacun des éléments, il sera vraisemblable que ce sont les valeurs extrêmes qui apporteront des perturbations dans l'alimentation de la plante par rapport aux disponibilités du sol. Il est même possible que, pour certains éléments, l'antagonisme soit primordial et ait plus d'importance dans la recherche d'une relation que le taux d'éléments échangeables.

La nutrition de la plante est évaluée par la méthode du diagnostic foliaire et, pour le caféier Robusta, les antagonismes entre cations peuvent se résumer ainsi (12) :



C'est-à-dire qu'il existe un antagonisme entre le potassium et le calcium et que l'un des éléments peut remplacer l'autre s'il est insuffisant. L'antagonisme entre magnésium et potassium est très poussé et la diminution du taux de l'un des éléments entraîne presque sûrement l'augmentation du taux de l'autre. Enfin, le magnésium peut remplacer le calcium, mais le calcium ne remplace pratiquement pas le magnésium.

Les prélèvements de feuilles et de sols

Pratiquement, les prélèvements de feuilles de caféiers et de sols de caféières ont été effectués de la façon suivante : les échantillons de sol ont été ramassés en juin et juillet 1958 en République Centrafricaine dans la région de la Lobaye, où il existe une gamme de sols allant des terrains très sableux aux sols les plus argileux, bien que ces derniers soient en moindre importance. Nous avons ainsi prélevé 218 échantillons répartis dans des plantations situées le long d'environ 300 kilomètres de route. Nous avons choisi de préférence des plantations de trois et quatre ans dont l'entretien n'était pas complètement négligé. A l'intérieur de chaque plantation, l'échantillonnage a été fait sur une zone bien déterminée correspondant à 30 ou 50 caféiers, en évitant toujours la présence des termitières. La profondeur de prélèvement était fixée à 0-7 cm et un échantillon était constitué par le mélange de 25 prélèvements pour environ 250 m², afin de tenir compte de l'hétérogénéité du sol.

Les échantillons de feuilles ont été prélevés sur les caféiers des mêmes parcelles entre le 11 et

le 29 décembre 1958, avec interruption des prélèvements entre le 13 et le 18 décembre par suite d'une pluie : la période de prélèvement des échantillons de feuilles a été raccourcie le plus possible, afin d'avoir des échantillons se trouvant à une période comparable de leur métabolisme. L'échantillonnage a toujours été fait entre 8 h et 11 h du matin sur un groupe de 48 arbres et intéresse la troisième paire de feuilles à partir de l'extrémité des rameaux fructifères. La relation entre les analyses de sol et celles des feuilles pourra être recherchée, les variations des éléments de la fertilité étant assez lentes dans les sols et en tout cas peu sensibles pour une période de six mois dans un sol non remué.

Nous avons ainsi :

44 échantillons venant de parcelles plantées en 1956,

58 échantillons venant de parcelles plantées en 1955,

47 échantillons venant de parcelles plantées en 1954,

36 échantillons venant de parcelles plantées en 1953,

33 échantillons venant de parcelles plantées en 1952 ou antérieurement, certaines datant d'une trentaine d'années.

Nous avons vérifié que le rapport médian poids sec/poids frais n'était pas très différent pour chaque classe d'âge afin que le raisonnement effectué sur les données en pourcentage de matière sèche ne soit pas entaché d'erreurs. Dans cette étude, les causes de variation autres que l'âge sont telles que le rapport médian reste presque toujours à la même valeur bien que la distribution ne soit pas homogène pour chaque classe d'âge (13).

RELATIONS GÉNÉRALES

Par relations générales, nous entendons exprimer le phénomène qui relie le plus fréquemment les caractéristiques du sol au taux de nutrition minérale de la plante, que cette relation soit simple ou qu'elle englobe des antagonismes. Les autres cas moins fréquents ne constitueront que des cas limites ou spéciaux, complémentaires de la relation générale utilisée, comprenant aussi bien des rapports éléments échangeables/caractères physiques que des antagonismes entre éléments.

Azote

Il n'a pas été possible de mettre au point une relation générale entre la nutrition azotée de la plante et les caractéristiques analytiques du sol : azote

total, rapport C/N, taux de matières organiques. En effet, trop de facteurs influent sur la nutrition azotée du caféier : nature de la végétation avant défrichement, ombrage, plante de couverture, carence ou toxicité en un autre élément, richesse chimique du sol, caractères hydriques du sol. Si l'on élimine l'un après l'autre les facteurs perturbant l'alimentation azotée sans retentir sur les trois caractères des sols retenus, les groupes de résultats restants sont trop insuffisants en nombre pour obtenir une relation un peu précise. On ne peut songer à prendre tous les résultats ensemble, car les facteurs ayant de l'influence sur l'alimentation azotée n'ont pas une influence parallèle sur le taux d'azote total du sol, ou sur le rapport C/N, ou sur le taux de matière organique (tabl. I).

TABLEAU I

Effet de différentes couvertures sur certaines caractéristiques du sol

Couverture	C/N		Azote total % terre fine	
	Après forêt	Après savane	Après forêt	Après savane
<i>Pueraria</i>	10,8	12,9	0,173	0,149
<i>Paspalum</i>	10,4	11,7	0,137	0,159
« Clean weeding ».	11,2	12,1	0,138	0,140

Avant d'établir une telle relation entre la nutrition azotée du caféier et le sol, il faudra trouver une caractéristique analytique du sol sur laquelle les facteurs agissent d'une façon similaire à leur action sur la nutrition du caféier. Il est vraisemblable qu'il s'agira d'une notion se rapportant à l'azote assimilable du sol tel que l'azote minéral ammoniacal ou nitrique, ou l'azote minéralisable. Ce n'est que dans certains cas extrêmes que l'on peut indiquer une mauvaise nutrition azotée : un taux de matière organique trop élevé par rapport à la fertilité chimique et à la composition mécanique indique une mauvaise décomposition de la matière organique et donc probablement une mauvaise nutrition azotée ; un second exemple est celui des cultures après une savane épuisée.

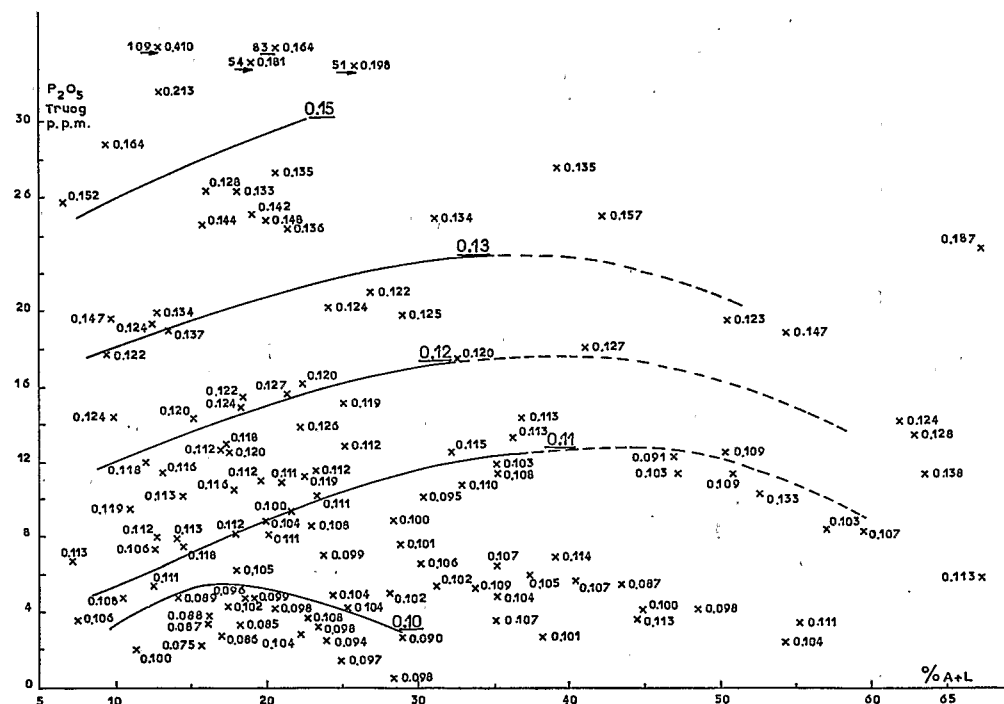
Phosphore

Pour le phosphore, il nous a été possible d'établir un graphique permettant de prévoir l'alimentation en phosphore du caféier en fonction du taux de phosphore acidosoluble du sol (méthode TRUOG) et de la teneur en éléments fins de ce sol. Ce graphique 1 met particulièrement en évidence la grande importance de la composition mécanique du sol pour interpréter correctement les résultats de dosage du phosphore acidosoluble du sol (les chiffres sont exprimés en P_2O_5 acidosoluble dans le sol et en P dans la feuille).

Tant que les sols restent sableux ou sablo-argileux, c'est-à-dire jusqu'à 30-35 % d'éléments fins, pour avoir un même taux de phosphore dans la feuille de caféier, il faut d'autant plus de phosphore acidosoluble dans le sol que le sol contient plus d'éléments fins. Ainsi, si l'on peut avoir un taux de phosphore de 0,11 % P dans la feuille en décembre avec 6 ppm d'anhydride phosphorique acidosoluble dans un sol à 7 % d'éléments fins, il faut un minimum de 12 ppm si le sol contient 35 % d'éléments fins. Ceci montre le rôle que doit jouer la vitesse de libération du phosphore acidosoluble du sol, laquelle diminuerait lorsque le sol contient plus d'éléments fins, pour un même taux de phosphore acidosoluble dosé.

Au-delà de 35 % d'éléments fins, on obtient des

GRAPH. 1. — Relation entre le phosphore acido-soluble du sol et la nutrition en phosphore du caféier Robusta



nutritions équivalentes en phosphore lorsque le taux d'éléments fins du sol augmente et que le taux de phosphore acidosoluble diminue. Ainsi, pour 60-65 % d'éléments fins, on peut avoir un taux de 0,12 % de phosphore dans la feuille pour environ 13 ppm d'anhydride phosphorique acidosoluble, alors qu'à 35 % d'éléments fins, il fallait un minimum de 17 ou 18 ppm. Ceci peut s'expliquer de deux façons différentes : soit que la méthode TRUOG, utilisée pour le dosage du phosphore acidosoluble, n'extraie qu'imparfaitement le phosphore acidosoluble du sol, ce qui est possible (refixation partielle par les sesquioxydes malgré une durée d'agitation très courte — 10 —), soit que le taux de phosphore acidosoluble extrait corresponde à une réserve d'éléments assimilables plus importante (non proportionnalité entre masse des réserves et fraction dosée). A ce propos, BLANCHET (14) a montré que la mobilité des ions P demeure forte dans les sols tropicaux à évolution latéritique et il a conclu que dans les sols tropicaux riches en hydroxydes métalliques, la quantité d'ions en solutions est très faible, mais les réserves isotopiquement et rapidement diluables sont élevées.

Le graphique I que nous avons établi est valable pour les niveaux de nutrition de décembre. On peut admettre qu'au-dessous de la ligne 0,11 % on a une nutrition trop faible, qu'entre 0,11 et 0,13 % elle est moyenne et qu'entre 0,13 et 0,15 % elle est bonne. Au-dessus de 0,15 %, il y a une consommation excessive correspondant le plus souvent à une alimentation anormale. Il est certain qu'au début de la saison des pluies, pour des taux de phosphore acidosoluble équivalents, on aurait des niveaux de phosphore supérieurs : ainsi le niveau 0,11 % serait remplacé par le niveau 0,125 ou 0,13 % par exemple.

Ce graphique ne donne la nutrition en phosphore en fonction des caractéristiques du sol que pour des conditions normales de développement. Il devient inutilisable lorsque des conditions extérieures au sol influent sur la nutrition en phosphore. C'est le cas de l'ombrage qui augmente de 10 à 15 % le niveau de phosphore dans la feuille par rapport à ce que laissent prévoir les caractéristiques du sol. On a ainsi un taux de 0,12-0,13 % de P au lieu de 0,11 pour 25 % d'éléments fins et 12 ppm d'anhydride phosphorique acidosoluble dans le sol.

Assez fréquemment, alors qu'intervient notamment une carence poussée en un élément, le taux de phosphore peut être très modifié et ne plus être en relation avec les caractéristiques du sol.

Potassium

Avec la recherche des relations entre la nutrition en potassium de la plante et les caractéristiques du sol, nous commençons l'étude de l'un des trois

éléments cationiques dont les interactions avec les deux autres sont très importantes pour assurer une bonne production du caféier.

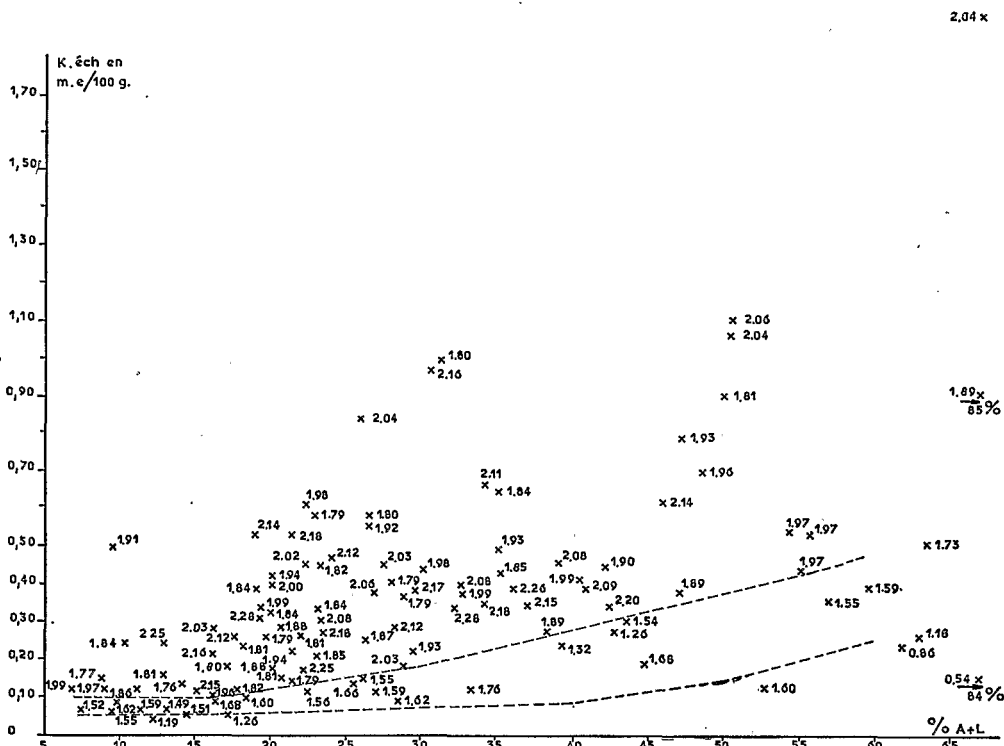
Pour définir les niveaux de bonne alimentation potassique, nous nous basons sur les données concernant la nutrition des groupes de caféiers ayant fourni les plus fortes productions. Ainsi, la nutrition potassique pour un diagnostic foliaire effectué au début de la saison sèche, avant la floraison, doit être comprise entre 1,80 et 2,20 % de potassium dans la matière sèche, se rapprochant de 2,20 % pour les caféiers les plus jeunes et de 1,80 % pour les caféiers les plus âgés. Nous estimons ensuite qu'entre 1,50 et 1,80 % de potassium dans la feuille, il y a une déficience plus ou moins accentuée en cet élément, selon le taux, et d'autant plus accentuée pour un même taux que le caféier est plus jeune. Au-dessous de 1,50 % nous pensons qu'il existe déjà une déficience grave, car la production diminue déjà très sensiblement et il y a carence au-dessous de 1,20 %. Il y a excès au-delà de 2,20 %.

Le pourcentage de potassium dans le complexe absorbant étant généralement faible, et le caféier Robusta étant cependant avide de potassium, nous avons estimé en première approximation, dans la recherche d'une relation entre le potassium échangeable du sol et le taux de potassium de la feuille, que les interactions des autres éléments ne pouvaient qu'être relativement secondaires. C'est pourquoi nous n'avons pris en considération pour établir notre relation que deux caractéristiques du sol : le taux de potassium échangeable du sol et la teneur en éléments fins des sols.

Des travaux déjà publiés par divers auteurs (14) (15) (16) (17), il ressort qu'il n'existe pas de bonne corrélation entre le potassium échangeable du sol et l'absorption de cet élément par les plantes, que la nature de l'argile et le pourcentage du potassium parmi les autres cations sont très importants, d'où l'emploi des rapports K/S, K/T et même K/Ca.

Le graphique 2 montre la relation que nous avons obtenue : la nutrition potassique du caféier est bonne lorsque le taux de potassium échangeable est supérieur à 0,10 m. é. pour 100 g de terre sèche avec 10 % d'éléments fins, 0,12 m. é. pour 20 % d'éléments fins, 0,20 m. é. pour 30 % d'éléments fins, 0,40 m. é. pour 55 % d'éléments fins, 0,50 m. é. pour 65 % d'éléments fins. Nous n'avons pas trouvé de taux de potassium du sol pour lesquels il y ait un excès de nutrition potassique, même avec 1,90 m. é. de K échangeable pour 100 g de sol, si les autres cations calcium, magnésium sont représentés à des taux suffisants dans le sol et si aucun oligoélément n'est absent. Pour des valeurs moindres du potassium échangeable du sol, nous trouvons une zone où la nutrition potassique du caféier évolue entre 1,50 et 1,80 %. La limite inférieure de cette zone se situe vers 0,05 m. é. de potassium échangeable

GRAPH. 2. — Relation entre le potassium échangeable des sols et la nutrition potassique du caféier



pour 10 % d'éléments fins, 0,10 m. é. pour 35 % d'éléments fins et 0,40 m. é. pour 70 % d'éléments fins. A des valeurs inférieures du taux de potassium échangeable, le caféier a une nutrition potassique très carencée comme par exemple 0,54 ; 0,86 ; 1,18 % de K dans la feuille.

Loué (18) avait noté également que des teneurs de 0,04-0,05 m. é. de potassium échangeable en sols sableux provoquaient une très grave déficience potassique du caféier.

