

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 agrologique 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 racelles 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 racelles 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 alliaient 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).

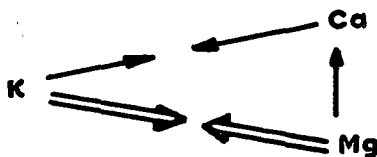
Pour le calcium, le magnésium et le potassium, il a été facile de déterminer les bases échangeables des sols. Pour le phosphore, cela n'était pas possible et nous avons dû doser le phosphore dit « assimilable ». Beaucoup des méthodes actuellement employées pour doser le phosphore dit « assimilable »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

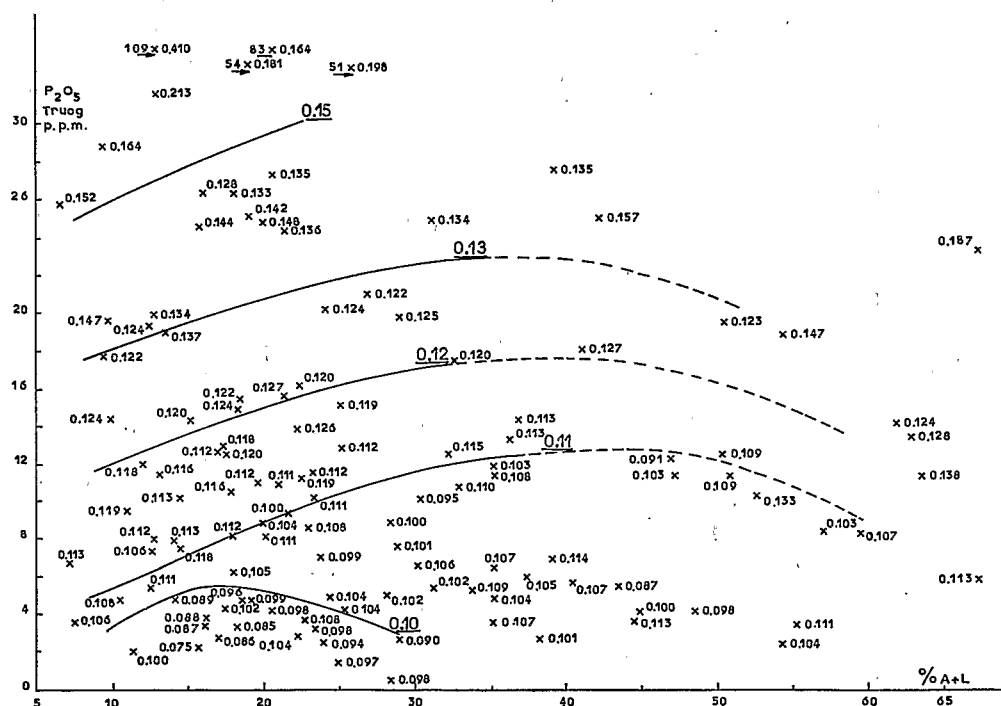
Phosphore

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 sesquioxides 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.

