

SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA

Evolution des méthodes d'interprétation pour le
diagnostic foliaire de l'hévéa en rapport avec
l'évolution des connaissances sur les conditions
de sa nutrition

Revue bibliographique

P. COMPAGNON

Publication No. 44/81. janvier 1981



Institut de Recherches sur le Caoutchouc

Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)
42, rue Scheffer 75116 Paris (France) - Tél. : (1) 47 04 32 15

Télex : 620871 INFRANCA PARIS

SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA

Evolution des méthodes d'interprétation pour le
diagnostic foliaire de l'hévéa en rapport avec
l'évolution des connaissances sur les conditions
de sa nutrition

Revue bibliographique

P. COMPAGNON

Publication No. 44/81. janvier 1981

S O M M A I R E

	page
1. INTRODUCTION	1
2. LES PREMIERS TRAVAUX SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA	2
3. DEVELOPPEMENT DE TRAVAUX SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE AU RRIM	
3.1 Etude systématique du problème de l'échantillonnage et premières applications industrielles du diagnostic foliaire en Malaisie	6
3.2 La variation de la composition minérale avec l'âge des feuilles, autres facteurs de variabilité et leurs prises en compte dans l'interprétation des résultats	11
3.3 Développement en Malaisie de l'application pratique du diagnostic foliaire à la fertilisation et conjointement de l'analyse et de la connaissance pédologique des sols	20
3.4 Etude sur la composition minérale des diverses parties de l'arbre, les quantités d'éléments minéraux accumulés et leurs variations avec la croissance et divers autres facteurs	30
4. APPLICATIONS DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET MODALITES DE SON INTERPRETATION DANS D'AUTRES PAYS D'HEVEACULTURE	38
4.1 Au Sri-Lanka	39
4.2 En Indes	40
4.3 En Côte d'Ivoire	42
5. ETUDES SUR LA VARIABILITE DES RESULTATS D'ANALYSE ET LA VARIABILITE PROPRE A L'ECHANTILLONNAGE	44

ANNEXE I

ANNEXE II

BIBLIOGRAPHIE

SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA

- EVOLUTION DES METHODES D'INTERPRETATION POUR LE
DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA EN RAPPORT AVEC L'EVOLUTION DES
CONNAISSANCES SUR LES CONDITIONS DE SA NUTRITION -

Revue bibliographique

P. COMPAGNON

1. INTRODUCTION.-

Des diagnostics foliaires effectués systématiquement par l'IRCA sur les divers blocs de plusieurs plantations d'une Société de plantation établie à Sumatra, en Indonésie, ont permis de mettre en évidence une apparente influence de l'âge des cultures sur les niveaux dans les feuilles de certains éléments minéraux, essentiellement le Potassium et le Calcium.

S'agit-il d'un phénomène représentatif d'une variation des conditions nutritionnelles - que le diagnostic foliaire a précisément pour objet d'évaluer, - ou bien s'agit-il d'un phénomène lié à la variation avec l'âge d'un de ces nombreux facteurs inhérents à la physiologie de l'arbre, qui contribuent à l'établissement d'un certain niveau de tel et tel élément minéral dans le feuillage pour des conditions nutritionnelles données ? Si tel est le cas, il est important de chercher à élucider le phénomène. Une meilleure compréhension peut conduire à préciser certaines limitations du diagnostic foliaire, qui n'étaient pas perçues jusqu'ici. Mais peut-être, aussi, la mise en évidence de certaines lois de variation non connues, ou insuffisamment définies jusqu'à présent, pourraient permettre un nouvel affinement des interprétations et, éventuellement, leur extension .

En vue de situer le phénomène en question, chercher à en définir la nature et discuter de ses conséquences possibles, il est nécessaire, dans un premier temps, de rappeler les principales étapes des travaux qui ont eu pour objet commun, pour toutes les situations où le principe du diagnostic foliaire a été appliqué à l'Hévéa, de juger des conditions nutritionnelles et des besoins éventuels en engrais d'après la composition minérale des feuilles. Le problème sous son aspect général est bien connu :

1°/ la concentration en éléments minéraux des feuilles examinées doit bien refléter les changements de l'état nutritionnel en fonction des modifications de la fertilité des sols et, notamment, sous l'effet d'apports d'engrais,

2°/ les critères qui sont définis, et selon lesquels sont effectués les diagnostics foliaires doivent correspondre au meilleur rendement de l'espèce cultivée considérée et à sa meilleure croissance, lorsque le rendement en dépend, comme c'est le cas pour l'hévéa.