Observons que les valeurs que nous trouvons sur le même ordre de grandeur que celles fixées par VALLANCE (19) pour la culture de la canne à sucre en Australie dans les sols très lessivés et acides, surtout en ce qui concerne les limites inférieures :

moins de 0,1 m. é. de K pour 100 g de terre	valeur très basse
0,10-0,12 m. é. ou K inférieur à 2 % de S.....	valeur basse
0,12-0,18 m. é. et K supérieur à 2 % de S.....	valeur moyenne
plus de 0,18 m. é. K.....	valeur élevée

Ce premier graphique établi, il est apparu que des exceptions existaient. En effet, le taux de potassium échangeable dont nous tenons compte en fonction du taux d'éléments fins ne représente que le taux de saturation du sol en potassium et donne une estimation des possibilités de désorption du potassium échangeable par le sol. Il devient néces-

saire alors de rechercher les proportions relatives des trois cations échangeables K-Ca-Mg entre eux et de porter principalement attention aux valeurs extrêmes de ces proportions où les interactions ont le plus de chances d'être mises en évidence. Pour cela, nous nous servons du pourcentage de potassium échangeable par rapport à la somme S des trois bases échangeables K, Ca, Mg. C'est ainsi que, pour des pourcentages compris entre 2,5 et 11 %, il n'y a pas d'action notable sur la nutrition potassique du caféier telle qu'elle peut être prévue par le taux de potassium échangeable et la teneur en éléments fins. Par contre, il existe un abaissement de la nutrition potassique, qui peut être estimé à 0,30 % de K pour 100 g de matière sèche en dessous de 2 % de K échangeable et à 0,15-0,25 % de K entre 2,1 et 2,5 % de K échangeable. D'une façon similaire, au-dessus d'une proportion de potassium échangeable de 11 %, la nutrition potassique du caféier est accrue par rapport à ce que laissent prévoir le taux de potassium échangeable et la teneur en éléments fins du sol. Cet accroissement est de l'ordre de 0,20 % de K entre 11 et 13 % de potassium échangeable et de 0,25-0,30 % entre 13 et 17 % de potassium échangeable. Cette notion de l'importance de la proportion de potassium échangeable du sol par rapport aux autres éléments échangeables permet d'expliquer une vingtaine de cas de nutrition potassique exceptionnelle sur les 218 échantillons étudiés.

On peut ainsi montrer qu'un taux normal de nutrition potassique (2,08 %) du caféier, dans la zone où on devrait avoir une nutrition insuffisante estimée à 1,70 %, est provoquée par une teneur en potassium échangeable anormalement élevée par rapport aux autres cations échangeables (14,1 % de la somme des bases échangeables). Il semble que les différents effets jouant sur la nutrition potassique du caféier puisse s'additionner algébriquement.

Magnésium

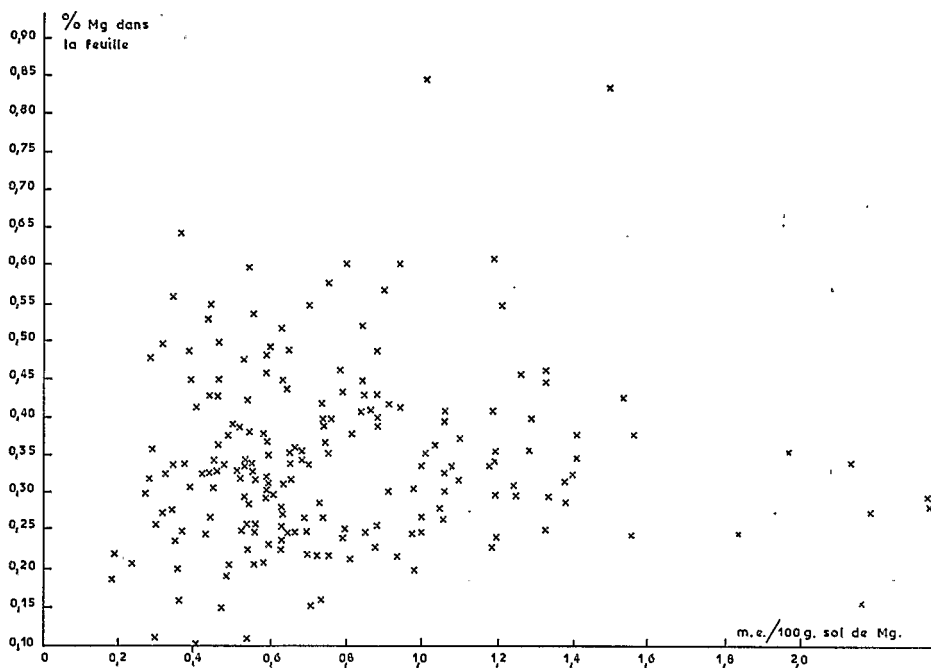
Avant d'établir toute relation entre les caractéristiques du sol et la nutrition magnésienne du caféier, il était nécessaire de déterminer les taux de magnésium dans la feuille pour lesquels la nutrition en cet élément peut être dite bonne. Comme pour le potassium, nous nous sommes servis des résultats de diagnostic foliaire mis en relation avec les bonnes productions de café. C'est ainsi que la zone d'alimentation convenable correspond à un taux de magnésium compris entre 0,29 et 0,36 pour cent grammes de matière sèche dans la feuille.

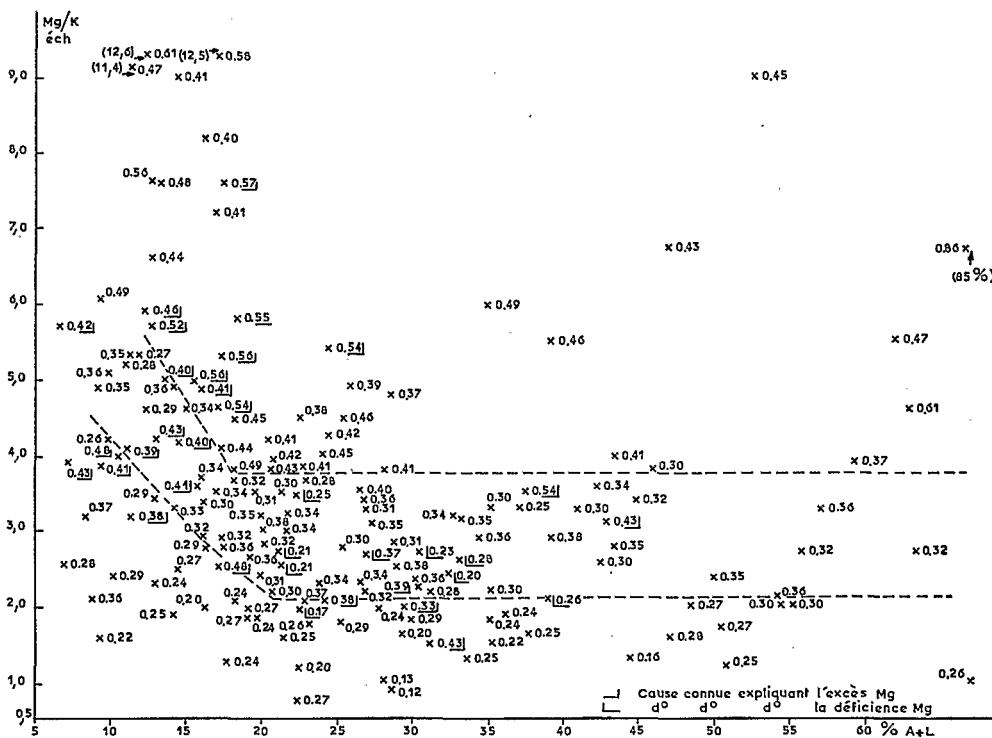
Un premier essai de corrélation ne tenant compte que du taux de magnésium échangeable du sol a montré qu'il n'y avait aucune relation directe simple entre le magnésium échangeable et la nutrition magnésienne du caféier (graphique 3). Un second essai prenant en considération le taux de

magnésium échangeable et la teneur en éléments fins du sol ne donne pas de relation se dégageant facilement, les exceptions étant particulièrement nombreuses. Or, on a souvent montré que l'abondance de potassium assimilable dans le sol conduit à une carence en magnésium, même si le taux de magnésium échangeable est bon (20), et que la nutrition foliaire en magnésium était en corrélation étroite avec le rapport K/Mg échangeable du sol (21) (22). Nous basant donc sur l'antagonisme existant entre K et Mg pour régler la nutrition du magnésium dans la plante en général, nous avons été amenés à établir notre relation générale pour le magnésium en nous servant de la teneur en magnésium de la feuille d'une part et, outre la teneur en éléments fins du sol, du rapport Mg/K échangeables du sol d'autre part.

Le graphique 4 que nous établissons alors ne présente des exceptions qu'en nombre limité. Il montre que l'on obtient une bonne nutrition magnésienne pour un rapport Mg/K échangeables dans le sol compris entre 2,1 et 3,7, pour une teneur en éléments fins supérieure à 18 %. Si le sol contient moins de 18 % d'argile et limon, une nutrition magnésienne convenable s'obtient pour des rapports Mg/K pouvant être plus élevés, d'autant plus que le sol est plus sableux. Ceci tend à prouver que le potassium est plus largement assimilé et stocké par le caféier lorsque le sol devient très léger et est bien drainé. Ce phénomène est probablement en relation avec l'économie de l'eau dans la plante.

GRAPH. 3. — Absence de relation entre le magnésium échangeable du sol et la nutrition magnésienne du caféier





GRAPH. 4. — Nutrition magnésienne du caféier en fonction des bases échangeables et de la teneur en éléments fins

Nous verrons en effet plus loin que dans les sols à tendance hydromorphique, le potassium est moins bien assimilé que dans les sols normalement drainés.

En dehors des limites fixées pour la zone de bonne nutrition, avec des sols contenant plus de 18 % d'éléments fins, il a été possible de distinguer une zone de déficience légère où le taux de magnésium dans la feuille varie entre 0,25 et 0,29 % pour les rapports Mg/K échangeables compris entre 1,5 et 2,1. Au-dessous d'un rapport Mg/K égal à 1,5 la déficience en magnésium risque d'être très grave. Des données de la littérature confirment l'existence d'un seuil pour Mg/K voisin de 2,0 pour d'autres plantes et notamment le palmier à huile (23).

Au contraire, pour des rapports Mg/K compris entre 3,8 et 5,0, l'excès de magnésium correspond à une déficience légère en K. Au delà d'un rapport de 5,0, la déficience en K paraît devoir être très grave.

Pour expliquer un certain nombre d'exceptions et notamment des nutriments magnésiennes très faibles pour des rapports Mg/K échangeables des sols correspondant théoriquement à de bonnes nutriments magnésiennes, il est nécessaire de tenir compte du taux de magnésium échangeable par rapport au taux d'éléments fins. En effet, si ce taux est trop faible, la nutrition magnésienne est insuffisante quel que soit le rapport Mg/K. C'est ainsi qu'un taux de 0,30 m. é. de magnésium échangeable

pour 25 % d'éléments fins est insuffisant pour assurer une nutrition magnésienne normale du caféier.

Accessoirement, la nutrition magnésienne étant sous l'étroite dépendance de l'antagonisme K/Mg, il semblerait que le rapport optimum K/Mg dans la feuille soit conditionné par le rapport Mg/K échangeables du sol. Nous avons vérifié que pour les limites précédemment établies de Mg/K échangeables allant de 2,1 à 3,7, le rapport optimum K/Mg dans la feuille du caféier Robusta varie entre 4 et 7,5. Il est inférieur à 4 si Mg/K échangeables dépasse la valeur 3,7 et supérieur à 7,5 si Mg/K échangeables est en dessous de la valeur 2,1.

Calcium

En se basant sur la nutrition calcique des caféiers les meilleurs producteurs, il apparaît que la dispersion des taux de calcium des feuilles est beaucoup plus importante que pour le potassium ou le magnésium. Il est déjà possible de limiter la variation en tenant compte de l'âge des caféiers. Il semble alors que les niveaux préférables de nutrition calcique puissent être :

- 1,35 à 1,55 % pour les caféiers de 3 ans
- 1,55 à 2,00 % pour les caféiers de 4 ans.

Pour des caféiers plus âgés, nous n'avons pas obtenu suffisamment de résultats pour donner des limites d'alimentation calcique optimum du caféier. Comme il existe également un antagonisme K-Ca, nous avons cru préférable pour établir nos graphiques de l'alimentation calcique en fonction des caractéristiques du sol, de nous servir du taux d'éléments fins du sol et du rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$. Le rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$ a été choisi de préférence à Ca/K du fait que pour les taux très bas de potassium, le magnésium peut être absorbé au même titre que le calcium dans la feuille.

Les graphiques 5, 6, 7, 8 montrent qu'au-dessous d'une courbe passant par les valeurs du rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$ échangeables de 24, 21, 18, 15, 13 et 12

pour des taux d'éléments fins s'élevant respectivement à 10, 20, 33, 42,5, 60 et 70 %, la nutrition en calcium devient probablement insuffisante, c'est-à-dire qu'elle est inférieure à :

- 1,35 % pour les caféiers de 3 ans
- 1,55 % pour les caféiers de 4 ans
- 1,70 % pour les caféiers de 5 ans
- 1,90 % pour les caféiers de 6 ans.

Au-dessus de la courbe précédemment définie, la nutrition calcique est suffisante. Il est possible de trouver les taux excessifs de calcium aussi bien au-dessous qu'au-dessus de la courbe lorsqu'il existe des carences en potassium que ne laisse pas prévoir le simple examen des taux des bases échangeables dans le sol.

LES INTERACTIONS

Dans le précédent chapitre, nous avons étudié principalement les relations générales existant entre les caractéristiques des sols et la nutrition des caféiers, en nous attachant particulièrement à définir les zones optima de nutrition. Ce faisant, nous avons vu qu'il existait des carences ou des toxicités, ou même des exceptions à la règle principale. Nous nous proposons dans ce chapitre d'étudier spécialement ces nutriments anormaux qui mettent en cause principalement l'importance des équilibres entre cations et de définir des seuils valables pour situer l'importance des carences et des toxicités.

Azote et phosphore

Nous connaissons déjà pour l'azote et le phosphore l'influence des facteurs culturels tels que plantes de couverture et ombrage qui provoquent des perturbations plus ou moins fortes sur l'alimentation par rapport à la fertilité réelle du sol (ombrage sur P).

Fréquemment, le phosphore a suivi les carences ou les excès de potassium lorsque ces carences ou excès sont induits et non directement prévisibles par l'analyse courante des sols. En outre, le phosphore est plus élevé dans la feuille lorsque le sol est riche en matière organique. Il arrive assez souvent que le phosphore suive également la carence ou l'excès de potassium prévisible par l'analyse de sol.

La nutrition en phosphore est dans l'ensemble assez difficile à prévoir correctement, d'autant que

nous n'avons pas fait les analyses de soufre, et les exceptions sont assez nombreuses : ombrage, hydro-morphie, carence ou excès en un autre élément. Malgré tout, en tenant compte de tous les phénomènes pouvant agir, le reliquat des cas non expliqués est de l'ordre de 5 % du nombre total de cas examinés.

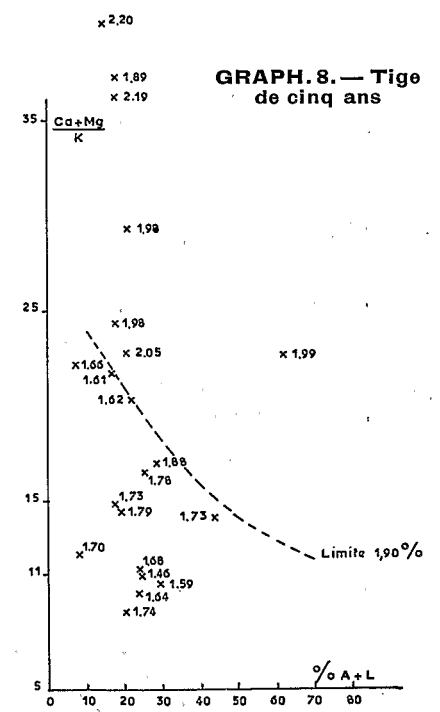
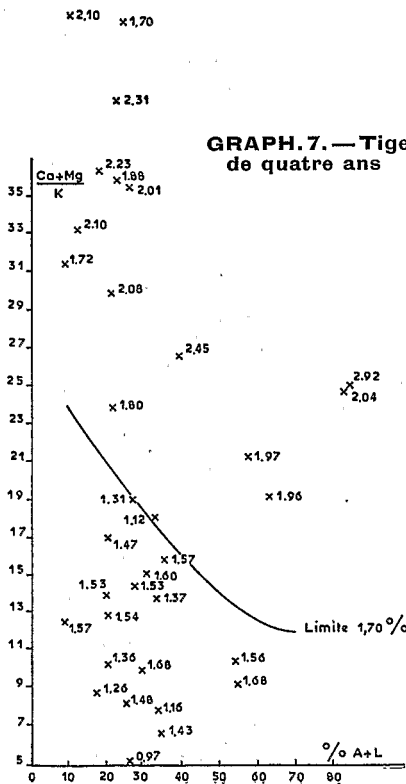
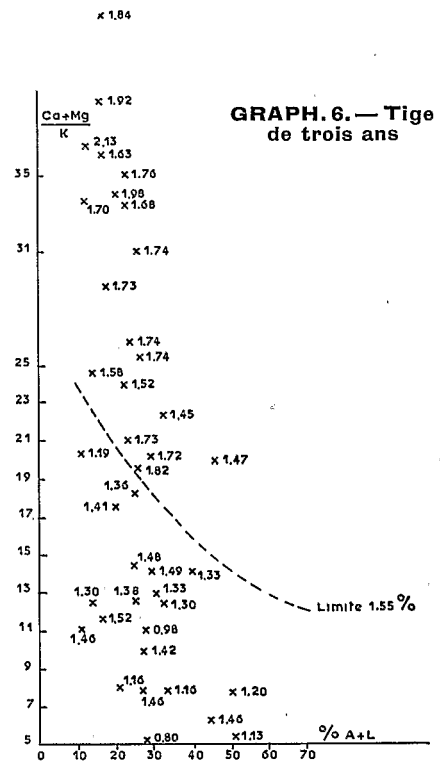
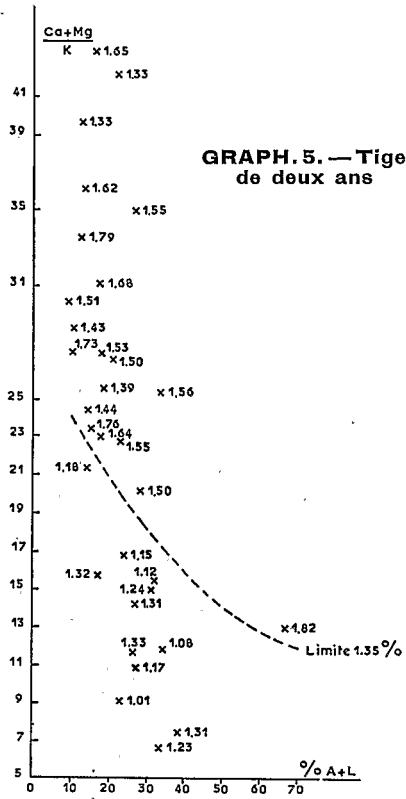
Potassium

Potassium, calcium, magnésium sont étroitement liés et en passant en revue les carences de ces trois éléments, on peut voir simultanément les raisons des excès d'un autre élément. Nous avons été conduits pour chaque élément à distinguer plusieurs subdivisions pour mieux expliquer l'importance des carences, leur répercussion sur la nutrition générale et les causes des carences ; il en a été de même pour les excès de nutrition.