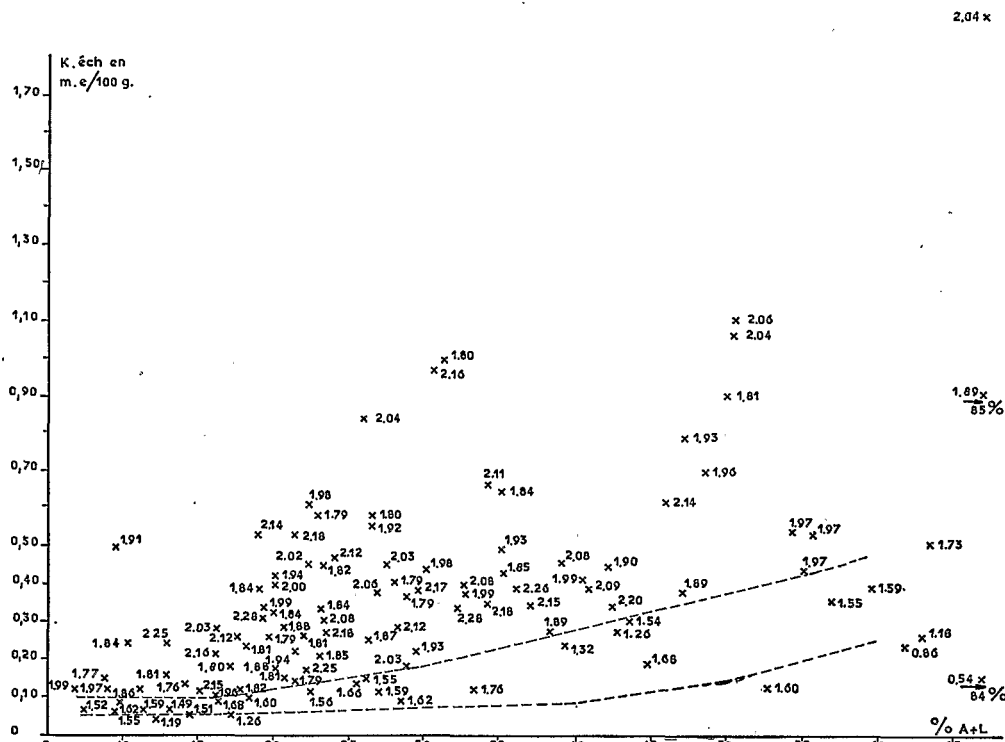
Pour définir les niveaux de bonne alimentation potassique, nous nous basons sur les données concernant la nutrition des groupes de caféiers ayant fourni les plus fortes productions. Ainsi, la nutrition potassique pour un diagnostic foliaire effectué au début de la saison sèche, avant la floraison, doit 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



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

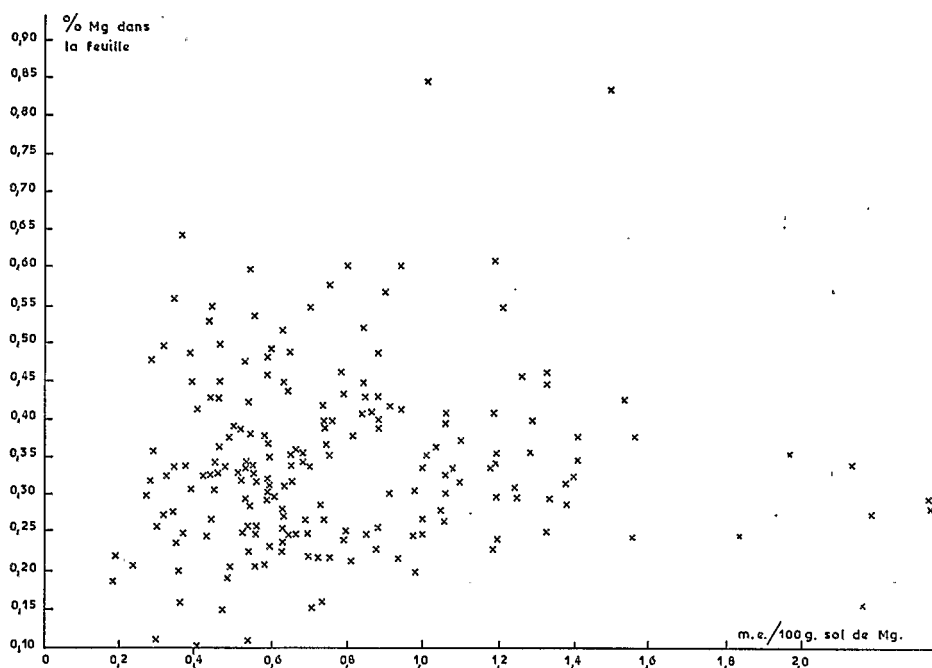
Avant d'établir toute relation entre les caractéristiques du sol et la nutrition magnésienne du caféier, il était nécessaire de déterminer les taux de magnésium dans la feuille pour lesquels la nutrition en cet élément peut être dite bonne. Comme pour le potassium, nous nous sommes servis des résultats 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.