2. LES PREMIERS TRAVAUX SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE L'HEVEA.-

L'application du diagnostic foliaire à l'hévéa a été faite en premier lieu par CHAPMAN (1), en Malaisie. Les feuilles étaient prélevées sur des rameaux à croissance limitée, situés sur le côté de la couronne et qui, selon FALLOW (2), se trouvaient exposés en pleine lumière. CHAPMAN considérait que la productivité de toute unité de culture était déterminée par la valeur absolue de chaque élément dans les feuilles.

E.R. BEAUFILS développa ensuite, à l'I.R.C.I., pour le Vietnam et le Cambodge, un important travail de recherche sur l'utilisation de la composition minérale des feuillages, mais aussi du latex, pour la définition des besoins des cultures en fumure minérale (3) (4), dans un diagnostic qu'il appelait Diagnostic physiologique, parce qu'il ne se limitait pas à l'examen des feuilles. L'échantillonnage des feuilles, destiné à être pratiqué sur des plantations industrielles, s'appliquait, comme chez CHAPMAN, aux rameaux à croissance limitée (avec prélèvement des 3 feuilles les plus mûres du verticille), ceux-ci se trouvant à l'intérieur de la couronne et, de ce fait, à l'ombre (x).

Sans avoir été spécialement décrite pour l'hévéa, l'influence possible du développement de nouvelles feuilles au cours du cycle végétatif sur la composition minérale des feuilles déjà arrivées à maturité était connue ; l'échantillonnage des feuilles, tel que décrit plus haut, visait à réduire le plus possible cette influence.

Il était préconisé, en outre, de faire le prélèvement en début de matinée (7 h.30 à 10 h.30), et de constituer l'échantillon moyen avec, au minimum, une quinzaine d'arbres (4). Par la suite, le chiffre d'une trentaine d'arbres fut recommandé pour une surface de l'ordre de 25 ha.

BEAUFILS étudiant les aspects de la composition minérale, non seulement des feuillages, mais aussi du latex, en fonction des clones et de la fumure, mit en évidence diverses corrélations, qui se manifestaient entre les éléments minéraux dans les feuilles, dans le latex et entre feuilles et latex (4) (5).

BEAUFILS ayant examiné ces diverses corrélations a proposé une méthode d'interprétation, selon laquelle c'était la valeur de rapports d'éléments minéraux entre eux qui était considérée, et non les teneurs en valeur absolue de ces éléments (6) (7). C'est ainsi que pour ce qui concerne la composition minérale des feuillages et relève du diagnostic foliaire proprement dit, il a précisé les limites entre lesquelles les valeurs des rapports N/P, N/K et K/P pouvaient être considérées comme normales, les limites des zones dites de tendance au déséquilibre (dans un sens ou dans l'autre) et les limites de zones de net déséquilibre qui, pour chaque rapport, dénotent soit l'excès, soit la déficience, d'un des éléments par rapport à l'autre élément du rapport. La considération de l'ensemble des trois rapports permet de fixer les tendances, excès ou déficience, de chacun des trois éléments.

(x) On ne considérera en principe dans cette revue bibliographique, pour notre propos, que le problème du diagnostic foliaire des hévéas ayant atteint une maturité d'au moins 3 à 4 ans, c'est-à-dire ayant branché et formé leur couronne ; c'est d'ailleurs ce problème qui de loin tient le plus de place dans les publications.

Parmi les nombreuses relations étudiées par BEAUFILS, on rappellera également la mise en évidence d'une corrélation inverse très étroite entre la valeur du rapport $\frac{K}{Ca}$ des feuilles et la teneur en Magnesium du latex ($r = -0,721$). Cette relation présentait le grand intérêt d'établir un lien direct entre la composition minérale des feuilles et certaines caractéristiques de la composition du latex, dont la production pourrait dépendre dans certaines conditions. A cette époque, en effet, beaucoup d'observations ont été faites sur l'importance du rapport Mg/P dans les latex, en relation avec leur stabilité que l'on savait influencer sur la production (8). Cette notion d'une plus faible teneur en Mg et d'une plus forte teneur en P, comme critère de production, a également été discutée par J. RAMBEAUX et J.C. DANJARD (9) dans une étude réalisée au Cambodge. Enfin, son intérêt vient à nouveau d'être précisé en Malaisie par ESAH YIP et H.C. CHIN (10), dans un travail qui comporte des raffinements analytiques dus au développement des connaissances dans ces 15 dernières années.