Déficiência légère K échangeable/éléments fins

Pour le potassium, il existe une déficience légère due à un taux insuffisant de potassium dans le sol par rapport au taux d'éléments fins. C'est le cas général que nous avons étudié précédemment (graphique 2). On trouve alors des taux de potassium variant de 1,50 à 1,80 % de la matière sèche, sans que les autres cations atteignent des taux exceptionnels. Il n'existe alors pas de déséquilibre entre les éléments dans le sol (tabl. II, a).

Nutrition calcique du caféier



Déficiencia légère : pourcentage de K échangeable faible

Dans d'autres cas, cette déficiencia légère peut être obtenue simplement du fait d'un pourcentage exceptionnellement faible du potassium par rapport aux autres cations échangeables, alors que le taux de potassium par rapport aux éléments fins serait suffisant pour avoir une nutrition potassique normale. Dans ce cas, les autres cations atteignent une

valeur supérieure à la normale. Le pourcentage de K échangeable dans S est inférieur à 2,5 % (tabl. II b).

Selon que Mg/K ou (Ca + Mg)/K est plus ou moins différent du rapport normal des éléments, on obtient dans la feuille du caféier, préférentiellement, une accumulation de calcium ou de magnésium dans la feuille. Ainsi Mg/K, peu différent de la normale (entre 3,7 et 5,0), et (Ca + Mg)/K simultanément très différents donnent une accumulation de calcium et seulement une légère augmentation

TABLEAU II
Interactions entre les cations échangeables. Potassium

N° Sol	N° échantillon feuille	Analyse du sol							Diagnostic foliaire				
		Eléments fins	Ca	Mg	K	Mg/K	$\frac{Ca + Mg}{K}$	% K	K	Ca	Mg	Taux de K prévisible selon règle générale	
a) Déficiencia légère K échangeable/éléments fins													
175	700	57,0	6,45	1,19	0,36	3,3	21,2	4,5	1,55	1,97	0,36		
163	535	44,9	2,29	0,65	0,19	3,4	15,5	6,1	1,68	1,50	0,32		
42	550	27,0	3,45	0,39	0,11	3,5	34,9	2,8	1,59	1,55	0,31		
b) Déficiencia légère : % K échangeable faible													
75	555	11,1	8,21	0,50	0,12	4,2	72,6	1,4	1,53	2,85	0,39	1,90	
69	623	22,6	6,90	0,74	0,19	3,9	40,2	2,4	1,70	2,31	0,36	1,90	
184	565	13,3	3,83	0,63	0,11	5,7	40,5	2,4	1,58	2,20	0,52	1,80	
c) Effet combiné des précédents													
183	564	12,2	5,87	0,63	0,05	12,6	130,0	0,8	1,19	2,46	0,61	1,50	
169	553	17,2	2,78	0,75	0,06	12,5	58,8	1,7	1,26	1,69	0,58	1,55	
88	626	24,0	4,52	0,65	0,12	5,4	43,1	2,3	1,36	1,84	0,54	1,60	
d) Carence K échangeable/éléments fins													
123	574	63,0	3,81	1,19	0,26	4,6	19,2	4,9	1,18	1,96	0,61		
110	698	61,9	4,14	1,33	0,24	5,5	22,8	4,2	0,86	1,99	0,47		
179	703	84,2	2,74	1,01	0,15	6,7	25,0	3,8	0,54	2,32	0,86		
e) Carence induite													
30	527	24,0	5,89	0,81	0,20	4,0	33,5	2,9	0,86	2,13	0,45	2,00	
32	525	17,6	4,41	0,84	0,11	7,6	47,7	2,1	0,90	1,75	0,52	1,50	
34	522	12,5	4,18	0,53	0,13	4,1	36,2	2,9	0,94	2,14	0,46	1,80	
f) Déficiencia pour drainage insuffisant													
7	510	29,6	2,25	0,55	0,28	2,0	10,0	9,1	1,54	1,68	0,33	2,10	
40	514	10,4	1,56	0,44	0,11	4,0	18,2	5,2	1,35	2,30	0,48	1,85	
126	654	23,5	3,98	0,38	0,13	2,9	33,5	2,9	1,02	1,68	0,52	1,60	
g) Excès de potassium, pourcentage élevé													
146	649	28,3	2,08	0,53	0,55	1,0	4,7	17,4	2,45	0,97	0,13		
141	590	32,9	1,86	0,50	0,36	1,4	6,6	13,2	2,29	1,23	0,19		
127	576	33,8	2,29	0,47	0,36	1,3	7,7	11,5	2,30	1,16	0,25		
h) Excès de potassium par carence induite de calcium													
150	643	21,2	2,36	0,56	0,12	4,7	24,3	3,9	2,82	1,02	0,23		
155	648	16,3	2,21	0,34	0,10	3,4	25,3	3,8	2,55	1,17	0,30		
144	641	22,9	3,96	0,65	0,19	3,4	24,3	4,0	3,18	0,67	0,34		
i) Effets contraires combinés													
138	587	44,4	1,35	0,36	0,28	1,3	6,1	14,1	2,08	1,46	0,16		
101	677	35,2	0,62	0,59	0,18	3,3	6,7	12,9	1,96	1,73	0,30		
65	621	22,2	0,49	0,24	0,09	2,7	8,1	11,0	2,51	1,16	0,21		

de magnésium (deux exemples). Au contraire, le troisième exemple du tableau II-b montre une importante augmentation du magnésium, car Mg/K échangeable du sol est supérieur à 5,0.

Déficiência accusée par la conjugaison des deux effets précédents

Dans d'autres circonstances, les deux effets précédents s'ajoutent et l'on obtient alors des taux beaucoup plus faibles de potassium avec des taux excessifs des deux autres éléments (tabl. II, c). Comme pour le cas précédent, le remplacement du potassium dans la feuille s'effectue soit par le magnésium, soit par le calcium. En combinant les tableaux II, b et II, c, on remarque que pour un pourcentage de K inférieur à 2,1, la diminution du taux de potassium est d'environ 0,30-0,35 %, alors qu'entre 2,1 et 2,5 cette diminution est un peu plus faible : 0,20-0,25 % de la matière sèche.

Carence K échangeable/éléments fins

Des taux très bas de potassium peuvent également être obtenus pour des sols très pauvres en éléments échangeables en fonction de leur teneur en éléments fins (tabl. II, d), bien que le pourcentage de K par rapport aux bases échangeables soit correct.

Déficiência induite

Pour d'autres échantillons, la carence en potassium existe, quelquefois très aiguë, sans que les déterminations analytiques courantes des sols aient pu la laisser prévoir. Ceci arrive aussi bien sur sols issus de grès que sur sols issus de quartzites. Elles s'accompagnent d'un excès calco-magnésien. On peut envisager que ces carences sont dues à des interactions avec des oligoéléments non dosés dans ce travail. Cette hypothèse est valable, car on peut remarquer un groupement géographique très net de ces cas de carence induite, correspondant à une roche mère particulière (tabl. II, e).

Déficiência des sols à drainage insuffisant

Enfin des carences se produisent également dans des sols à drainage insuffisant (tabl. II, f).

Excès potassique. Pourcentage K échangeable élevé

Les excès de nutrition potassique peuvent se classer selon leur origine, leur importance et leur répercussion sur la nutrition minérale générale. Les cas d'excès de nutrition potassique se produisent lorsque le pourcentage de potassium est très élevé par rapport aux autres cations dans le complexe échangeable. Dans ce cas, il y a souvent carence d'un ou de deux éléments antagonistes (tabl. II, g).

Excès potassique par carence induite de calcium

Des excès de nutrition potassique ont lieu lorsqu'un autre élément, principalement le calcium, est absorbé d'une façon insuffisante sans que l'analyse de sol ait pu l'avoir fait prévoir, les rapports entre les trois cations étant satisfaisants dans le sol (tabl. II, h),

Effets contraires combinés pour la nutrition potassique

Lorsque le taux de potassium en fonction des éléments fins du sol laisse prévoir une déficiência légère (1,50 à 1,80 % de K dans la matière sèche), il est possible à l'analyse d'obtenir malgré tout une nutrition normale en potassium, voire excessive si le pourcentage de potassium par rapport à l'ensemble des bases échangeables dépasse 11,5 % (tabl. II, j).

Nutrition inexplicée

Certains sols issus de gneiss calcoalcalin à biotite et amphibole, ayant un très fort pourcentage de potassium, ont un niveau normal de nutrition potassique. On peut supposer qu'il existe une cause antagoniste freinant l'assimilation du potassium et non déterminée.

Magnésium

Déficiência magnésienne. Mg/K faible

Nous avons vu que la nutrition magnésienne était sous la dépendance étroite du rapport magnésium/potassium échangeables dans le sol. La déficiência magnésienne se produit lorsque le rapport Mg/K devient inférieur à 2,1 pour des sols contenant plus de 20 % d'éléments fins. Elle n'est pas obligatoirement accompagnée d'un excès de nutrition potassique, même pour des rapports très faibles et le taux de magnésium reste supérieur à 0,20 % de la matière sèche (tabl. III, a).

Déficiência magnésienne. Mg/K faible et pourcentage K fort

Par contre, lorsque le rapport Mg/K du sol est inférieur à 2,1 et que simultanément le pourcentage du potassium échangeable dans le complexe est supérieur à 11, il se produit un excès de nutrition potassique (voir tabl. II, g). Dans ce cas, le taux de magnésium dans la feuille est souvent inférieur à 0,20 %.

Déficiência magnésienne. Mg échangeable/éléments fins insuffisants

La déficiência magnésienne peut se produire également lorsque le taux de magnésium échangeable par

rapport aux éléments fins est insuffisant, alors que le rapport Mg/K est convenable. Le plus souvent dans ce cas, le taux de calcium est également très faible et il y a toujours un excès d'alimentation du potassium par rapport à ce que laissait prévoir son taux dans le sol (tabl. III, b). Nous avons recherché

le taux de magnésium échangeable en fonction du taux d'éléments fins permettant d'assurer une nutrition normale en magnésium du caféier. Pour cela, nous avons revu le niveau de l'alimentation magnésienne pour les sols à bas taux de magnésium échangeable (tabl. III, c). En représentant toutes

TABEAU III
Interactions entre les cations échangeables
Magnésium-Calcium

N° sol	N° échantillon feuille	Analyse du sol							Diagnostic foliaire			
		Eléments fins	Ca	Mg	K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$	% K	K	Ca	Mg	
a) Déficience magnésienne, Mg/K faible												
54	610	9,5	5,40	0,81	0,50	1,6	12,4	7,5	1,91	1,57	0,22	
213	629	21,6	10,01	0,85	0,53	1,6	20,5	4,7	2,18	1,62	0,25	
85	711	35,3	4,74	0,74	0,49	1,5	11,2	8,2	1,93	1,55	0,22	
207	637	22,4	3,98	0,35	0,45	0,8	9,6	9,4	2,02	1,75	0,27	
b) Insuffisance Mg échangeable par rapport aux éléments fins												
152	645	24,9	1,46	0,30	0,14	2,1	12,6	7,4	2,14	1,38	0,12	
65	621	21,2	0,49	0,24	0,09	2,7	8,1	11,0	2,51	1,16	0,20	
61	619	30,4	0,60	0,19	0,07	2,7	10,3	8,1	2,10	1,23	0,23	
c) Nutrition magnésienne pour les bas niveaux de Mg échangeable												
177	702	22,8		0,18	0,09	2,0					0,17	
61	619	30,4		0,19	0,07	2,7					0,23	
65	621	21,2		0,24	0,09	2,7		11,0			0,20	
77	557	7,6		0,27	0,07	3,7		7,4			0,43	
97	573	17,2		0,28	0,11	2,5		6,0			0,48	
28	531	9,1		0,29	0,14	2,1		6,0			0,36	
59	615	14,2		0,29	0,15	1,9		10,5			0,25	
133	582	34,1		0,30	0,14	2,1		8,9			0,26	
152	645	24,9		0,30	0,14	2,1		7,4			0,12	
63	617	33,2		0,31	0,12	2,6		4,3			0,28	
76	556	7,1		0,31	0,12	2,6		4,3			0,28	
155	648	16,3		0,34	0,10	3,4		3,8			0,30	
167	548	15,9		0,34	0,07	4,9		4,5			0,56	
78	558	16,1		0,37	0,10	3,7		4,4			0,34	
42	550	27,0		0,39	0,11	3,5		2,8			0,31	
d) Déficience magnésienne à cause non déterminée												
53	609	22,1	3,84	0,70	0,27	2,6	16,8	5,6	1,81	1,15	0,22	
21	601	32,4	5,18	0,98	0,40	2,45	15,4	6,1	2,56	1,12	0,20	
47	602	21,4	6,24	0,58	0,22	2,6	31,0	3,1	2,37	1,20	0,21	
e) Excès magnésien sans déficience potassique												
138	578	22,9	3,34	0,80	0,21	3,8	19,7	4,8	1,89	1,82	0,41	
198	679	47,1	5,19	2,53	0,38	6,7	20,3	4,7	1,89	1,57	0,43	
182	563	9,5	2,89	0,61	0,10	6,1	35,0	2,8	1,99	1,72	0,49	
f) Excès magnésien avec déficience potassique												
79	559	18,4	3,33	0,45	0,10	4,5	37,8	2,6	1,60	1,68	0,45	
77	557	7,6	0,60	0,27	0,07	3,9	12,4	7,4	1,52	1,70	0,43	
67	622	25,5	4,37	0,63	0,14	4,5	35,7	2,7	1,66	2,01	0,46	
g) Déficience calcique sans excès de potassium												
111	691	17,3	2,33	0,68	0,19	3,6	15,8	5,9	1,80	1,32	0,34	Tige 2 ans
200	686	19,4	3,56	0,65	0,24	2,7	17,5	5,4	1,99	1,41	0,36	Tige 3 ans
124	575	20,2	2,03	0,56	0,20	2,8	12,9	7,2	2,02	1,54	0,32	Tige 4 ans
h) Carence calco-magnésienne												
146	649	28,3	2,08	0,53	0,55	1,0	4,7	17,4	2,45	0,97	0,13	
145	642	28,4	2,14	0,49	0,55	0,9	4,8	17,3	2,86	0,80	0,12	

ces valeurs sur le graphique 9, il semble que les taux de magnésium échangeable dans le sol ne doivent pas descendre au-dessous de 0,20 m. é. à 17 % d'éléments fins et de 0,30 m. é. à 25 % d'éléments fins pour que la nutrition magnésienne reste correcte en présence d'un rapport Mg/K échangeable supérieur à 2,1. Loué (18) a trouvé des résultats similaires dans les régions granito-gneissiques de la Côte d'Ivoire : moins de 0,25 m. é. dans les sols contenant 20 à 30 % d'éléments fins.

Déficiência magnésienne à cause non déterminée

Enfin, certaines déficiences magnésiennes apparaissent sans que l'analyse de sol ait pu les laisser prévoir. Elles sont en général peu importantes et sont géographiquement groupées. Elles s'accompagnent fréquemment d'un excès de potassium, sans que cela soit obligatoire (tabl. III, d).

Excès magnésien. Mg/K fort

L'excès de nutrition magnésienne se produit généralement lorsque le rapport magnésium/potassium échangeables du sol est supérieur à 3,8 pour des taux d'éléments fins dépassant 18 %. Il n'y a pas nécessairement une carence en potassium correspondante si le taux du potassium dans le sol correspond à une alimentation potassique normale (tabl. III, e).

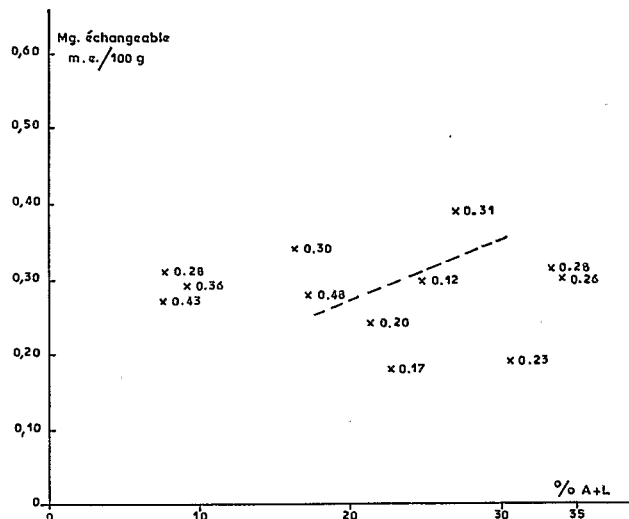
Mais le plus souvent ce rapport Mg/K échangeables supérieur à 3,8 n'est possible que par un taux trop faible de potassium échangeable dans le sol de sorte qu'à un excès magnésien se trouve presque toujours associée une déficience potassique légère (tabl. III, f).

Enfin, si le taux de potassium est particulièrement faible et entraîne un pourcentage de potassium échangeable très bas, inférieur à 2,5 % de la somme des bases échangeables, l'excès de magnésium dans la feuille devient très important si le rapport Mg/K est proportionnellement plus élevé que le rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$, en fonction des normes admises pour ces deux rapports dans le cas de nutrition normale en l'un ou l'autre élément (tabl. II, b et II, c) ; le taux de magnésium dépasse alors 0,50 %.

Autres causes d'excès magnésiens

L'excès magnésien est également important lorsque l'absorption du potassium est très faible pour une cause mal connue, vraisemblablement une carence induite (tabl. II, e).

Un autre excès magnésien connu est celui qui se produit pour les sols insuffisamment drainés (tabl. II, f).