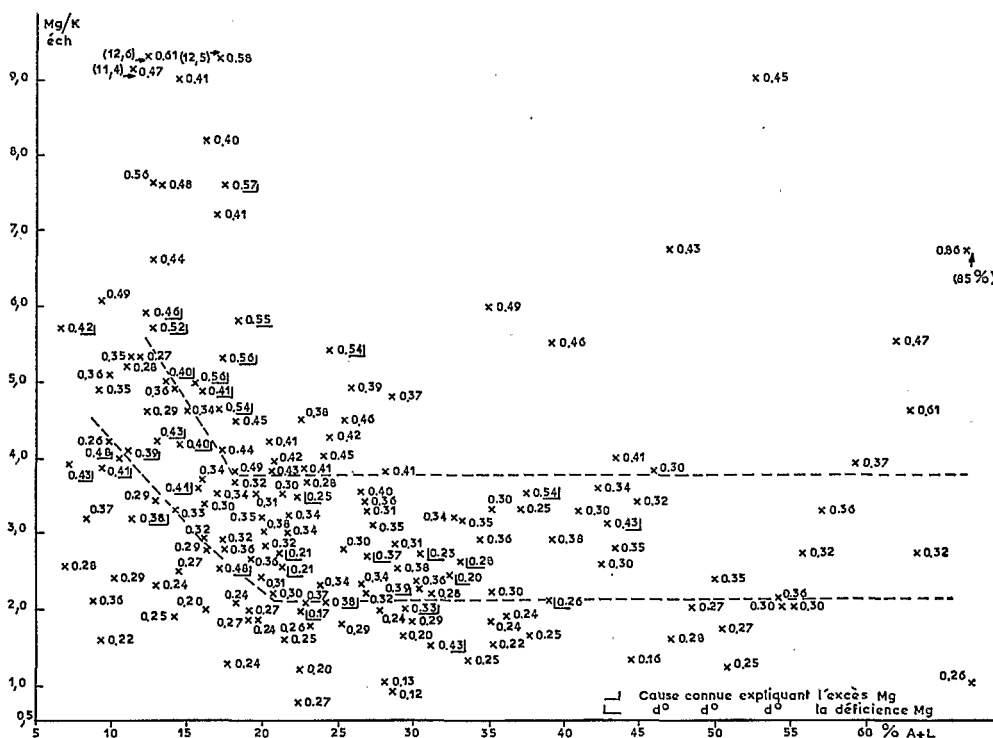
Un premier essai de corrélation ne tenant compte que du taux de magnésium échangeable du sol a montré qu'il n'y avait aucune relation directe simple entre le magnésium échangeable et la nutrition magnésienne du caféier (graphique 3). Un second essai prenant en considération le taux de

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 magnésienues très faibles pour des rapports Mg/K échangeables des sols correspondant théoriquement à de bonnes nutriments magnésienues, 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.