Pour s'en tenir aux seuls critères d'interprétation foliaire dont nous nous occuperons ici, la variation de la composition minérale des feuilles au cours du cycle végétatif annuel était bien connue de E.R. BEAUFILS (11). Mais la méthode d'interprétation préconisée visait précisément, dans son ensemble, à "éliminer les critiques formulées habituellement contre la méthode du diagnostic foliaire", en évitant les effets des facteurs incidents de variabilité, l'âge des feuilles entre autres. Si l'on considère l'interprétation relative aux rapports N/P, N/K, K/P, on conçoit que les éléments N, P et K variant dans le même sens au cours du cycle végétatif et, semble-t-il, dans des proportions assez voisines, l'interprétation suivant les valeurs des rapports ne peut pas être affectée par l'âge des feuilles, comme elle l'est par référence à des valeurs absolues des éléments. Ceci et d'autres considérations avaient donc conduit cet auteur à préciser que la méthode d'interprétation préconisée pouvait permettre de "diagnostiquer directement n'importe quel hévéa, n'importe quand et n'importe où" (12). J.P. POLINIERE, qui poursuit ce travail dans la même voie au Vietnam (13), recommandait néanmoins d'effectuer les prélèvements de feuilles "si possible de juillet à septembre, afin d'analyser des feuilles d'environ 4 à 6 mois". On peut penser, a fortiori, que, dans un intervalle de 2 mois vers le milieu du cycle végétatif, l'usage des rapports d'élément levait toute équivoque sur les conséquences possibles des variations avec l'âge des feuilles et leur composition minérale.

Malgré les avantages qu'il semblait présenter, ce principe d'interprétation fut peu suivi en dehors du Vietnam et du Cambodge. Seul J.C. FALLOW (14), du Dunlop Rubber research Centre en Malaisie, s'intéressa aux équilibres d'éléments minéraux entre eux et proposa également une interprétation d'après des zones "normales", "d'avertissement" et de "déséquilibre", pour les divers éléments majeurs des feuilles pris 2 à 2. Sa publication indique les limites des zones pour les rapports N/P, K/P, N/K, K/Mg et Mg/P, dans les feuilles. Les limites indiquées pour N/P sont assez proches de celles données par BEAUFILS, mais les valeurs des rapports impliquant K s'en écartent notablement. FALLOW attribue ces différences principalement aux sols très variés rencontrés respectivement au Vietnam et en Malaisie. Ceci montre que, malgré les avantages mentionnés plus haut, les limites définies

pour des rapports donnés, sur un sol donné, peuvent ne pas être valables dans d'autres conditions de végétation. FALLOW a, par ailleurs, fait remarquer qu'une fois délimitée une série de valeurs correspondant à des conditions "normales", on est fondé à se demander si celles-ci correspondent à des conditions "optima". Tout en reconnaissant qu'étant donné le nombre de paramètres impliqués, de sérieuses difficultés peuvent être rencontrées pour définir des limites correspondant à des conditions optima, FALLOW a conclu qu'avant d'utiliser des rapports pour le meilleur diagnostic de l'hévéa, il faudrait définir des limites "optima" à opposer aux limites dites "normales". A ce jour, la question est toujours pendante, l'étude des rapports d'équilibres n'ayant pas fait l'objet de nouvelles observations de nature fondamentale.

FALLOW lui-même, dans une publication ultérieure (15), où il étudie certains aspects de l'échantillonnage, précise à propos de l'interprétation, que ses travaux d'analyse foliaire sur expériences en champ l'ont amené à renoncer à l'emploi des rapports d'équilibres dans le travail de diagnostic, et a tenté de définir les conditions optima exprimées en niveaux absolus de constituants. Les niveaux optima qu'il a proposés, les premiers semble-t-il donnés dans la littérature, sont déduits de résultats d'expériences d'engrais :

N		3,2 - 3,4 %
P		0,22 - 0,24 %
K		1,00 - 1,2 %
Ca		0,6 - 1,0 %
Mg		0,31 - 0,35 %