GRAPH. 9. — Taux de magnésium échangeable en fonction des éléments fins du sol

Calcium

Nous avons vu précédemment que la nutrition calcique du caféier pouvait se déduire le plus souvent à partir des caractéristiques suivantes des sols :

taux d'éléments fins et rapport $\frac{Ca + Mg}{K}$, en tenant

compte de l'âge de la tige, car il se produit dans la feuille une accumulation de calcium d'autant plus forte que la tige est plus âgée. Il est apparu qu'entre 2 et 5 ans les taux minima de bonne alimentation calcique s'élèvent respectivement à 1,35 %, 1,55 %, 1,70 %, 1,90 %. Les limites à partir desquelles les taux de calcium dans la feuille deviennent excessifs sont mal connues. Il semble que l'on puisse prévoir les taux suivants : 1,70 % à deux ans, 2,10 % à trois ans et 2,40 % au-delà.

Déficiência calcique

La déficience calcique s'établit pour des rapports $\frac{Ca + Mg}{K}$ inférieurs à 24 pour 10 % d'éléments fins, 18 pour 30 % d'éléments fins, 12 pour 70 % d'éléments fins. Il n'y a pas d'excès de potassium si le pourcentage de K dans les bases échangeables reste inférieur à 11 (tabl. III, g).

S'il existe un fort pourcentage de potassium dans les bases échangeables, un excès de potassium apparaît simultanément à la carence calcique (tabl. II, g). Dans ce cas, il existe souvent en même temps une carence magnésienne. Enfin, dans le cas de carence induite de calcium, il existe aussi un excès de nutrition potassique.

Excès calcique

L'excès de calcium se produit, mais pas obligatoirement, lorsque la nutrition potassique devient faible pour une des causes mises en évidence dans le chapitre sur les déficiences potassiques. C'est notamment le cas pour la déficience due à un pourcentage faible de potassium échangeable avec ou sans taux insuffisant par rapport aux éléments fins du sol (tabl. II, b et II, c) ; pour les taux très insuffisants de potassium dans les sols argileux (tabl. II, d), pour les déficiences induites (tabl. II, e) et parfois pour les drainages insuffisants (tabl. II, f).

Chlorose : en outre, l'excès d'alimentation calcique peut se retrouver sans qu'il y ait déficience de potassium dans le cas de chlorose. Celle-ci peut se produire sur le caféier pour des raisons exceptionnelles : tas de cendres déposés au pied des caféiers près d'une case ou d'un four-séchoir, caféiers poussant sur des fossés comblés par des décharges diverses. L'accumulation de calcium est d'ailleurs moins forte que dans les cas d'une carence potassique.

Exemples de diagnostic foliaire de caféiers chlorosés :

K	Ca	Mg
2,47	2,20	0,29
1,96	2,27	0,36

Sodium

Dans les sols latéritiques, le taux de sodium échangeable est en général faible. Aussi n'avons-nous relevé que très peu de complexes absorbants riches en sodium échangeable parmi nos échantillons. Cependant, ayant mis en évidence les princi-

pales règles présidant à la nutrition cationique du caféier à partir des éléments du sol, nous avons tenté de délimiter l'influence du sodium échangeable sur la nutrition lorsqu'il se trouve en quantités importantes sur le complexe absorbant.

Déjà MOLLE (24) en aquiculture sur de jeunes plantes a montré que l'introduction de sodium dans les solutions nutritives se traduisait par une action dépressive sur la croissance du caféier et que, d'autre part, le sodium ne pouvait remplacer le potassium du point de vue de la physiologie de la plante. En présence de sodium, le milieu extérieur doit contenir relativement plus de potassium pour conserver une nutrition optimum.

TABLEAU IV

Proportions dans la composition cationique du milieu nutritif du caféier *Robusta* exprimées en équivalents chimiques pour un total de 100 (d'après MOLLE) :

	Sans sodium	Avec sodium
K +	15,6 ± 2,4	22,8 ± 3,4
Ca ++/2	52,2 ± 5,8	37,9 ± 4,3
Mg ++/2	32,2 ± 5,5	33,9 ± 4,5
Na +		5,4 ± 4,4

Nous résumons, dans le tableau V, les caractères des sols contenant du sodium et la nutrition potassique des caféiers dans de tels sols.

D'après ce tableau, il semble que pour un taux de sodium échangeable supérieur à 1 m. é. pour 100 g de terre, le caféier présente des symptômes de mauvaise nutrition. Lorsque le pourcentage de sodium dans la somme des bases échangeables dépasse 9 % et peut-être 8 % dans les sols très sableux, il apparaît que la nutrition potassique est légèrement entravée.

TABLEAU V

Nutrition du caféier dans les sols contenant du sodium en quantités non négligeables

N° Sol	Echantillon feuille	Eléments fins	Taux de Na	% Na de la somme K Ca Mg Na	Diagnostic foliaire K %	K % prévu en absence Na	Observations sur l'aspect du caféier
95	671	18,3	1,19	33,7	1,81	1,90	souffreteux sol battant souffreteux Symptômes d'excès Symptômes mal nutrition
11	592	19,0	1,27	17,1	1,84	1,90	
83	713	29,0	1,08	9,0	1,79	1,90	
86	688	54,2	2,30	39,0	1,89	1,70	
157	715	55,8	1,94	9,8	1,97	1,90	
128	580	23,9	0,51	9,6	1,64	2,10	
111	691	17,3	0,52	14,0	1,80	2,10	
106	689	43,0	0,41	10,3	1,26	1,50	
117	657	30,8	0,78	4,8	2,16	2,00	
178	705	54,6	0,52	8,7	1,97	1,90	
17	596	30,3	0,54	8,6	1,98	1,90	
102	665	24,0	0,46	7,2	2,12	2,00	
105	668	28,2	0,47	7,2	2,12	2,05	
166	549	12,4	0,33	8,7	1,79	2,00	
92	663	27,0	0,33	5,4	2,06	2,05	
16	592	16,2	0,31	8,6	2,16	1,90	
12	591	19,5	0,31	8,4	1,99	2,00	

Carences ou excès combinés

Nous avons montré qu'il pouvait exister des déficiences simples de potassium, magnésium et calcium sans un excès correspondant du cation antagoniste. Mais le plus souvent une déficience un peu accentuée en un élément entraîne plusieurs modifications importantes dans les équilibres entre les bases échangeables du sol et il s'ensuit dans la nutrition du caféier des carences et des excès simultanés qui augmentent le déséquilibre alimentaire.

Carence N P K

C'est ainsi que dans les sols usés par les méthodes culturales défectueuses, il est possible de relever une carence N P K très importante, à peine compensée par une légère augmentation des cations alcalino-terreux.

TABLEAU VI
Carence combinée N P K

Analyse du sol		Diagnostic foliaire	
Eléments fins..	57,1 %	N =	1,54 %
P ₂ O ₅ (ppm)	2,4	P =	0,07
Calcium	2,20 m. é		
Magnésium	0,76 m. é		
Potassium	0,23 m. é	K =	1,32
Mg/K	3,3	Mg =	0,39
(Ca + Mg)/K...	12,9	Ca =	1,85
% K...	7,2		

Carence calcomagnésienne

Dans les sols de savane issus de quartzites, épuisés préalablement par les feux de brousse ou les cultures alimentaires telles que le manioc, il n'est pas rare d'avoir une carence calco-magnésienne poussée avec excès de nutrition potassique (tabl. III, h). Dans ce cas d'ailleurs, le développement des arbustes est très insuffisant et très retardé et il y a carence en azote.

Carence généralisée

Enfin, sur des sols chimiquement pauvres, il est possible de trouver des carences généralisées provoquées directement par une déficience de l'élément intéressé dans le sol, ou induite par des déficiences ou des excès d'oligoéléments. Ainsi la nutrition suivante (en % de matière sèche) :

N	P	K	Ca	Mg
1,87	0,08	1,60	1,04	0,12

est due à une déficience induite en azote (9,21 % de matière organique dans le sol), par suite d'une mauvaise décomposition de la matière organique (C/N = 17,3) dans un sol acide (pH = 4,45) et à un complexe absorbant insuffisamment saturé (Ca = 2,21 m. é. ; Mg = 0,38 et K = 0,34 m. é. pour 51,7 % d'éléments fins).

La chlorose est un exemple d'excès combiné potassium-calcium.

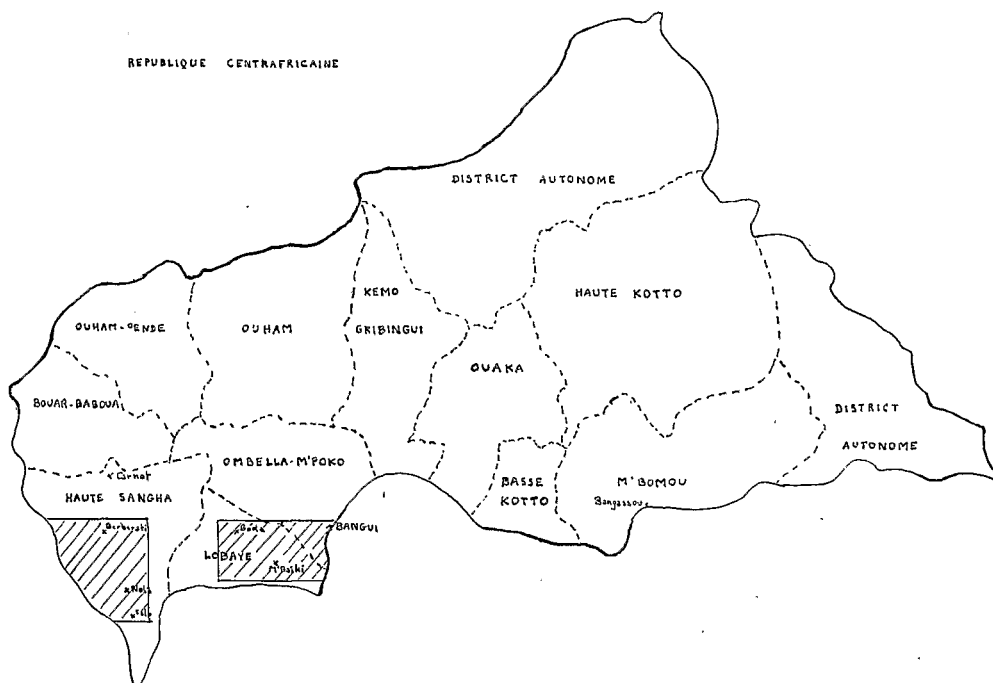
INFLUENCE DE LA ROCHE MÈRE SUR LA NUTRITION CATIONIQUE

Après avoir examiné les règles générales de la nutrition minérale du caféier Robusta en fonction des caractéristiques du sol, nous avons voulu vérifier l'importance du nombre des exceptions pouvant exister. Nous avons effectivement trouvé plusieurs cas que nous avons mentionnés dans le chapitre des interactions sous le nom de carence induite. Nous pensons en effet que ces carences pourraient s'expliquer par l'interaction des oligoéléments sur les éléments majeurs. Ce contrôle nous permettait de nous rendre compte que ces anomalies étaient géographiquement groupées et nous avons cru qu'il était possible de les relier à la composition minéralogique de la roche mère et à l'origine géologique des sols. Nous avons donc systématiquement étudié l'influence de la roche mère sur la nutrition cationique du caféier Robusta.

Bibliographie

Nous avons relevé les études d'auteurs belges qui ont récemment étudié les déficiences minérales du caféier d'Arabie au Kivu (25) et la nutrition minérale du caféier Robusta en Uélé (26). Dans la première publication, les origines des diverses déficiences pour le calcium, le magnésium et le potassium sont rapportées aux mêmes causes que nous avons mises en évidence : taux de saturation insuffisants et rapports défectueux entre les cations du complexe absorbant, sans toutefois que les valeurs limites les plus importantes soient fixées. La carence en potassium est signalée également dans les sols à mauvais drainage (sol de marais). Les déficiences sont souvent rapportées à la présence d'une roche mère déterminée.

CARTE 1. — République Centrafricaine.
 Les régions hachurées ont été prospectées pour établir la fertilité des sols des caféiers



Dans la seconde étude, l'influence de la nature du matériau originel des sols (granit, amphibolite, granito-gneiss) est systématiquement mise en valeur. Les déficiences sont attribuées principalement à des déséquilibres entre les cations et, en outre, pour le potassium, à des teneurs faibles en potassium échangeable.

Géologie

Pour établir notre classification de l'origine minéralogique et géologique des sols, nous avons utilisé la carte géologique au 1/500.000^e couvrant la République Centrafricaine. Dans le centre (Lobaye) et l'ouest (Haute-Sangha) du territoire, nous trouvons les formations suivantes :

	Région centrale	Région ouest
	Grès de Carnot	Grès de Carnot
Discordance	Série de Bouali-M'Baïki	
Système de la Lobaye		
Discordance	Série de la M'Bi	Série de Nola
Système de la M'Poko		
	Série de la Pama	Série de la Boné
Discordance	Série du Lin	Série de la Kadéi
Complexe de base.		

Nos échantillons de sol correspondent à certaines de ces formations (27 — 28 — 29).

- Grès kaoliniques de Carnot.
- Quartzites et schistes du système de la Lobaye.
- Quartzites et schistes du système de la M'Poko.
- Quartzites de la M'Bi.
- Schistes de la Pama et de la Boné.
- Schistes amphiboliques et dolérite de Nola.
- Quartzites de la Kadéi.
- Roches métamorphiques du complexe de base.
- Gneiss divers.
- Granodiorite.

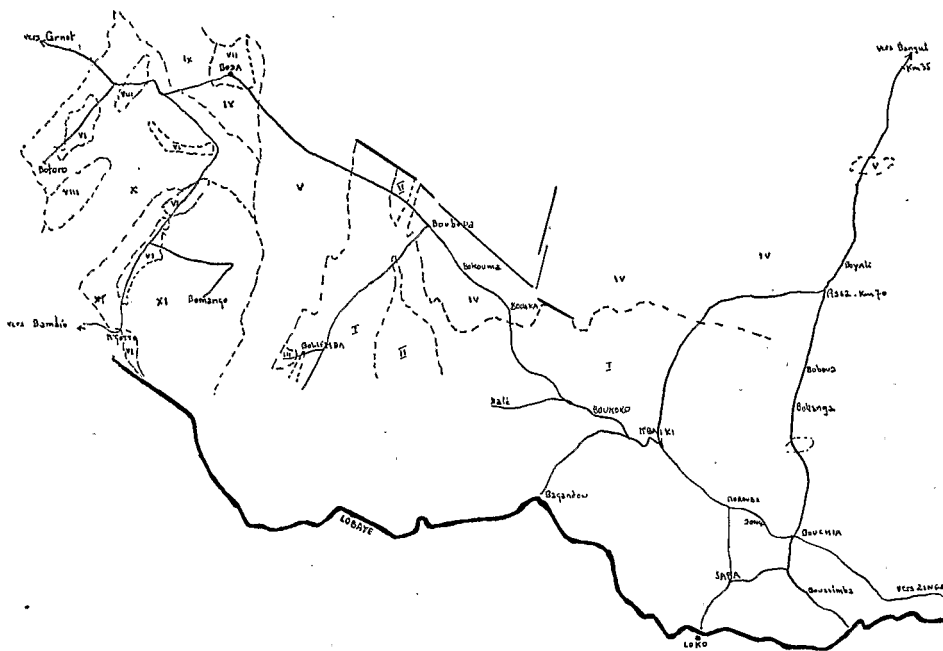
Grès de Carnot

Les sols issus des grès de Carnot et portant des cultures de caféiers Robusta contiennent de 5 à 10 % d'argile et moins de 3 % de limon le plus souvent. Le sable grossier représente de 40 à 60 ou 65 %. Pour ce groupe de sols sableux, il existe le plus souvent une alimentation potassique déficiente. Cette déficience peut être due, parfois, à des interactions dues aux oligoéléments. Elle n'est pas assez grave pour donner lieu à des symptômes foliaires, mais elle limite probablement le rendement.

Quartzites

Les quartzites sont relativement fréquentes dans les formations métamorphiques précambriennes de la République Centrafricaine.

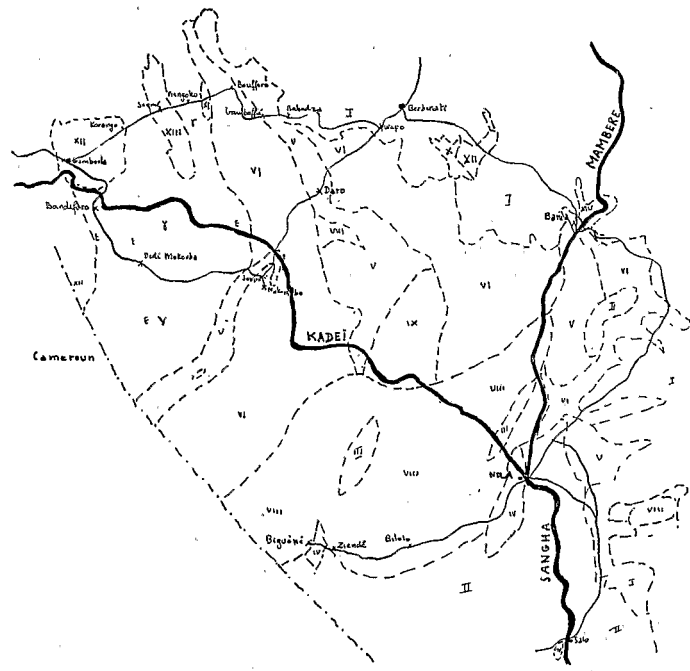
- I. Grès quartzite de M' Baiki.
- II. Schiste de M' Baiki.
- III. Dolérite.
- IV. Quartzite de la M' Bi.
- V. Schiste de la M' Bi.
- VI. Grès de Carnot.
- VII. Orthogneiss calco-alcalin.
- VIII. Embréchite d'orthogneiss.
- IX. Gneiss à biotite et amphibole.
- X. Embréchite à biotite.
- XI. Gneiss à pyroxène.



CARTE 2. — Carte géologique de la Lobaye. Echelle 1/1.000.000.

- I. Grès-Argilité.
- II. Grès-Quartzites.
- III. Schistes argileux
- IV. Schistes argileux bigarrés
- V. Sericite, chloritoschistes
- VI. Quartzites à muscovite
- VII. Série de la Bolé, indifférencié
- VIII. Roches basiques et schistes amphiboliques
- IX. Gneiss.
- X. Orthogneiss à biotite.
- XI. Para-amphibolite
- XII. Granite et embréchite à biotite
- XIII. Granodiorite à biotite et amphibole.
- XIV. Migmatite d'orthogneiss.
- XV. Complexe de base indifférencié.

Série de Nola
Série de la Bolé



CARTE 3. — Esquisse géologique de la Haute-Sangha.