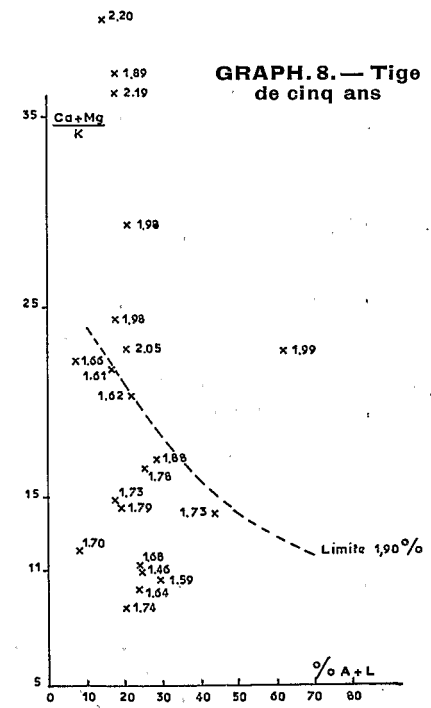
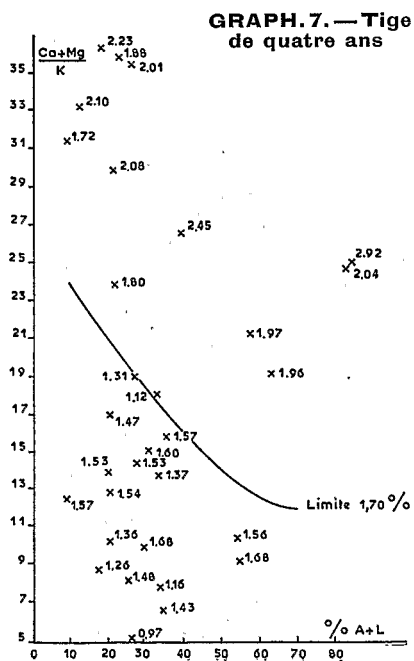
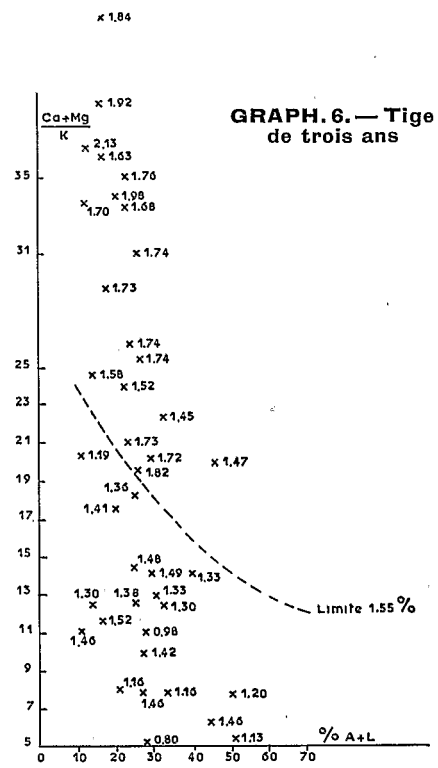
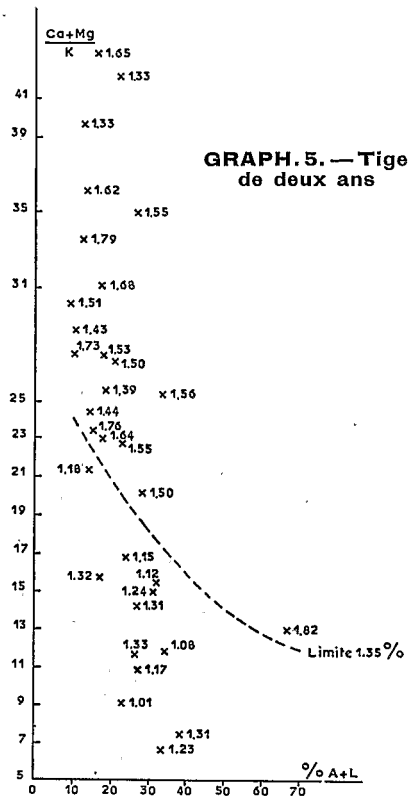
Potassium

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.

Déficiencia légère K échangeable/éléments fins

Pour le potassium, il existe une déficiencia 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



Déficiences légères : pourcentage de K échangeable faible

Dans d'autres cas, cette déficience 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) Déficience 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) Déficience 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) Déficience 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.

Déficience 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.

Déficience 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).

Déficience 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 déficience 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 inexpliquée

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

Déficience 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 déficience 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).

Déficience 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 %.

Déficience magnésienne. Mg échangeable/éléments fins insuffisants

La déficience 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° échan- tillon feuille	Analyse du sol							Diagnostic foliaire			
		Elé- ments fins	Ca	Mg	K	Mg/K	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		9,9			0,17	
61	619	30,4		0,19	0,07	2,7		8,1			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).