Ce travail concerne, mais non exclusivement peut-être, des arbres de 15 à 20 ans. Les indications données par FALLOW sur l'échantillonnage trouvent leur recoupement dans une étude plus vaste sur le même sujet, dont il est question plus loin. FALLOW fait état dans ce travail de certaines observations relatives aux variations réciproques de certains éléments (N et K, N et Mg notamment)*, sur lesquelles on ne peut s'étendre ici, mais qui conservent encore aujourd'hui leur caractère original. Pour l'objet du présent rapport, nous soulignerons la remarque particulière suivante, relative aux variations saisonnières, c'est-à-dire à la variation de la composition minérale au cours du cycle végétatif: "Les prélèvements ne doivent pas être effectués durant l'hivernage, ni quand les feuilles sont trop jeunes ou trop vieilles. Sous réserve d'obtenir ces conditions, on peut pratiquement ignorer les variations saisonnières des feuilles prélevées à l'ombre".

D'après ce que l'on sait aujourd'hui, on peut penser que les préoccupations mentionnées conduisaient cet auteur à prélever des feuilles qui devaient se trouver sensiblement du même âge. FALLOW précise d'ailleurs que la teneur en calcium étant faible dans le jeune âge et augmentant par la suite, on peut s'en servir en gros pour déterminer l'âge de la feuille et savoir si elle convient pour l'analyse, et il propose "de considérer comme satisfaisante une teneur en calcium de 0,6 à 1 ou, peut-être, un peu supérieure". Cette idée devait être, comme nous le verrons, largement exploitée par la suite.

* - corrélation positive entre N et Mg des feuilles, lesquelles sont respectivement en corrélation avec le rendement,
 - corrélation positive ou négative entre N et K suivant les circonstances, un graphique rend ces observations très compréhensibles.

3. DEVELOPPEMENT DE TRAVAUX SUR LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE AU R.R.I DE MALAISIE

Au R.R.I.M., la question du diagnostic foliaire fût discutée pour la première fois en 1957, par E.W. BOLLE-JONES (16) ; celui-ci poursuivait depuis plusieurs années un important travail sur la nutrition de l'hévéa, basé sur la culture en pot, qui l'avait conduit à la description des symptômes visuels de carence pour les divers éléments majeurs et oligo-éléments. Il avait, au cours de ce travail, donné la composition minérale de jeunes plants soumis, en cultures en pots, à diverses conditions de végétation (17), étudiant notamment les interactions Magnésium, Potasse et Phosphore, et aussi Magnésium et Manganèse. Il avait également montré, sur des rejets de jeunes greffés en pépinières (18), des différences qui se manifestaient entre clones dans la composition minérale des feuilles. Le premier, semble-t-il, pour l'hévéa, il avait indiqué l'aspect général de la variation saisonnière de la composition des feuilles, précisant que celle-ci se traduisait, par un accroissement avec l'âge des feuilles, de la teneur du pétiole en caoutchouc et du limbe en chlorophille, Ca, Fe et Mn, et par une diminution de la teneur du limbe en N, P et K. Il avait également, dans ce travail, indiqué les variations qui se manifestaient dans les divers étages foliaires : verticille terminal, pénultième et ante-pénultième. Ultérieurement, dans le travail déjà cité (16), relatif au diagnostic foliaire, il avait étudié les variations diurnes (très limitées par comparaison à d'autres facteurs), et avait recommandé les prélèvements d'échantillons avant 10 h du matin. Ayant examiné également la composition des écorces, il avait mis en évidence d'étroites corrélations avec la composition minérale des feuilles. Compte tenu des difficultés que présentait l'échantillonnage des feuilles, il suggérait de baser le diagnostic sur l'écorce plutôt que sur les feuilles.

A partir de ce moment, le R.R.I.M. devait consacrer une part importante d'activité au problème du diagnostic foliaire et toutes les publications de ses chercheurs, depuis cette époque, marquent la progression de cette technique jusqu'à ces dernières années.

La Malaisie dispose d'une gamme très étendue de types de sols, dont d'importantes surfaces sont consacrées à l'hévéaculture. Sur les principaux d'entre eux, des expériences d'engrais étaient poursuivies, d'autres furent montées au cours des années en fonction de la progression des connaissances. L'application du diagnostic foliaire aux divers motifs d'expériences d'engrais était une condition essentielle pour définir les critères d'interprétation et juger des effets de la fumure sur la composition minérale des feuilles.