Quartzites de la série de Bouali — M'Baiki

Les quartzites de cette série sont de beaucoup la formation minéralogique la plus hétérogène se traduisant par une variabilité importante tant au point de vue physique que chimique. On trouve presque toujours 10 à 25 % d'argile et 4 à 8 % de limon, mais on enregistre des richesses très variables en éléments échangeables. C'est dans ce groupe que nous avons trouvé l'ensemble des carences induites en potassium (principalement dans les formations de grès — quartzites), de calcium (groupe de la M'Balé) et de magnésium (route de Bagandou). Les carences graves en potassium sont accompagnées d'une alimentation en phosphore nettement plus basse que celle prévisible à partir des teneurs en anhydride phosphorique acidosoluble. C'est surtout la région de M'Baiki qui paraît la moins homogène. A Bangui, où la proportion de schistes paraît plus importante, la nutrition du caféier est en accord avec les analyses de sol.

Quartzites de la M'Bi

Très homogènes du point de vue physique, les sols issus des quartzites de la M'Bi présentent des richesses variables selon leur degré d'épuisement. La nutrition cationique suit pratiquement toujours les règles générales et la nutrition en phosphore reste assez faible le plus souvent.

Quartzites de la Kadéï

Ce sont des quartzites à muscovite un peu plus riche en éléments fins (30 à 35 % d'argile et 10 à 15 % de limon). En général la nutrition potassique est légèrement déficiente.

Schistes

Schistes de la série M'Baiki — Bouali

Ces schistes présentent des caractères variables selon leur localisation géographique et le degré d'épuisement des sols.

Schistes de la Pama

Ces sols schisteux sont relativement riches. La nutrition potassique est convenable le plus souvent, mais la nutrition magnésienne est plus irrégulière.

Schistes sériciteux et chloriteux de la Boné

Contenant 45 à 50 % d'argile et environ 15 % de limon, ces sols se rapprochent du point de vue chimique des quartzites de la Kadéï, située dans la même région. Il en résulte pour le caféier une alimentation potassique déficiente compensée par un excès de magnésium.

Les Gneiss

Le complexe de base dans la région centrale affleure sous forme d'une bande entre les grès de Carnot à l'ouest et les séries quartzo-schistiques à l'est. La diversité des faciès est due aux origines différentes des roches et au degré de métamorphisme. Les sols des plantations provenaient des embrechites à biotite, des gneiss à amphibole et biotite, des gneiss calcoalcalins à biotite et amphibole, des orthogneiss à pyroxène.

En général, les roches gneissiques permettent une bonne alimentation du caféier et principalement les embrechites à biotite. Le gneiss à amphibole et biotite provoquent une insuffisance de calcium dans la feuille du caféier, tandis que les gneiss à pyroxène sont la cause d'une alimentation irrégulière en potassium. La nutrition phosphorée est souvent très bonne dans les sols dérivés de ces roches.

Granodiorite

Cette catégorie de roches trouvée principalement en Haute-Sangha conduit à une alimentation déficiente en potassium.

Dolérite

Il existe un vaste épanchement doléritique en Haute-Sangha dans la région de Nola-Bilolo et plusieurs pointements en Lobaye. Les sols se caractérisent par une teneur de 80-85 % d'éléments fins, et moins de 5 % de sables grossiers, ils sont bien pourvus en éléments minéraux. Ils conduisent à des caféiers bien alimentés et extrêmement vigoureux sur défrichements forestiers. Les sols épuisés conduisent à des déficiences potassiques ou calco-magnésiennes selon les cas.

Sols hydromorphes

Le plus souvent notre échantillonnage a été, effectué sur des sols rouges latéritiques. Cependant, certaines plantations occupent des fonds de vallée où les sols sont beiges latéritiques, et même deviennent des sols d'alluvions blanches à tendance hydromorphique : ces deux types de sols correspondent à un mauvais drainage ou à un drainage insuffisant. Or on sait que le caféier exige des sols très bien drainés. Nous avons donc essayé d'établir quelles étaient les réactions du caféier poussant sur sols insuffisamment drainés en recherchant les modifications se produisant dans la nutrition minérale de la plante.

TABLEAU VII

Analyse de sol et diagnostic foliaire du caféier dans les sols à drainage insuffisant

N° Sol	Echantil. feuille	Analyse sols					Analyse feuilles			
		El. fins	Ca	Mg	K	Mg/K	K	Ca	Mg	N
6	509	20,6	1,71	0,44	0,21	2,1	1,59	1,36	0,27	2,01
7	510	19,6	2,25	0,55	0,28	2,0	1,54	1,68	0,33	1,98
8	511	31,3	2,29	0,51	0,35	1,5	1,40	1,99	0,43	2,21
9	512	22,6	2,89	0,59	0,24	2,5	1,60	2,30	0,32	2,02
10	513	43,6	3,73	0,91	0,33	2,8	1,57	1,73	0,35	2,05
46	532	6,8	3,06	0,40	0,07	5,7	1,18	2,08	0,42	2,41
131	577	24,4	3,69	0,94	0,22	4,3	1,69	1,49	0,42	2,52
90	628	18,0	3,53	0,64	0,18	3,6	1,65	1,64	0,37	2,14
121	659	24,3	4,65	1,00	0,85	1,2	1,40	2,65	0,44	2,22
126	654	23,5	3,98	0,38	0,13	2,9	1,02	1,68	0,52	2,58

Dans tous les cas où il y a mauvais drainage, ou une nappe phréatique trop proche de la surface du sol, le taux de potassium de la feuille du caféier est plus faible que ne le laisse prévoir la relation générale entre potassium échangeable du sol et potassium de la feuille. Il s'ensuit souvent une augmentation correspondante des taux de calcium et de magnésium.

Cette faible disponibilité du potassium pour les plantes cultivées dans les sols humides avec conditions anaérobies est connue. Ceci serait dû au manque d'oxygène et à des concentrations élevées et toxiques en gaz carbonique. Sur ces sols, l'effet des engrais potassiques est probablement faible et même négligeable (30).

L'étude de la nutrition du caféier, en fonction de l'origine géologique et minéralogique des sols que nous avons résumée ici, nous a permis de dresser une carte des carences principales pouvant exister selon la localisation géographique des plantations. En outre, cette étude montre que l'analyse de série des sols est impuissante à déterminer certaines carences, vraisemblablement lorsqu'elles sont induites par des oligoéléments. Mais si ces carences sont décelées par le diagnostic foliaire, il est vraisemblable que le procédé correctif qui sera alors recommandé ne sera pas le plus économique. L'analyse combinée des sols et des feuilles permet de prévoir les cas où les analyses devront être plus poussées.

CONCLUSION

Interprétation d'une analyse de sol

Ayant passé en revue les différents cas de nutrition normale ou anormale pouvant se présenter pour chacun des éléments, il apparaît possible de faire une synthèse sur la nutrition minérale du caféier et l'estimation de la fertilité des sols employés en culture caféière.

Dans l'interprétation d'une analyse de sol en culture caféière pour estimer la fertilité chimique de la couche superficielle, il faut donc passer successivement en revue les points suivants :

I. — Nature pédologique du sol : sol latéritique ou a tendance hydromorphe.

II. — Alimentation cationique dans le cas de sol latéritique :

A — Taux de potassium échangeable en fonction du pourcentage d'éléments fins :

- a) Normal. K de la feuille (kf) = 1,80-2,20 %
- b) Légèrement déficiente (kf) = 1,50-1,80 %
- c) Très déficient (kf) = 0,50-1,20
avec Mg = 0,50 et Ca = 2,00

B — Introduction du pourcentage de K échangeable dans la somme K + Ca + Mg échangeable :

a) % K échangeable > 11 — Selon le taux de K échangeable, on a :

1) Taux de K échangeable normal en fonction du taux d'éléments fins

$$Kf = + 0,20 - 0,30 \% - \text{Carence Ca et Mg}$$

2) K échangeable légèrement déficient par rapport aux éléments fins

$$Mg/K < 2,1 - \text{Carence Mg } (< 0,20) \text{ et Ca} - Kf = + 0,45 - 0,50 \%$$

Mg/K > 2,1 — Mg éch./él. fins correct :
Mg normal, Ca faible, Kf = + 0,20 %
Mg éch./él. fins insuffisant : carence
Mg, Ca faible, Kf = + 0,50 —
0,70 %

b) % K échangeable compris entre 2,5 et 11 % :

1) Taux normal K échangeable éléments fins
Mg/K > 3,8 — léger excès Mg (0,40)
— Kf normal

2,1 < Mg/K < 3,8 — Mg normal 0,30 —
0,36 — Kf normal

Mg/K < 2,1 — Mg déficient 0,20 — 0,29
— Kf normal

2) Taux K échangeable légèrement déficient
par rapport éléments fins

2,1 < Mg/K < 3,8 — Mg éch./él. fins correct
= Mg normal ; Mg éch./él. fins insuffi-
sant = Mg carencé (0,20 %) et Kf =
+ 0,40 %

Mg/K > 3,8 — léger excès Mg (0,45 %)

c) % K échangeable < 2,5 donne Kf = — 0,20
à 0,25 %. % K échangeable < 2,1 donne Kf = —
0,30 à 0,35 %

1) Taux normal de K échangeable en fonction
des éléments fins

Mg/K > 5,0 donne Mg > 0,50 — léger
excès Ca

Mg/K > 3,8 donne Mg = 0,40 — Excès
Ca ± fort selon valeur (Ca + Mg)/K

2,1 < Mg/K < 3,8 = Mg normal et fort
excès Ca

2) Taux légèrement déficient de K échangeable
en fonction des éléments fins

Mg/K > 5,0 donne Mg > 0,50 % — Excès
Ca fort ou léger

C — Influence du taux et du pourcentage de
sodium sur le potassium :

a) Alimentation cationique spéciale pour les
sols à tendance hydromorphe :

b) Nutrition en phosphore :

1) P acidosoluble en fonction taux d'élé-
ments fins

2) Carence ou excès potassique — Variation
parallèle fréquente de P

3) Influence culturale (ombrage)

c) Nutrition azotée

1) Comparaison taux matière organique,
C/N et richesse chimique du sol : carence
N induite

2) N insuffisant si mauvais drainage du sol

3) Richesse du sol — N insuffisant dans les
sols très pauvres en bases

4) Influence culturale : plante de couverture
et ombrage

d) Possibilités de carence induite

1) Comparaison avec les résultats de diag-
nostic foliaire

2) Origine de la roche

3) Localisation géographique.

Caractéristiques d'un bon sol à caféier

Est-il possible de déterminer les caractéristiques
d'un sol pour culture caféière ? Il semble qu'un
minimum de 20 % d'éléments fins soit nécessaire
puisque en dessous il y a une assimilation plus forte
du potassium, due peut-être à un régime hydrique
insuffisant. Dès lors, le taux minimum de potassium
devra être de 0,12 m. é. et plus sûrement de 0,15
à 0,20 m. é. Le rapport Mg/K devant être de 3,0
(valeur moyenne), il faut 0,45 à 0,60 m. é. de magné-
sium. Enfin (Ca + Mg)/K devant être supérieur
à 21, il faut de 3 à 4 m. é. de calcium. Bien entendu,
si on est en présence d'un sol argileux (60 % d'élé-
ments fins), il faut des quantités bien supérieures de
cations échangeables : 0,50 m. é. de K, 1,1 m. é. de
Mg et 6,0 m. é. de Ca. Il faut en outre que le sodium
représente moins de 8 % de la somme des bases
échangeables. Enfin le sol doit être bien drainé pour
que l'alimentation soit normale.

Valeur de l'hypothèse de travail

L'hypothèse de travail que nous avons émise
pour faciliter notre interprétation des résultats s'est
révélée fructueuse puisqu'elle répond à de très
nombreux cas de nutrition et n'est en défaut que
pour des déficiences dues vraisemblablement à des
interactions d'éléments non dosés. Il apparaît donc
bien que la nutrition minérale d'une plante, et
particulièrement du caféier dans les sols latéritiques,
ne dépend pas uniquement du taux d'éléments fins
échangeables dans le sol, mais beaucoup plus des
possibilités de mise à la disposition de la plante des
éléments et des interactions entre ces éléments. En
restant dans le cadre d'un type de sol donné (sols
latéritiques par exemple), il est possible en tenant
compte à la fois du taux de l'élément échangeable
et de la teneur en éléments fins (argile + limon),
d'estimer la possibilité de libération de l'élément
par le sol et finalement « l'activité » de cet élément
dans la solution du sol. En second lieu, il est
nécessaire d'envisager les interactions entre élé-
ments, qui se produisent d'une façon perceptible à
l'analyse surtout pour des valeurs extrêmes (rapport
Mg/K, (Ca + Mg)/K, pourcentage de potassium,
de sodium).

N.B. = reçu pour publication en septembre 1961.

BIBLIOGRAPHIE

1. LUNDEGARDH. — Physiological aspects on tissue analysis as a guide to soil fertility. C. R. Colloque I. R. H. O., 1954, p. 1-5.
2. REUTHER (W.), SMITH (P. F.). — Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees. C. R. Colloque I. R. H. O. 1954, p. 166-180.
3. FORESTIER (J.). — La matière organique dans les sols de l'Oubangui. *Agro. Trop.* (Paris) 1959, vol. 14, n° 3, p. 323-348.
4. FORESTIER (J.). — La fertilité des sols. Interprétation des résultats analytiques. Annexe au rapport annuel, section chimie, du C. R. A. de Boukoko, 1958, tome 2, p. 172-184.
5. SCHOFIELD (R. K.). — Can a precise meaning be given to «available» soil phosphore. *Soils and Fertilizers*, 1955, vol. 18, n° 5, p. 373-375.
6. RUSSEL (R. S.), RUSSEL (E. W.), MARAIS (P. G.). — Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate soils. I. The relation between labile phosphate and absorption. *Jal of soil Science*, 1957, vol. 8, n° 2, p. 248-67.
7. BLANCHET (R.). — Relation entre la vitesse de dilution isotopique du phosphore du sol et l'alimentation phosphatée des plantes, CR. AC. SC., 1957, tome 244, p. 2739-41.
8. BARBIER (G.). — Définition de l'acide phosphorique assimilable du sol. *Fertilité* (Paris), janv. 1959, n° 6, p. 3-12.
9. BARBIER (G.), LESAIN (M.), TYSZKIEWICZ (E.). — Recherches au moyen d'isotopes sur les phénomènes d'autodiffusion dans le sol et sur l'alimentation des plantes. *Ann. Agron.*, 1954, Série A, tome 5, n° 6, p. 923-959.
10. FORESTIER (J.). — Etudes sur le phosphore dans les sols latéritiques. *Agro. Trop.* (Paris), sept.-oct. 1960, vol. 15, n° 5, p. 543-567.
11. FORESTIER (J.). — Etudes sur le phosphore assimilable dans les sols latéritiques de l'Oubangui. Publ. Bureau des sols de l'A. E. F., janv. 1958, 21 pages.
12. FORESTIER (J.). — Etudes des carences du caféier Robusta en milieu artificiel. Annexe au rapport annuel, section de chimie, du C. R. A. de Boukoko, 1960.
13. FORESTIER (J.). Enquête sur la nutrition minérale du caféier Robusta en Lobaye. Annexe au rapport annuel, section chimie, du C. R. A. de Boukoko, 1959.
14. BLANCHET. — Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. *Ann. Agron.*, 1959, tome 10, n° 3, p. 267-307.
15. STRASMAN (A.), QUIDET (P.), BLANCHET (R.). — Valeur comparée des divers tests analytiques relatifs au potassium du sol d'après la réaction des plantes aux engrais potassiques. *CR. AC. Agric.*, 1958, vol. 44, n° 12, p. 639-642.
16. STRASMAN (A.), QUIDET (P.), BLANCHET (R.). — Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes. *Annales Agronomiques*, 1958, tome 9, n° 5, p. 637-660.
17. MC LEAN (E. O.), SIMON (R. H.). — Potassium status of some Ohio soils as revealed by green house and laboratory studies. *Soil science*, juin 1958, vol. 85, n° 6, p. 324-332.
18. LOUÉ (A.). — La nutrition minérale du caféier en Côte d'Ivoire, C. R. A. de Bingerville, mars 1957.
19. VALLANCE (L. G.). — Recent advances in sugar cane culture in Queensland. *Empire Jal of experimental agriculture*, janv. 1951, p. 13-25.
20. HOVLAND (D.), CALDWELL (A. C.). — Potassium and magnesium relationships in soils and plants. *Soil Science*, févr. 1950, vol. 89, n° 2, p. 92-96.
21. MC COLLOCH (R. C.), BINGHAM (F. T.), ALDRICH (D. G.). — Relation of soil K and Mg to Mg nutrition of citrus, *Proc. soil sci. soc. amer.*, 1957, vol. 21, n° 1, p. 85-88.
22. WALSH (T. O.), DONOHE (T. F.). — Magnesium deficiency in some crop plants in relation to the level of potassium nutrition. *Jal Agric. Sci.*, 1945, n° 4, p. 254-263.
23. TINKER (P. B. H.), ZIBOH (C. O.). — Soil analysis and fertilizer response. *Jal West Afr. Inst. Oil Palm Research*, vol. 3, n° 9, p. 52-75.
24. MOLLE (A.). — L'alimentation minérale du caféier (*Coffea canephora* Pierre). Publ. I. N. E. A. C., série scientifique n° 69, 1957.
25. CULOT (J. P.), VAN WAMBEKE (A.), CROEGAERT (J.). — Contribution à l'étude des déficiences minérales du caféier d'Arabie au Kivu. Publ. I. N. E. A. C., série scientifique n° 73, 1958.
26. FRANKART (R.), CROEGAERT (J.). — Contribution à l'étude de la nutrition minérale du caféier Robusta en Uélé, Publ. I. N. E. A. C., série scientifique, n° 80, 1959.
27. NICKLES (M.). — Notice explicative de la carte géologique de l'A. E. F. et du Cameroun au 1/2.000.000, 1952.
28. GÉRARD (G.) et (J.). — Notice explicative sur la feuille Berbérati-Est de la carte géologique de reconnaissance au 1/500.000, 1953.
29. GÉRARD (G.) et (J.). — Notice explicative sur la feuille Berbérati-Ouest de la carte géologique de reconnaissance au 1/500.000, 1953.
30. WALLACE (T.). — Potassium uptake in relation to soil moisture. Potassium symposium, 1958, p. 141-147.

FORESTIER (J.). — Relations entre l'alimentation du caféier Robusta et les caractéristiques analytiques des sols.
Café, Cacao, Thé, Paris, vol. VIII, n° 2, avril-juin 1964, p. 89-112, fig., tabl., réf.