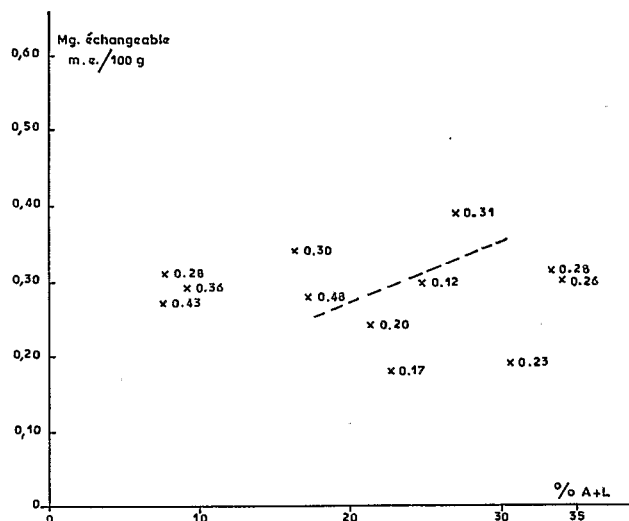
Mais le plus souvent ce rapport Mg/K échangeables supérieur à 3,8 n'est possible que par un taux trop faible de potassium échangeable dans le sol de sorte qu'à un excès magnésien se trouve presque toujours associée une déficience potassique légère (tabl. III, f).

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.

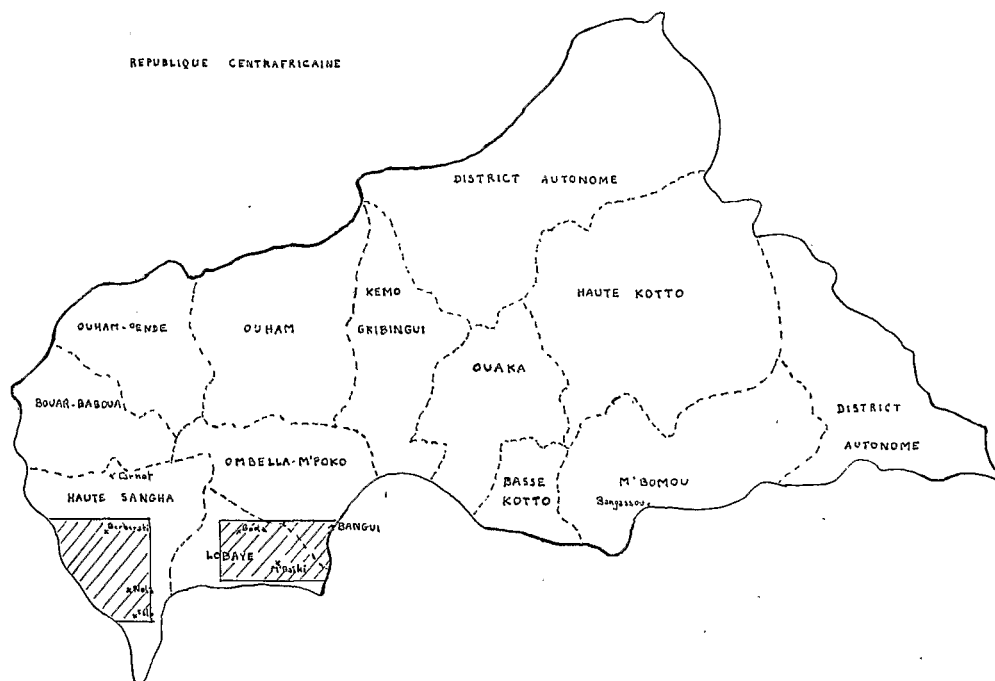
INFLUENCE DE LA ROCHE MÈRE SUR LA NUTRITION CATIONIQUE

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 du Karroo	Grès de Carnot	Grès de Carnot
Discordance		
Système de la Lobaye	Série de Bouali-M'Baïki	
Discordance		
Système de la M'Poko	Série de la M'Bi Série de la Pama Série du Lin	Série de Nola Série de la Boné Série de la Kadéi
Discordance		
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.

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 % — Carence Ca et Mg

2) K échangeable légèrement déficient par rapport aux éléments fins

Mg/K < 2,1 — Carence Mg (< 0,20) 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 acid soluble 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
 puisqu'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.), LESANT (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 doive 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 Sodium 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 cafeto 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 cafeto 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 cafeto 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.

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 : 20 193-20197

Cote : B.

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

~~Collection de Référence~~

~~n^o 70~~

~~31 MAI 1965~~

Bio et
Amel