Cet élément de travail a malheureusement fait défaut au Vietnam et au Cambodge où, par suite des circonstances, il n'a pas été possible de monter et de suivre suffisamment longtemps des expériences classiques d'engrais, à l'exception de l'expérience N P K de Laikhé, qui joua un rôle très important dans la mise en évidence des relations entre éléments établies par BEAUFILS, mais qui devint inutilisable à la suite du Typhon de 1952. Ceci ne permit pas d'apporter à la méthode proposée par BEAUFILS les amendements et améliorations qui s'avéraient nécessaires.

3.1. Etude systématique du problème de l'échantillonnage et premières applications industrielles du diagnostic foliaire en Malaisie.

A la suite des travaux de BOLLE-JONES, V.M. SHORROCKS au R.R.I.M., après avoir suivi sur plus d'une année la composition minérale des feuilles et des latex sur diverses expériences d'engrais, mettant en cause : Sulfate d'aluminium, Chlorure de potasse, Phosphate tricalcique, Sulfate de manganèse, Sulfate de cuivre et Molybdate de soude (19), conclut que les effets des fertilisants sont mis en évidence plus nettement par l'analyse des feuilles que par l'analyse du latex. Ayant considéré également, pour certains cas, l'analyse de l'écorce, il ne la retint pas à cause des dommages entraînés par l'échantillonnage. SHORROCKS décrit les effets des apports des fertilisants, notamment sur la composition minérale des feuilles, ceux-ci se traduisant par un accroissement plus ou moins marqué de la teneur de l'élément apporté suivant l'époque de l'échantillonnage. Il remarque que l'apport de Phosphate tricalcique entraîne à la fois un accroissement de la teneur en P et en Ca. Il note également des effets indirects : diminution de la teneur en K par apport de $\text{SO}_4 \text{ Am}^2$, diminution de la teneur en Mg par apport de K (effet antagoniste K - Mg déjà indiqué par BEAUFILS).

SHORROCKS, vers la même époque, a effectué une vaste étude sur les conditions de l'échantillonnage des arbres adultes. Cette étude a été publiée en 6 parties, de 1961 à 1962 (20, 21, 22, 23, 24), puis en 1965 (25).

En premier lieu, l'auteur a recherché l'influence de la position des feuilles sur leur composition minérale, considérant deux paramètres, la hauteur et l'exposition ou la non exposition à la lumière (20). A cette fin, l'auteur a effectué les prélèvements à 3 niveaux de l'ordre de : 5 m, 8-10 m et, vers le sommet de la couronne, à 12-13 m. Il s'agit, semble-t-il, d'arbres d'une dizaine d'années. Les échantillons ont été constitués selon diverses expositions, mais, notamment pour chaque hauteur, selon 2 types d'exposition : pleine lumière et ombragée. Les feuilles de "lumière" ont été prélevées à l'extérieur de la couronne et sur les côtés de la ligne (Nord et Sud), les feuilles "d'ombre" ont été prélevées, dans une expérience à l'intérieur de la couronne, sur les mêmes côtés, dans l'autre expérience sur les côtés opposés Est-Ouest, qui subissent l'ombrage des arbres voisins de la même ligne. Des différences entre feuilles "de lumière" et feuilles "d'ombre" ont nettement été mises en évidence. Les résultats observés en fonction de la hauteur sont moins consistants : différences limitées et gradients de variation plutôt contradictoires, selon que l'on considère le groupe, feuilles "d'ombre", et, le groupe, feuilles "de lumière". Dans le cas des feuilles d'ombre, l'auteur attribue la variation (de même sens que pour la transition ombre $\rightarrow$ lumière) à la diminution relative de l'ombrage avec la hauteur de prélèvement. La mise en cause du facteur, hauteur de prélèvement, en est resté là et, dans la poursuite du travail, SHORROCKS s'est efforcé d'approfondir les différences fondamentales se manifestant entre feuilles d'ombre et feuilles de lumière.

Il n'a retenu qu'un type de feuilles de lumière : celles de verticilles terminaux, en pleine lumière, au sommet de la couronne,

et 2 types de feuilles d'ombre :

- celles de verticilles terminaux, sur toute branche basse ombragée,
- celles des rameaux à croissance limitée à l'ombre de la couronne, selon la méthode BEAUFILS (3) ..