Cette étude faite en République Centrafricaine avait pour but de déterminer des normes de fertilité des sols des caféières en se servant du diagnostic foliaire comme guide, ceci afin de pouvoir mettre ultérieurement au point des formules d'engrais sur caféiers à partir des analyses de sol, dès la création de la plantation, et de mieux connaître les terrains aptes à porter une culture caféière. Elle a été limitée à la variété *Coffea canephora* var. *robusta* et toutes les mesures ont été faites sur des descendances illégitimes.

Pour établir les relations entre la nutrition minérale du caféier et les caractéristiques du sol, il a fallu évaluer la nutrition de la plante, déterminer les réserves des différents éléments, obtenir une mesure de la capacité de libération de ces éléments et tenir compte de leurs interactions.

L'examen des différents cas de nutrition normale et anormale pouvant se présenter pour chacun des éléments montre la possibilité de faire une synthèse sur la nutrition minérale du caféier et d'estimer la fertilité des sols employés en culture caféière.

Il semble qu'un sol pour culture caféière doit contenir au minimum 20 % d'éléments fins (argile plus limon) puisqu'en dessous il y a une assimilation plus forte du potassium, due peut-être à un régime hydrique insuffisant. Le taux minimum de potassium

devra donc être de 0,12 m.é. et plus sûrement de 0,15 à 0,20 m.é. La valeur moyenne du rapport Mg/K devant être de 3,0, il faut 0,45 à 0,60 m.é. de magnésium. Le rapport $(Ca + Mg)/K$ devant être supérieur à 21, il faut de 3 à 4 m.é. de calcium. Dans le cas d'un sol argileux, il faut des quantités bien supérieures de cations échangeables : 0,50 m.é. de K ; 1,1 m.é. de Mg et 6,0 m.é. de Ca. Il faut en outre que le sodium représente moins de 8 % de la somme des bases échangeables. Le sol doit être bien drainé pour que l'alimentation potassique soit normale.

FORESTIER (J.). — **Relationship between the feeding of Robusta coffee tree and the analytical features of soils.** *Café Cacao Thé*, Paris, vol. VIII, n° 2, avril-juin 1964, p. 89-112, fig., tabl., réf.

This survey, carried out in the Central African Republic, sought to ascertain fertility standards for coffee plantation soils. Use was made of leaf diagnosis, with a view to perfecting later on appropriate recipes for coffee-tree fertilizer based on the analysis of the soil, as soon as the plantation was set up, and to acquiring further knowledge of ground suitable for coffee-growing purposes. Study was confined to the *Coffea canephora* var. *robusta* and research was entirely devoted to specimens of illegitimate progenies.

In order to determine the relationship between the mineral nutrition of the coffee-tree and the features of the soil, the nutrition of the plant had to be estimated, the reserves of the various elements determined, the exchange capacity of these elements gauged and their interactions taken into account.

The fact that different cases of normal and abnormal nutrition can be examined for each of these elements enables data on the mineral nutrition of the coffee tree to be synthesized and the fertility of soils used for coffee-growing to be appraised.

It seems that soils suitable for coffee-growing should contain at least 20 % of fine elements (clay plus silt) since under that rate potassium is more extensively assimilated due perhaps to inadequate hydrous conditions. The minimum potassium content should therefore be 0.12 m.e or rather from 0.15 to 0.20 for safety's sake. The average value of the ratio Mg/K being 3.0 errors excepted, there ought to be from 0.45 to 0.60 m.e of magnesium. The relation $(Ca + Mg)/K$ should be higher than 21, thereby entailing 3 to 4 m.e of calcium. In the case of clayey soils, far larger amounts of exchangeable cations are needed : 0.50 m.e K ; 1.1 m.e of Mg and 6.0 m.e of calcium. Moreover, sodium should not cover more than 8 % of the sum of the exchangeable bases. The soil has to be well drained for the potassium feeding to be normal.

FORESTIER (J.). — **Beziehungen zwischen der Ernährung des Kaffeebaumes Robusta und den analytischen Eigenschaften der Böden.** *Café Cacao Thé*, Paris, vol. VIII, n° 2, avril-juin 1964, p. 89-112, fig., tabl., réf.

Diese in der Zentralafrika Republik durchgeführte Untersuchung bezweckt, die Normen der Fruchtbarkeit der Böden der Kaffeeplantagen bei Benutzung der Blätterdiagnose als Wegweiser festzusetzen, um später Formeln von Düngemitteln für Kaffeebäume von der Bodenanalyse aus sofort nach der Errichtung der Plantage fertigstellen zu können, und die für den Kaffeeanbau geeigneten Böden besser kennen zu lernen. Die Untersuchung blieb auf die Sorte *Coffea canephora* var. *robusta* beschränkt und alle Massnahmen erfolgten auf illegitimer Nachkommenschaft.

Um die Beziehungen zwischen der mineralischen Ernährung des Kaffeebaumes und die Bodenbeschaffenheit herzustellen, musste die Ernährung der Pflanze eingeschätzt, die Reserven der verschiedenen Grundstoffe festgestellt, eine Messung der Freilassungskapazität dieser Grundstoffe erreicht und von ihrer gegenseitigen Wirkung Rechnung getragen werden.

Die Prüfung der verschiedenen Fälle von normaler und anormaler Ernährung, die jeweils bei diesen Grundstoffen auftreten können, weist auf die Möglichkeit hin, die Synthese der mineralischen Ernährung des Kaffeebaumes herzustellen und die Fruchtbarkeit der zur Kaffeekultur verwendeten Böden einzuschätzen.

Ein zur Kaffeekultur geeigneter Boden sollte wenigstens 20 % feiner Grundstoffe (Ton plus Lehm) enthalten, da darunter eine stärkere Assimilation des Kalium stattfindet, die vielleicht ungenügenden Wasserverhältnissen zuzuschreiben ist. Der Mindestgehalt an Kalium muss daher 0,12 M. Ä. oder besser 0,15 bis 0,20 M. Ä. betragen. Da der Durchschnittswert des Verhältnisses Mg/K 3,0 betragen muss, bedarf es 0,45 bis 0,60 M. Ä. Magnesium. Da das Verhältnis $(Ca + Mg)/K$ grösser als 21 sein muss, bedarf es 3 bis 4 M. Ä. Calcium. Bei Tonboden werden viel grössere Mengen an austauschbaren Kationen benötigt : 0,50 M. Ä. K ; 1,1 M. Ä. Mg. und 6 M. Ä. Ca. Ausserdem darf das Natrium keine 8 Prozent der Summe der austauschbaren Basen ausmachen. Für eine normale Ernährung mit Kali ist eine gute Bodenentwässerung notwendig.

FORESTIER (J.). — **Relaciones entre la nutrición del café Robusta y las características analíticas de los suelos.** *Café Cacao Thé*, Paris, vol. VIII, n° 2, avril-juin 1964, p. 89-112, fig., tabl., réf.

El fin del presente estudio hecho en la República Centroafricana era la determinación de las normas de fertilidad de los suelos cafetaleros basándose en el diagnóstico foliar para poder establecer ulteriormente fórmulas de abonamiento para cafetos a partir de los análisis del suelo, apenas creada la plantación, y para un mejor conocimiento de los suelos aptos para el cultivo de los cafetos. Dicho estudio se limitó a la variedad *Coffea canephora* var. *robusta* y se hicieron todas las evaluaciones con progenies ilegítimas.

Para establecer las relaciones entre la nutrición mineral del café y las características del suelo, fué preciso determinar la nutrición de la planta, evaluar las reservas de los varios nutrientes, calcular la capacidad de liberación de dichos nutrientes teniendo en cuenta sus interacciones.

El examen de los varios casos de nutrición normal y anormal que pueden presentarse para cada elemento muestra la posibilidad de una síntesis sobre la nutrición mineral del café y de una estimación de la fertilidad de los suelos cafetaleros.

Parece que un suelo para los cafetos deba presentar por lo menos 20 % de elementos finos (arcilla más légamo) porque debajo de este porcentaje hay una mayor asimilación del potasio debida tal vez a un régimen hídrico insuficiente. El contenido mínimo de potasio deberá pues ser de 0,12 m. equ. y más seguramente de 0,15-0,20 m. equ. Debiendo ser igual a 3,0 el valor medio de la relación Mg/K hace falta 0,45-0,60 m. equ. de magnesio. Debiendo ser superior a 21 la relación $(Ca + Mg)/K$, es preciso 3-4 m. equ. de calcio. En el caso de un suelo arcilloso se necesitan cantidades muy superiores de cationes cambiables : 0,50 m. equ. de K ; 1,1 m. equ. de Mg y 6,0 m. equ. de Ca. Además el sodio debe representar menos del 8 % de la suma de las bases cambiables. Debe ser bien drenado el suelo para que la nutrición básica sea normal.

QUELQUES RÉSULTATS

DES ESSAIS D'ENGRAIS SUR C. ROBUSTA

AU CENTRE DE RECHERCHES DE BOUKOKO

(RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE)

M. BORGET
Licencié ès-Sciences
Ancien chef de la section d'Agronomie

J. DEUSS (I. F. C. C.)
Ingénieur Agricole,
Chef de la section d'Agronomie

J. FORESTIER (I. F. C. C.)
Ingénieur Agricole,
Chef de la section de Chimie-Pédologie

Il y a quelques années à peine, l'application d'engrais sur caféier Robusta était encore peu courante dans les territoires francophones de l'Afrique, et pratiquement seuls quelques essais avaient été effectués. Récemment, le nombre de ceux-ci s'est multiplié et les planteurs intéressés ont été également plus nombreux. Déjà de grandes plantations reçoivent régulièrement des engrais, comme il est de règle pour d'autres spéculations agricoles tropicales. Sur quelles bases se font ces applications d'engrais ?

Les premiers essais effectués en station, alors que les critères de fertilité des sols étaient mal connus, furent des essais d'orientation. On recherche quels sont, dans des conditions données, les éléments agissant positivement sur la récolte.

Au début, les essais portèrent principalement sur l'équilibre classique NPK et le rôle possible de la matière organique, mais les premiers résultats conduisirent rapidement à l'introduction du magnésium dans les formules d'engrais si sa présence apparaît nécessaire.

LES LIMITES ACTUELLES DE L'EXPÉRIMENTATION

Une formule d'engrais n'a de valeur que si l'augmentation de récolte qu'elle apporte procure un bénéfice supplémentaire et maintient la fertilité du sol. Ce sont donc en définitive les résultats pratiques de l'expérimentation qui décideront des formules les meilleures. Or ces résultats ne sont acquis qu'après un assez grand nombre d'expériences pour lesquelles les sols, les modalités d'application, le climat, le

degré de sélection de la plante, les retouches faites à la formule principale varient. Actuellement, tous ces facteurs secondaires n'ont pas été testés suffisamment, faute d'expériences nombreuses, et constituent un ensemble qui conditionne les limites actuelles de l'expérimentation et influent sur les conseils de fumure qu'il est possible de fournir aux planteurs.

Les sols

Trop souvent, les résultats d'essais d'engrais sur caféiers Robusta ont été publiés sans que les caractéristiques des sols sur lesquels ils ont été acquis, soient données simultanément. Les résultats ainsi acquis n'ont qu'un intérêt très limité ne s'appliquant qu'à la plantation ou au terrain où ils ont été obtenus, encore ceux-ci doivent-ils être homogènes.

La plante

Le degré de sélection d'une plante joue un rôle dans le résultat des essais d'engrais. On estime qu'avec l'amélioration de la variété, la plante devient plus exigeante. Jusqu'à présent, pour le Robusta, tous les essais ont été pratiqués avec des descendance illégitimes provenant d'une sélection masale.

La formule initiale

Pour le caféier Robusta, LOUÉ et BUSCH ont calculé les exportations des récoltes et, employant des coefficients moyens d'utilisation des engrais adoptés pour d'autres plantes, ont mis au point une formule d'engrais générale, à partir de laquelle ils ont introduit des modifications selon l'état de nutrition connu du caféier. C'est ainsi que pour des caféiers

Robusta adultes, les formules définies et essayées ces dernières années en station contenaient 30 à 60 g d'azote et des équilibres allant de 1-0,5-1 à 1-1-2. Ces formules correspondent au maximum à 500 ou 600 kg d'engrais à l'hectare ; il est vraisemblable que l'on se trouve dans une zone moyenne ou prudente d'utilisation des engrais et que des essais nouveaux avec des doses plus fortes doivent être tentés.

Les modalités d'apport

Les modalités d'application des engrais en zone tropicale s'inspirent le plus souvent de considérations théoriques mal vérifiées et ne constituent qu'une première approximation. Les formules d'engrais et les quantités employées varieront probablement lorsque la technique d'emploi des engrais sera précisée.

Les facteurs cultureux

Enfin, certains facteurs cultureux tels que la couverture du sol, l'ombrage, la taille du caféier peuvent influencer sur l'équilibre des formules d'engrais ou les doses employées, et les expériences manquent qui trancheraient de l'influence de ces facteurs sur les récoltes en fonction des formules d'engrais.

LES CONTRÔLES DE L'EXPÉRIMENTATION

On peut appeler ainsi les résultats chiffrés qui permettent de comprendre l'action des engrais et d'en mesurer les résultats ; ce sont : le contrôle des caractéristiques du sol, le contrôle de l'alimentation de la plante par le diagnostic foliaire, le contrôle de la croissance et enfin la pesée des récoltes.

Ces contrôles permettent de généraliser les résultats d'un essai à des cas semblables.

Le diagnostic foliaire

Pour le caféier Robusta, les zones optima de nutrition du caféier ont été définies pour chaque période de l'année. Les concentrations à l'entrée de la saison sèche présentent une bonne corrélation avec la récolte à venir ; les niveaux optima sont à cette époque :

- plus de 2,7 % pour l'azote,
- 0,13 - 0,15 % pour le phosphore,
- 1,80 - 2,20 % pour le potassium,
- 0,30 - 0,36 % pour le magnésium.

L'analyse des plantes en essais permet de savoir si les doses d'engrais sont suffisantes ou non pour atteindre les valeurs considérées comme bonnes et, en conséquence, de faire les corrections nécessaires pour l'année suivante.

La concentration des différents éléments varie en cours d'année suivant une courbe propre à chaque élément, de sorte que le diagnostic foliaire effectué dans une plantation en vue de l'établissement d'une fumure ne pourra être fait qu'en novembre-décembre afin d'obtenir des chiffres comparables à l'échelle ci-dessus.

Il faut être prudent pour une première analyse et contrôler le résultat de l'action des engrais sur l'alimentation au bout d'une année, ceci à cause des interactions que le diagnostic foliaire ne permet pas toujours de prévoir.

Une analyse combinée diagnostic foliaire-analyse du sol permet de prévoir en général ces interactions.

L'analyse du sol

On considère encore que la détermination de la nature et de la quantité des éléments à apporter au sol en fonction de sa richesse n'est pas facile en régions tropicales. Cependant, des résultats récents permettent de penser que l'analyse chimique du sol en région tropicale peut servir de guide dans l'établissement des formules d'engrais, au moins en ce

qui concerne le phosphore, le potassium et le magnésium.

Le contrôle des récoltes

Il permet de décider de la valeur économique de l'application des engrais. Mais le résultat est limité au champ d'expérience et ne peut être étendu si les conditions de l'expérimentation ne sont pas connues (valeur du champ, alimentation de la plante).

RÉSULTATS D'ESSAIS A BOUKOKO

Nous nous proposons de donner ici les résultats de quatre essais d'engrais effectués au Centre de Boukoko, trois implantés après forêt et un après savane.

ESSAI NPK EN FORÊT

Conditions de l'essai

Cet essai a été effectué sur sol enrichi par le défrichement d'une forêt et le brûlis complet des bois. Il s'en est suivi un fort enrichissement du sol en éléments fertilisants disponibles. Deux ans après le défrichement on obtenait à l'analyse des échantillons superficiels de sol les valeurs suivantes :

Argile + limon	: 20 à 30 %
Matière organique	: 3,80 %
pH	: 6,80
Calcium échangeable	: 9 m.e/100 g
Magnésium échangeable : 1 m.e/100 g	
Potassium échangeable	: 0,45 m.e/100 g
P ₂ O ₅ acidosoluble Truog : 30 à 60 ppm	

L'essai est donc implanté sur un terrain riche avec un bon équilibre des bases. Toutefois, le rapport magnésium/potassium échangeables est très proche de sa valeur limite inférieure au-dessous de laquelle la nutrition magnésienne devient insuffisante.

L'essai mis en place en 1953 comprend cinq objets avec six répétitions chacun. Chaque parcelle élémentaire comprend cinq lignes de 12 caféiers et dans chacune 30 caféiers ont eu leurs récoltes analysées statistiquement.

Les traitements sont les suivants :

1. — Dose simple de N P K apportée sous forme de phosphate bicalcique, sulfate d'ammoniaque et chlorure de potassium.

2. — Dose double sous les mêmes formes que dans 1.

3. — Dose simple de N P K sous forme de phosphate bicalcique, nitrate de sodium et sulfate de potassium.

4. — Dose double sous les mêmes formes que dans 3.

5. — Témoin.

Les doses d'engrais appliquées par pied au cours de l'essai figurent dans le tableau I.

TABLEAU I. — Doses d'engrais en grammes appliquées annuellement sur l'essai de fumure NPK en forêt (pour les doses simples)

	Azote N	Acide phosphorique P ₂ O ₅	Potasse K ₂ O
1954	8	12	15
1955	10	16	24
1956	15	20	24
1957	20	20	24

La dose annuelle d'azote était épanchée en 2 fois (mars et septembre), celle d'acide phosphorique en une fois (mars) et celle de potasse en deux fois aux mêmes époques que pour l'azote. Azote et potasse étaient appliqués en couronne en surface, le phosphate bicalcique en 3 ou 4 trous de 10 cm de profondeur situés à l'aplomb de la frondaison de l'arbuste.

Résultats

Les récoltes contrôlées sur cet essai donnèrent les chiffres suivants en kg de cerises fraîches par pied.

TABLEAU 2. — Récolte en kg de cerises fraîches (moyenne par pied)

	Récolte 1958	Récoltes cumulées 1956-1958
1. Dose simple avec KCl	6,285	8,077
2. Dose double avec KCl	7,456	9,950
3. Dose simple avec SO ₄ K ₂	7,091	8,891
4. Dose double avec SO ₄ K ₂	7,257	9,261
5. Témoin	7,588	9,627

Ce tableau montre qu'il n'y a aucun effet évident de la fumure NPK sur les rendements, dans les conditions de l'essai. Il faut souligner que le protocole de l'essai ne permet pas d'établir si l'action positive de l'un des éléments N, P ou K se trouve masquée le cas échéant par l'effet dépressif d'un autre élément. La récolte de 1958, 7,135 kg de cerises fraîches par arbre, correspond à un rendement hectare de 1,60 t de café marchand, ce qui est un bon rendement d'autant qu'il existe une variabilité importante d'un bloc à l'autre.

Récolte moyenne par pied	
Bloc 1	3,963
— 4	3,619
— 2	5,812
— 5	7,384
— 3	11,055
— 6	10,979

Les parcelles témoins des blocs 3 et 6 qui dépassent 11 kg de cerises fraîches par pied, soit 2,6 t de café marchand à l'hectare, rendent difficile la mise en évidence d'un effet des engrais. Il est possible de se rendre compte que les doses d'engrais, même doubles, restent faibles ou tout au plus moyennes et ne correspondent qu'à des doses d'entretien.

Etant donné la valeur des témoins, cet essai d'engrais a été abandonné en 1958. Les conclusions partielles qu'il est possible d'en tirer indiquent que dans un terrain très riche, les engrais à dose d'entretien ne sont pas utiles avant le premier recépage et que dans de telles conditions, avant d'entreprendre un essai, il faudra connaître les possibilités maxima de productivité du caféier Robusta et avoir mis au point la technique d'emploi des fortes doses d'engrais en milieu tropical humide.

Les contrôles

Suivi par le diagnostic foliaire, cet essai a permis en outre les observations suivantes : c'est l'engrais potassique qui a modifié le plus le chimisme de la feuille, l'augmentation du taux de potassium étant significative et la diminution subséquente du magnésium étant également significative. Or si on se souvient que l'équilibre magnésium-potassium des bases échangeables du sol était à la limite des valeurs convenables, il est compréhensible que l'apport sans précaution de potassium rende insuffisante l'alimentation en magnésium et favorise même l'apparition temporaire de symptômes de mauvaise nutrition. C'est effectivement ce qui s'est produit pour certaines parcelles avec apport de potassium à dose double, ce déséquilibre alimentaire étant nettement perceptible à l'analyse du diagnostic foliaire.

TABLEAU 3. — Effet du potassium sur la nutrition du caféier (résultat en pourcentage de matière sèche ; moyenne des 6 blocs)

Objet	Taux de K	Taux de Mg
Parcelle témoin	1,55	0,37
Parcelle à dose double de K	1,79	0,28

Cet essai a donc également attiré notre attention sur l'importance de l'équilibre potassium-magnésium dans une formule de fumure.

ESSAI FACTORIEL EN FORÊT

Les conditions

Cet essai, mis en place en 1954 avec des plants de 6 mois d'une descendance F1 illégitime de B.10, a pour but de tester l'influence sur la croissance et la production des divers éléments susceptibles d'être utilisés dans une fumure du caféier et éventuellement les interactions favorables.

Il s'agit d'un essai factoriel, 2^e incomplet, sans répétition, et comportant 32 parcelles élémentaires réparties en deux blocs équilibrés. Chaque parcelle élémentaire comprend 3 lignes de 19 caféiers dont la seule ligne médiane est analysée.

Les conditions de sol des parcelles sont le résultat des travaux d'essouchage et de débardage d'une grosse forêt secondaire. A l'analyse, on obtient les caractéristiques suivantes :

Eléments fins	: 22 %
Matière organique	: 2,40 %
Calcium échangeable	: 4 m.e./100 g
Magnésium échangeable	: 0,60 m.e.
Potassium échangeable	: 0,40 m.e.
Phosphore acidosoluble Truog :	5 à 8 ppm

Du point de vue valeur agronomique, il s'agit donc d'un sol moyennement pourvu en éléments assimilables, avec une insuffisance de magnésium par rapport au potassium et un manque de phosphore acidosoluble.

Fumures

Toutes les combinaisons factorielles de six facteurs, azote, phosphore, potassium, magnésium, oligo-éléments et matière organique à deux doses chacun furent mises en expérience à l'exclusion de celles groupant un nombre impair de facteurs, soit au total $\frac{64}{2} = 32$ combinaisons. Le facteur oligo-éléments correspond à un mélange sulfate de magnésium, sulfate de zinc, sulfate de cuivre, borate de soude jusqu'en 1958. En 1959, l'objet CaO est supprimé et remplacé par du magnésium à forte dose. Le mélange d'oligo-éléments ne comprend plus de magnésium. La matière organique

TABLEAU 4. — Dose d'engrais sur l'essai factoriel général en forêt (g par arbuste)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₄ Zn	SO ₄ Cu	Borate Na	CaO	Matière organique
1954	16	16	18	0,5	1	1	1	6,0	650
1955	16	16	30	0,8	1,5	1,5	1,5	6	3.000
1956	20	24	30	1,6	3	3	3	7	6.000
1957	30	38	36	2,4	5	5	5	15	6.000
1958	50	60	60	5	5	5	5	24	10.000
1959	70	100	90	32	10	—	10	—	20.000
1960	50	60	72	32	10	—	10	—	20.000
1961	68	95	90	34	10	—	10	—	15.000

répandue est un fumier de bovin, sauf la première année où il s'agissait de parches de café traitées préalablement au « Bactefat ».

Les engrais furent apportés sous forme de sulfate d'ammoniaque, de chlorure de potassium, de phosphate bicalcique, de carbonate de calcium ou de chaux éteinte.

Les doses employées pendant les six années de l'essai figurent dans le tableau 4, les épandages étant fractionnés selon la même méthode que dans l'essai précédent (2 épandages par an sauf la 1^{re} année où toute la dose fut appliquée en 1 fois).

Les doses d'engrais N P K Mg Ca sont faibles ou moyennes, les doses d'oligo-éléments et de fumier sont relativement élevées.

Les résultats

Les premières mesures, en 1956, portèrent sur la croissance en hauteur et la circonférence moyenne basale. Elles révélèrent l'action bénéfique de l'azote et l'action dépressive du potassium en mai 1956 sur la croissance en hauteur. En décembre de la même année, il existait seulement une différence significative sur la circonférence basale en faveur de l'azote. Sur le rendement de 1956, il y avait une tendance à l'action positive de l'azote et négative du potassium.

Les résultats de récolte sont les suivants (moyenne en kg de cerises fraîches par arbre) :

Années	avec azote	sans azote	Supplément de récolte avec azote	
			par année	cumulé
1956	0,120	0,065	0,055	0,055
1957	1,110	0,740	0,370	0,425
1958	8,560	5,920	2,640	3,065
1959	5,726	5,378	0,348	3,413
1960	12,860	10,660	2,200	5,613
1961	4,200	3,958	0,242	5,855

Plus petite différence significative pour les 6 récoltes cumulées à $P = 0,05$: $d = 1,073$.

En 1961, année du recépage total avec tire sève des caféiers, l'influence de l'azote est moins marquée ; toutefois, on peut noter que la production en café marchand sur une seule branche a atteint 0,924 kg de moyenne pour les parcelles avec azote contre 0,870 kg dans les parcelles sans azote.

Les autres éléments furent sans effet sur la récolte : calcium et magnésium du fait d'un apport probablement trop faible pour marquer ; matière organique et oligo-éléments pour des raisons non connues.

L'interaction azote/phosphore est positive et significative depuis 1958. Les moyennes de production du facteur N × P pour les 6 récoltes cumulées sont (en kg de cerises fraîches par pied) :

N1 — P1 = 33,61	
N1 — P0 = 32,02	Ecart type de
No — P1 = 25,57	l'interaction
No — P0 = 28,43	NP = 2,58

Le phosphore associé à l'azote augmente le rendement.

Contrôle de l'alimentation

Les analyses de diagnostic foliaire (tableau 5) montrent que la différence d'alimentation azotée entre les parcelles avec azote et les parcelles sans azote n'a lieu qu'en début de saison des pluies. L'influence favorable de l'azote serait donc due principalement à une amélioration de la croissance permettant en fin d'année un plus grand nombre de glomérules. En 1957, donc pour la récolte 1958, les taux respectifs moyens sont de 2,94 % N et 3,22 % ; en 1958 de 3,32 et 3,52 % : ces derniers taux se situent à un niveau maximum d'alimentation du caféier et il est vraisemblable que l'on se trouve dans la zone d'alimentation « de luxe » de sorte que les différences observées n'ont plus d'effet sur la croissance.

Du fait que les différences d'alimentation azotée ne se maintiennent pas toute l'année, d'une part, que le taux moyen en décembre se situe vers la limite inférieure des bonnes valeurs, d'autre part, il semble que l'on puisse avancer que la fréquence des

épandages n'est pas suffisante ou que les doses employées ne sont pas assez fortes.

TABLEAU 5. — Variation des taux moyens d'azote dans les feuilles de caféiers de l'essai factoriel en forêt (N% de matière sèche)

	Parcelle avec azote	Parcelle sans azote
Avril 1957	3,22	2,94
Juillet	2,70	2,63
Septembre	2,42	2,45
Décembre	2,61	2,56
Mai 1958	3,52	3,32
Juillet	3,05	3,02
Septembre	2,74	2,67
Décembre	2,60	2,57

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

Nous avons vu que l'apport d'azote et l'interaction N P provoquaient une augmentation sensible de la récolte : il est donc intéressant de faire un calcul de rentabilité de l'emploi de l'engrais.

Pour le caféier on admet que l'engrais appliqué une année n'a d'effet que sur la récolte de l'année suivante, en favorisant d'une part la croissance et d'autre part la floraison de l'année où il est apporté. On considère que l'influence directe sur la récolte pendant est incertaine et ne se manifestera surtout qu'en diminuant la chute de juin, fréquente sur les arbres trop chargés et à nutrition paraissant insuffisante.

Pour calculer la rentabilité de l'engrais, il conviendrait donc de ne pas tenir compte des engrais appliqués l'année de la récolte.

Fumure azotée

Pour les trois premières années, il a été épandu 260 kg de sulfate d'ammoniaque à l'hectare nécessitant 10 journées de manœuvres à 120 F (on estime très largement qu'il faut 2 manœuvres par hectare à chaque épandage). Le supplément de récolte étant de 93,5 kg/ha de café marchand, on obtient :

Plus-value de récolte.... : 100 F × 93,5 = 9.350 F (*)
 Achat d'engrais : 35 F × 260 = 9.100 F
 Frais d'épandage : 120 F × 10 = 1.280 F

On peut donc estimer que le supplément obtenu à la première récolte permet de payer les frais des engrais appliqués pendant les trois premières années.

A la septième année on a épandu au total par hectare 1.260 kg de sulfate d'ammoniaque nécessitant 28 journées de manœuvres. Le supplément de

(*) Francs C. F. A.

récolte étant de 1.300 kg de café marchand à l'hectare pour les 6 récoltes cumulées, on obtient :

Plus-value de récolte.... : 100 F × 1.300 = 130.000 F
 Achat d'engrais : 32 F × 1.260 = 40.320 F
 Frais d'épandage : 120 F × 28 = 3.360 F

La marge bénéficiaire brute est donc de 86.320 F à l'hectare et si l'on tient compte des frais supplémentaires dus à l'excès de récolte (environ 15 F par kg), le gain net doit s'établir vers 66.000 F à l'hectare pour l'ensemble des 6 récoltes.

Il est nécessaire de calculer le bénéfice apporté par les engrais sur plusieurs récoltes, car certaines années l'engrais n'apporte aucun supplément de récolte (floraison grillée ou destruction parasitaire).

Fumure N P

L'augmentation de rendement due à l'interaction N P est de 350 kg de café marchand à l'hectare sur l'ensemble des récoltes cumulées. Le bilan de la fumure phosphatée s'établit donc ainsi :

Plus-value de récolte : 100 F × 350 = 35.000 F
 Achat de 790 kg de phosphate bicalcique : 35 F × 790 = 27.650 F
 Frais d'épandage : 120 F × 14 = 1.680 F
 Frais supplémentaires de récolte, d'usinage et de commercialisation..... : 15 F × 350 = 5.250 F
 Total 34.580 F

L'emploi du phosphate bicalcique au prix actuel est donc sans intérêt au point de vue économique, dans des conditions similaires à celles de l'essai.

ESSAI D'ENGRAIS EN SAVANE

Les conditions

Cet essai mis en place en 1954 avec des plants de 6 mois, descendance illégitime F2 de la lignée A 445, comprend 8 blocs de deux parcelles, chaque parcelle comprenant 3 lignes de 24 caféiers.

Le terrain où l'essai est implanté est extrêmement pauvre et les caractéristiques sont les suivantes :

Argile + limon : 12 à 15 %
 Matière organique : 1,35 %
 Calcium échangeable : 1,50 m.e
 Magnésium échangeable : 0,20 m.e
 Potassium échangeable : 0,20 m.e

Ainsi, alors que le taux de potassium est convenable, les éléments alcalino-terreux sont très déficients, et la matière organique est également nettement insuffisante.

Fumure

Le but de l'essai était de comparer deux méthodes d'apport de l'azote, soit en fractionnant la dose

annuelle en deux fois, soit en trois fois, une fumure complémentaire de fond étant apportée. Cette fumure complémentaire comprenait au début de l'expérience du phosphate bicalcique, du chlorure de potassium, un mélange d'oligo-éléments (bore, cuivre, zinc), du sulfate de magnésium, de la chaux et du fumier. Par la suite, les résultats de diagnostic foliaire ont conduit à modifier cette fumure de fond en augmentant la dose de sulfate de magnésium et en supprimant le chlorure de potassium, puis finalement les oligo-éléments et le calcium pour obtenir une fumure N-P-Mg et matière organique.

Au cours des années, les doses employées furent celles indiquées dans le tableau 6.

A partir de 1958, l'azote a été épandu soit en 2 fois, soit en 4 fois au lieu de 3.

Résultats

Les premières mesures effectuées sur cet essai portèrent sur le développement en hauteur et la circonférence basale des troncs. Pour les deux catégories de mesure, il y avait en 1956 et début 1957, une très nette différence significative avec la ligne témoin, mais pas de différence entre les deux types de fréquence d'épandage de l'azote. Signalons que le témoin est représenté par une ligne unique séparant les blocs en deux groupes de quatre. Statistiquement, sa valeur représentative est faible, mais, vu les différences observées très importantes avec les parcelles à engrais, il peut être utile de le considérer. Un essai voisin ne recevant pas d'engrais présente d'ailleurs des arbustes ayant le même aspect que cette ligne témoin.

Les récoltes sont données dans le tableau 7.

Les récoltes de la ligne témoin montrent la très médiocre valeur du terrain. Les récoltes des parcelles recevant des engrais sont beaucoup moins importantes que pour des parcelles d'âge correspondant en forêt : il semble que le développement des arbustes a été retardé d'au moins un an.

TABLEAU 7. — Récoltes effectuées sur l'essai de savane (moyenne par pied en kg de cerises fraîches).

	N en 2 fois (b)	N en 3 fois (c)	Productions cumulées		Ligne témoin
			b	c	
1956	nul	nul	—	—	nul
1957	0,044	0,085	0,044	0,085**	0,002
1958	0,409	0,682	0,453	0,767**	0,007
1959	2,327	3,043	2,780	3,810*	0,011
1960	7,005	7,907	9,785	11,717	0,510
1961	10,196	10,545	19,981	22,262	0,480

** Effet significatif à P = 0,01

* Effet significatif à P = 0,05

L'avantage de l'épandage fractionné de l'azote en 4 fois apparaît nettement jusqu'en 1959. A partir de 1960, l'effet du fractionnement de l'épandage de l'azote diminue progressivement et passe à 3,4 % lors de la dernière récolte en 1961.

On peut supposer que cette disparition progressive de l'avantage procuré durant les premières années de plantation par un épandage fractionné est dû, compte tenu du niveau élevé de la production en 1960 et 1961, à une insuffisance de la fumure azotée (67 unités par ha) et également au fait que, le système racinaire des caféiers ayant atteint un plus grand développement, les pertes par lessivage seraient moins importantes dans une plantation adulte.

Contrôle de l'alimentation

Les résultats de diagnostic foliaire ont mis en évidence le déséquilibre alimentaire des caféiers et permettent d'expliquer pourquoi, malgré un développement presque normal, la récolte fut nulle en 1956, très faible en 1957 et encore bien insuffisante en 1958. L'apport d'azote provoquait bien une croissance meilleure de l'arbre, mais les glomérules n'avaient que quelques cerises, la floraison étant très mauvaise du fait d'un rapport (Ca + Mg)/K très éloigné de l'optimum.

TABLEAU 6. — Doses d'engrais employées sur l'essai de savane (g par arbre)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Fumier	SO ₄ Cu	SO ₄ Zn	Borate Na
1955	16	16	30	1	6	3.000	2	2	2
1956	20	24	18	5	15	8.000	3	3	3
1957	30	40	30	6	15	16.000	5	5	5
1958	50	60	—	20	30	20.000	5	5	5
1959	64	60	—	25	—	20.000	—	20	20
1960	64	100	—	32	—	20.000	—	—	—
1961	67	95	—	54,5	—	15.000	—	—	—

TABLEAU 8. — Diagnostic foliaire sur l'essai d'engrais de savane (% de matière sèche)

Date	Avec 3 ou 4 épandages d'azote					Témoin				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
17.XII.1956	2,19	0,09	2,12	0,85	0,11	2,45	0,10	1,48	1,36	0,28
20.XII.1957	2,23	0,12	2,79	0,95	0,13	2,41	0,11	2,72	1,06	0,13
9.XII.1958	2,46	0,12	2,43	1,14	0,15	2,64	0,12	2,51	0,95	0,14
7.XII.1959	2,35	0,12	2,04	1,31	0,21	2,16	0,11	2,34	0,94	0,16
13.XII.1960	2,33	0,11	1,80	1,52	0,25	2,60	0,10	2,25	1,02	0,21

Ce n'est qu'à partir de 1958 et surtout en 1959, lorsque les doses d'engrais magnésiens deviennent plus fortes et que l'apport de potassium cesse, que la nutrition du caféier s'améliore nettement. Néanmoins, le taux de magnésium est encore insuffisant et les doses d'engrais devront être augmentées. Les accroissements de production sensibles devraient avoir lieu avec une alimentation mieux équilibrée.

Il est difficile de calculer la rentabilité de cet essai étant donné que la fumure de fond n'a pas toujours été la meilleure et ne l'est peut-être pas encore. Cependant, l'importance des deux dernières récoltes ne peut laisser de doute sur la valeur de l'apport des engrais, même sur un sol très dégradé.