Dans tous les cas, les 4 feuilles basales de chaque étage étaient retenues, les prélèvements concernant 10 arbres par échantillon. Des échantillons ont été également constitués arbre par arbre, pour l'étude de la variabilité.

Cette vaste expérience a porté sur 30 sites, comprenant les sols les plus divers ; elle impliquait 5 clones différents ; les âges des cultures examinées étaient de 7 à 12 ans (sauf une culture de 5 ans et une de 18 ans).

La conclusion générale a été que les feuilles d'ombre ont des concentrations plus élevées en K, P, Mg, N, Cu, Zn et fer que les feuilles de lumière, et, inversement, des concentrations plus faibles en Ca, Mn et Bo. Peu de différences se manifestaient entre les 2 types de feuilles d'ombre. En se limitant aux éléments majeurs, on peut donner les précisions suivantes sur ces différences entre feuilles d'ombre et feuilles de lumière ,

pour les feuilles d'ombre :

- la teneur plus élevée en K est importante et systématique pour tous les sites (en moyenne 1,54 contre 1,12)
- la teneur plus élevée en P est, aussi, appréciable et pratiquement systématique (en moyenne 0,24 contre 0,20 - 2 exceptions à valeurs équivalentes)
- la teneur plus élevée en Mg est importante et systématique (en moyenne 0,30 contre 0,22 - une exception à valeurs égales)
- la teneur plus élevée en N est assez faible et comporte quelques exceptions (7 sur 33) (en moyenne 3,39 contre 3,25)
- la teneur plus faible en Ca est assez appréciable et comporte des exceptions (9 sur 33) (en moyenne 0,58 contre 0,70).

Il est important de souligner que, pour toute cette expérience, le facteur d'influence "âge de la feuille" semble ne pas être pris en considération. De ce fait, les prélèvements sur les différents sites se trouvent répartis sur 8 mois différents de l'année. Cependant, pour 7 sites différents, les prélèvements ont été répétés 2 fois : d'une part, vers Mai- Juin, d'autre part, vers décembre-janvier. La moyenne de ces 2 groupes de prélèvements pourraient laisser prévoir d'importantes différences, notamment pour K et Ca. Mais il n'en est rien.

En fait, SHORROCKS a bien souligné, au début de son travail, le problème posé par l'âge des feuilles et de leur degré de maturité, avec lequel la composition minérale peut varier considérablement : "Il faudrait, note-t-il, prélever des feuilles au même stade de développement, mais avec l'hévéa ce n'est pas simple, à cause de la formation

tout au long de l'année de nouvelles feuilles, et, même si l'on désigne par exemple des feuilles d'un verticille terminal sur une branche à bourgeon dormant, il peut s'en trouver d'âge très différent, à tout moment de l'année". Ceci, remarquons-le, est particulièrement valable en Malaisie, mais demanderait à être nuancé dans les pays ayant une saison sèche marquée, où la refoliation est beaucoup plus complète et groupée à une certaine époque de l'année. SHORROCKS remarque néanmoins que l'âge des feuilles peut être grossièrement évalué, étant données les caractéristiques respectives de feuilles jeunes et de vieilles feuilles. Il précise que "pour sa présente étude, le principe d'échantillonnage est d'écarter à la fois les feuilles jeunes et vieilles, et de ne collecter que les feuilles des verticilles qui sont considérés avoir acquis leur durcissement peu de temps avant l'échantillonnage". Il reconnaît que la méthode est subjective et peut introduire des différences selon les échantillonneurs. En fait, toutes les valeurs indiquées par SHORROCKS pour K et Ca, d'après ce que l'on sait actuellement, tendent à montrer que ses échantillons doivent comprendre, dans l'ensemble, des feuilles dont l'âge doit être compris entre 40 et 100 jours; quelle que soit la période du prélèvement.

Les variabilités arbre par arbre, déterminées par SHORROCKS pour chaque type de feuille au cours de son travail, intègrent nécessairement les incertitudes sur le stade exact de développement des feuilles répondant aux principes d'échantillonnage suivis par l'auteur, et l'on remarque que la variabilité déterminée par FALLOW pour des feuilles basses ombragées (15) est notablement différentes.