ESSAI FACTORIEL N P Mg EN FORÊT

Les conditions

A la suite des résultats obtenus dans les deux essais précédents, il a été mis en place en 1958 un nouvel essai factoriel 2³ N P Mg en forêt sur des caféiers implantés en 1955. Il y a 3 répétitions : chaque parcelle comporte 3 lignes de 8 caféiers et est séparée de la voisine par une ligne neutre.

Le but de l'essai est de tester la valeur d'une fumure sans potasse, la rentabilité d'une fumure magnésienne dont le besoin théorique est net sans qu'il y ait déficience aiguë ; les interactions entre ces trois éléments.

Les conditions de terrain sont différentes de celles des deux essais précédents et se rapprochent beaucoup de celles du premier essai N P K en forêt. C'est un sol où la forêt a été brûlée et donc assez enrichi, ce que confirment les résultats d'analyse.

Argile + limon	: 15 à 20 %
Matière organique	: 2,20 %
Calcium échangeable	: 11 m.e./100 g
Magnésium échangeable	: 0,90 m.e
Potassium échangeable	: 0,75 m.e
Phosphore acidosoluble Truog	: 100 ppm

Ces résultats montrent qu'il existe un déséquilibre Mg/K, le rapport étant trop faible, et que la nutrition en phosphore a toute chance d'être suffisante.

Fumure

L'azote a été appliqué sous forme ammoniacale, le phosphore sous forme de phosphate bicalcique et le magnésium sous forme de sulfate heptahydraté. Le phosphore est appliqué en une fois, les autres engrais en 4 fois à quantités égales.

TABLEAU 9. — Engrais apportés à l'essai factoriel NPMg en forêt (g par arbre)

Année	N	P ₂ O ₅	MgO
1958	62	40	19
1959	64	92	32
1960	64	92	32
1961	75	92	34

Les résultats

La récolte de 1958 qui n'a pu être grandement influencée par les engrais montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements au début de l'expérience.

Les récoltes moyennes cumulées 1959-1960 et 1961 donnent pour les effets principaux (en kg de cerises fraîches par pied) :

N = 22,53	P = 20,47	Mg = 21,68
No = 19,44	Po = 21,49	Mgo = 20,29

Les différences ne sont pas significatives. Il semble que sur arbres âgés, la fumure soit plus longue à marquer et que les caféiers mettent un certain temps pour se libérer de leur passé nutritif et réagir à la fumure.

PRINCIPES POUR CONSTITUER UNE FORMULE D'ENGRAIS

Ces principes se sont dégagés progressivement des résultats que nous avons passé en revue et des analyses nombreuses qui ont accompagné les essais. Ces principes mettent en évidence la nécessité de l'azote, la valeur des équilibres NP et K Mg.

Nécessité de l'azote

L'azote est la base des formules d'engrais, tant par son importance pour une bonne production que par le fait que les conditions culturales conduisent à une nutrition azotée tout juste suffisante : absence d'ombrage, plante de couverture mal traitée.

Equilibre N P

Il existe une interaction favorable NP qui se manifeste principalement pendant la période de croissance. Cependant, l'effet en semble insuffisant pour rendre la fumure phosphatée rentable dans les conditions actuelles.

Le rapport P_2O_5/N ne doit pas dépasser 1 et plus vraisemblablement rester entre 0,5-0,7.

Equilibre NK Mg

Les apports de potassium ou de magnésium ne sont conseillables simultanément que dans le cas

d'une dose d'entretien d'une plantation à alimentation équilibrée ou lorsque le sol très fragile a un complexe absorbant très peu saturé. Ces apports doivent toujours être accompagnés d'un épandage d'azote. Les besoins globaux d'exportation par la récolte du caféier donnent un équilibre N/K_2O de 0,75. On peut donc avoir un équilibre $N/K_2O = 0,5$ pour une déficience légère en potasse et $N/K_2O = 0,35$ en cas de déficience grave. Plus la formule s'éloigne de l'équilibre normal, moins elle doit être appliquée longtemps sans contrôle. L'apport de MgO, tel qu'il a été défini d'après les données du diagnostic foliaire, mène à la conception de formules d'équilibre N/MgO de 1,25, pour les cas les plus courants, et voisin de 0,6 pour les déficiences les plus fortes en magnésium en sols très argileux.

Formules complètes

L'exportation de la récolte entraînant, pour être juste compensée, une formule d'équilibre NPK se rapprochant de 1-0,7-1,3, il est possible, connaissant soit les résultats du diagnostic foliaire, soit les caractéristiques du sol, d'établir les principaux types de formules d'engrais appropriées pour le caféier Robusta, avec comme restriction l'absence de carence induite grave.

Type de nutrition	Equilibre entre éléments				Taux d'azote (g)
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	
Excès K, carence grave Mg	1	0,6	0	1 -1,6	60-100
Léger excès K, déficience légère Mg	1	0,6	0	0,8	60
Léger déséquilibre dans sol léger	1	0,6	1,3	0,8	50-60
Très bonne	1	0,6	1,3	0,5-0,8	40-60
Légerement déficiente K	1	0,7	1,3	0	40-60
Très déficiente K, légère déficience P	1	0,8	2,0	0	60
Très déficiente K-P	1	0,8	2,8	0	60-100
Très déficiente K-P	1	1	2,8	0	60-100

CONCLUSIONS

Ainsi, les premiers essais de fertilisation du caféier à la station de Boukoko ont permis de préciser les bases de la fumure minérale de cette culture. La plupart des essais ont porté sur un cycle total de production des caféiers, c'est-à-dire de la plantation au recépage, ce qui permet de pallier la variation des conditions météorologiques et d'apprécier l'effet des engrais sur plusieurs récoltes.

Les résultats mentionnés dans cette note ont mis en évidence :

a) l'interdépendance des effets des différents éléments fertilisants. C'est une confirmation de la loi du minimum en région tropicale ;

b) la nécessité d'adapter les formules de fumure aux conditions locales de fertilité du sol et d'en contrôler périodiquement, par le diagnostic foliaire,

l'effet sur la nutrition minérale du caféier, afin de pouvoir apporter d'éventuelles corrections ;

c) étant donné le prix de revient élevé des engrais en République Centrafricaine, l'application d'une fumure minérale ne pourra être rentable que si elle est faite à bon escient et s'accompagne d'une amélioration simultanée des techniques culturales. Il est possible d'obtenir grâce à la fumure azotée un

bénéfice net à l'hectare de l'ordre de dix à douze mille francs CFA par an.

L'augmentation de la production mondiale des engrais azotés et la tendance à la baisse du cours de ces engrais devraient inciter un plus grand nombre de planteurs de café de R. C. A. à s'engager dans la voie de la fertilisation minérale.

BORGET (M.), DEUSS (J.), FORESTIER (J.). — **Quelques résultats des essais d'engrais sur *C. robusta* au Centre de Recherches de Boukoko (République Centrafricaine).** *Café Cacao Thé* (Paris) 1963, vol. VII, n° 1, p. 22-32.

Les Auteurs donnent ici les résultats de quatre essais d'engrais effectués au Centre de Boukoko (République Centrafricaine) dont trois furent implantés après forêt et un après savane.

Ces premiers essais de fertilisation du caféier en République Centrafricaine ont permis de préciser les bases de la fumure minérale de cette culture. La plupart des essais ont porté sur un cycle total de production des caféiers, c'est-à-dire de la plantation au recépage, ce qui permet de pallier la variation des conditions météorologiques et d'apprécier l'effet des engrais sur plusieurs récoltes.

Les principes pour constituer une formule d'engrais, qui se sont dégagés des résultats exposés par les Auteurs, mettent en évidence la nécessité de l'azote, la valeur des équilibres NP et K Mg.

Il existe une interaction favorable N P, mais l'effet en semble cependant insuffisant pour rendre la fumure phosphatée rentable dans les conditions actuelles. Le rapport P_2O_5/N ne doit pas dépasser 1 et plus vraisemblablement rester entre 0,5-0,7.

Les apports de potassium ou de magnésium ne sont conseillables simultanément que dans le cas d'une dose d'entretien d'une plantation à alimentation équilibrée ou lorsque le sol très fragile a un complexe absorbant très peu saturé. Ces apports doivent toujours être accompagnés d'un épandage d'azote. Les besoins globaux d'exportation par la récolte du caféier donnent un équilibre N/K_2O de 0,75. L'apport de MgO , tel qu'il a été défini d'après les données du diagnostic foliaire, mène à la conception de formules d'équilibre N/MgO de 1,25.

La formule d'équilibre N P K se rapprochant de 1-0,7-1,3, les Auteurs ont établi en fonction des résultats du diagnostic foliaire ou des caractéristiques du sol les principaux types de formules d'engrais appropriées pour le caféier Robusta, en l'absence de carence induite grave.

D'une façon plus générale ces résultats ont mis en évidence :

1. — l'interdépendance des effets des différents éléments fertilisants,
2. — la nécessité d'adapter les formules de fumure aux conditions locales de fertilité du sol et d'en contrôler périodiquement, par le diagnostic foliaire, l'effet sur la nutrition minérale du caféier, afin de pouvoir apporter d'éventuelles corrections,
3. — la possibilité d'obtenir grâce à la fumure azotée un bénéfice net à l'ha de l'ordre de dix à douze mille francs CFA par an. Etant donné le prix de revient élevé des engrais en République Centrafricaine, l'application d'une fumure minérale ne pourra être rentable que si elle est faite à bon escient et s'accompagne d'une amélioration simultanée des techniques culturales.

BORGET (M.), DEUSS (J.), FORESTIER (J.). — **Some findings resulting from fertilizer experiments on *C. robusta* at the « Centre de Recherches de Boukoko »** (République Centrafricaine). *Café, Cacao, Thé*, Paris, 1963, vol. VII, n° 1, p. 22-32.

The Authors are giving hereafter the results obtained from four fertilizer experiments carried out at the « Centre de Boukoko » (République Centrafricaine) among which three were laid out after forest and one after savannah clearing.

BORGET (M.), DEUSS (J.), FORESTIER (J.). — **Einige Ergebnisse aus Düngungsversuchen auf *C. Robusta* in (Zentralafrikanische Republik) der Forschungsstation von Boukoko** *Café, Cacao, Thé*, Paris, 1963, vol. VII, n° 1, p. 22-32.

Die Verfasser geben hierunter die Ergebnisse aus vier in der Station Boukoko (Zentralafrikanische Republik) ausgeführten Düngungsversuchen von den drei auf ehemaligem Wald und eins auf Savanneland.

BORGET (M.), DEUSS (J.), FORESTIER (J.). — **Algunos resultados de ensayos de fertilización de *C. robusta* en el Centro de investigaciones de Boukoko** (República Centrafricana). *Café, Cacao, Thé*, Paris, 1963, vol. VII, n° 1, p. 22-32.

Los Autores presentan aquí los resultados de cuatro ensayos de fertilización hechos en el Centro de Boukoko (República Centrafricana), de los cuales tres fueron implantados después de monte, uno después de sabana.

These initial fertilizer experiments on coffee, in the République Centrafricaine, have enabled to establish the basis for inorganic fertilization on this crop. Most of the experiments have included the whole of the coffee trees production cycle, i. e. from planting to cut-back, thus allowing for variations in meteorological conditions and for due appreciation of the influence of fertilizers on many harvests.

The principles for setting up a fertilization formula, which have been drawn from the results given by the Authors, stress the necessity of nitrogen together with the value of NP and K Mg balance. The existing NP interaction is beneficial as such, but its effect seems, nevertheless insufficient to render phosphatic manuring profitable under present conditions. The P_2O_5/N ratio should not be higher than 1 and, as a rule, remains between 0.5-0.7.

Simultaneous potash and/or magnesium dressings are only recommended as routine additions to plantations with a well balanced nutrition or to rather poor soils with hardly saturated retaining capacity. Such additions should always be made together with a nitrogen dressing. The total requirements removed by the coffee crop are equal to an N/K_2O equilibrium of 0.75. Addition of MgO , in terms of foliar analysis data, leads to the concept of 1.25 N/MgO formulae.

The expression of NPK balance being near to 1-0.7-1.3, the Authors have, in terms of foliar analysis results or of soils characteristics, established the main types of fertilizer mixtures convenient to Robusta coffee provided the tree is not affected by any severe induced deficiency.

Results mentioned in the above, on the whole, stressed :

1. — The interdependence of the effects due to the various fertilizing elements.

2. — The necessity of adapting manuring mixtures to local conditions of soil fertility and of checking, periodically, by means of foliar analysis the effect of such mixtures on the mineral nutrition of the tree, in order to be able to apply, if needed, the requisite modifications.

3. — The possibility of obtaining, by means of nitrogen manuring, a net profit amounting approximately from 10 to 12 thousand CFA francs per hectare/year. Given the high cost of fertilizers in the République Centrafricaine, mineral manure dressings will only be profitable provided they suit the purpose and cultural methods are improved at the same time.

Diese ersten Düngungsversuche auf Kaffeebaum in der Zentralafrikanischen Republik waren Gelegenheit zur Festsetzung einer Base für die Mineraldüngung dieser Kultur. Der grösste Teil dieser Versuche umfasste den ganzen Produktionszyklus, bzw. von Pflanzung bis zur Abholzung um damit meteorologische Bedingungen in Rechnung ziehen zu können und Einfluss des Düngerstoffes auf mehreren Ernten schätzen zu können.

Grundsätze für die Festsetzung einer Mischung Düngermittel, die von den Verf. Ergebnissen hervorgehoben worden sind, zeigen die Nötigkeit von Stickstoff sowie den Wert von NP und K Mg Ausgleichungen.

Es besteht eine günstige NP Interaktion, es scheint aber dass ihre Wirkung ungenügend ist um die Phosphatdüngung unter den jetzigen Bedingungen rentabel zu machen. Das Verhältnis P_2O_5/N darf nicht 1 übersteigen und nach aller Wahrscheinlichkeit zwischen 0,5-0,7 bleiben.

Gaben von Potassium oder Magnesium sind nur gleichzeitig zu empfehlen wenn es sich um die Instandhaltung einer Pflanzung mit balancierter Nahrung oder um einen zarten Boden mit ungesättigten Saugkomplex handelt. Mit solchen Gaben soll immer Stickstoff zugeführt werden. Die totale Ernteabgabe ergibt einen N/K_2O Ausgleich von 0,75. Die MgO Gabe, wie sie nach den Daten der Blattanalyse festgesetzt worden ist, leitet zur N/MgO Ausgleichung von 1,25.

Da die Ausgleichwerte von NPK sich von 1-0,7-1,3 nähern, haben Verfasser den Ergebnissen der Blattanalyse oder den Bodeneigenschaften nach die Haupttypen Düngerstoffmischungen für Robusta festgesetzt, unter der Bedingung, dass keine schwere induzierte Bedürftigkeit besteht.

Im allgemeinen haben diese Ergebnisse folgendes hervorgehoben :

1. — Interdependenz der Wirkung der verschiedenen Düngerelemente.

2. — Notwendigkeit die Düngermittelmischungen den lokalen Bodenfruchtbarkeitbedingungen anzupassen und deren Einfluss auf der Mineralnahrung des Kaffees regelmässig zu prüfen, so dass etwaige Änderungen ausgeführt werden können.

3. — Möglichkeit, dank einer Nitrogendüngung, ein netto Gewinn von zehn bis zwölftausend « francs CFA » pro Hektar/Jahr einzubringen. Da der Kostpreis der Düngerstoffe in der Zentralafrikanische Republik hoch steht, kann die Zufuhr einer Mineraldüngung nur rentabel werden wenn es die Lage entspricht und wenn zu gleicher Zeit die Bewaumungsmethode verbessert werden.

Estos primeros ensayos hechos en la República Centroafricana permitieron precisar las bases de la fertilización mineral del café. En la mayor parte de los ensayos fué considerado un ciclo total de producción de los cafetos, es decir de la plantación al remozado, lo que permite eliminar el efecto de las variaciones meteorológicas y evaluar la acción de los fertilizantes sobre varias cosechas.

De los resultados presentados por los Autores se sacan unos principios para la elaboración de una fórmula de fertilización entre los cuales se destacan la necesidad del nitrógeno y el valor de los equilibrios NP y K Mg.

Hay una interacción favorable N P ; sin embargo parece insuficiente el efecto para que la fertilización fosfatada se pueda utilizar económicamente en las condiciones actuales. La relación P_2O_5/N no debe ser superior a 1 y se hallara más bien comprendida entre 0,5 y 0,7.

Aportes simultáneos de potasio o de magnesio sólo se aconsejan en el caso de una dosis de mantenimiento en los cafetales cuya alimentación sea equilibrada o cuando un suelo muy frágil tenga un complejo absorbente muy poco saturado. Estos aportes deben siempre acompañarse de una fertilización nitrogenada. Las necesidades globales concernientes los elementos exportados por la cosecha dan un equilibrio N/K_2O igual a 0,75. El aporte de MgO tal como ha sido definido basándose en los datos del diagnóstico foliar lleva a la concepción de fórmulas de equilibrio N/MgO iguales a 1,25.

La fórmula de equilibrio NPK estando cerca de 1-0,7-1,3, los Autores establecieron en función de los resultados del diagnóstico foliar o de las características del suelo los tipos principales de fórmulas de abonamiento apropiadas, siempre que no se encuentre carencia inducida grave.

Más generalmente estos resultados evidenciaron :

1. — la interdependencia de los efectos de los varios nutrientes,

2. — la necesidad de adaptar las fórmulas de fertilización a las condiciones locales de feracidad del suelo y de controlar periódicamente con el diagnóstico foliar su efecto sobre la nutrición mineral del café para hacer eventualmente las correcciones necesarias.

3. — la posibilidad de obtener gracias a la fertilización nitrogenada un beneficio anual neto de diez a doce mil francos CFA por hectárea. En vista del alto costo de los fertilizantes en la República Centroafricana, éstos sólo produzcan beneficio si se aplican a sabiendas y conjuntamente con un mejoramiento de las técnicas de cultivo.

CAFÉ
CACAO
THÉ

Extrait des n^{os} 4-1961
3-1962, 1-1963, 2-1964

Études sur la nutrition minérale
du caféier *C. canephora* (Robusta)
en République Centrafricaine
(Centre de Recherches
Agronomiques de Boukoko)

J. FORESTIER
J. DEUSS

M. BORGET

23 MAI 1966

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

N^o : 20 133-20137

Cote : B.

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

~~Collection de Référence~~

~~n^o 70~~

~~31 MAI 1965~~

Bio et
Annuel