SHORROCKS, dans la poursuite de son étude sur la technique d'échantillonnage, a examiné deux facteurs d'influence incidents qui interviennent postérieurement aux prélèvements : le temps de stockage des feuilles fraîches avant traitement (22) et l'élimination, ou non, de la nervure centrale, le pétiole étant, de toute façon, écarté (23). En ce qui concerne le stockage, SHORROCKS a indiqué qu'à moins d'être conservées à -15° , les feuilles fraîches subissent une déperdition de poids de 5% après 3 jours et de 10% après 8 jours, qui se traduit par des accroissements apparents de la teneur en éléments minéraux rapportée à la matière sèche. Des recommandations ont été faites pour l'application d'une correction aux résultats bruts, lorsque la période de stockage est supérieure à 3 jours. En ce qui concerne l'élimination ou la non élimination de la nervure centrale, qui fut appliquée respectivement par BOLLE-JONES et BEAUFILS, SHORROCKS a mis en évidence de très faibles différences de résultats et a conclu qu'il était préférable d'utiliser les feuilles avec leur nervure centrale.

L'analyse des pétioles a révélé des teneurs en K et Ca très voisines de celles des feuilles, mais notablement différentes pour les autres éléments. Les observations ayant été faites sur une expérience d'engrais, des réponses aux engrais se manifestent pour les pétioles comme pour les feuilles, mais les niveaux de signification étant plus élevés avec celles-ci, l'auteur pense qu'il n'y a pas lieu de s'intéresser davantage à l'analyse des pétioles.

En conclusion de son étude sur la technique d'échantillonnage, SHORROCKS a appliqué sa technique à des expériences d'engrais, examinant comparativement les réponses aux apports d'engrais (24), selon les 3 types de feuilles déjà définis :

- feuilles de lumière de sommet de couronne
- feuilles basses ombragées
- feuilles ombragées, de rameaux à croissance limitée.

Les expériences d'engrais qui ont servi de support à ces observations impliquaient 10 sols différents (comprenant des sols issus de granite, de schistes argileux, et des sols alluviaux argileux et sableux), 4 cultures monoclonales (RRI-501, PB-86 et tj.1) et 2 cultures polyclonales, l'âge de ces cultures variant de 7 à 11 ans.

Dans l'ensemble, les feuilles d'ombre comparées aux feuilles de lumière se révèlent plus sensibles en changements de teneurs en N et P sous l'effet d'apports d'engrais, mais moins sensibles en changements de teneurs de Mg et Ca et, enfin, feuilles de lumière et feuilles d'ombre présentent à peu près la même sensibilité aux changements de teneur en K, Cu et Mn. Quant aux différences en valeurs absolues des éléments minéraux entre feuilles de lumière et feuilles d'ombre et conformément à ce qui avait été noté lors des premières observations : Potassium, Phosphate et Magnésium sont nettement et systématiquement plus élevés dans les feuilles d'ombre. N est, en règle générale, supérieure dans les feuilles d'ombre, mais cette différence est limitée, ne dépassant guère 10 % ; dans quelques cas, les valeurs sont équivalentes. Pour ce qui concerne le Calcium, sur 4 expériences d'engrais mettant en cause les éléments majeurs, les teneurs apparaissent systématiquement plus élevées dans les feuilles de lumière pour les expériences 2 et 3 (PB-86) et, à l'inverse, systématiquement plus élevées dans les feuilles d'ombre pour les expériences 1 et 4 (RRIM-501 et tjir 1). La notion précédemment énoncée d'une teneur plus élevée en Calcium dans les feuilles de lumière reste douteuse à travers ces résultats. Cette comparaison, pour être effectuée avec rigueur, n'aurait pu être faite qu'à condition que les échantillons prélevés soient constitués par des feuilles repérées ayant le même âge, mais ceci ne faisait pas partie des conditions expérimentales. Toutes les valeurs de Calcium indiquées sont relativement faibles et, compte tenu également du principe énoncé par l'auteur pour l'échantillonnage, il semble probable que la plupart des feuilles échantillonnées ont moins d'une centaine de jours.

En définitive, arrivé à ce stade dans son étude générale, SHORROCKS conclut (24) : "Les feuilles basses ombragées permettent une technique d'échantillonnage commode et appropriée pour les études de nutrition minérale de l'hévéa à l'âge adulte". Les très faibles différences qui, là encore, ont été observées entre feuilles basses ombragées et rameaux à croissance limitée, qu'il s'agisse des valeurs absolues ou des variances, n'ont pas justifié de retenir le prélèvement de cette catégorie particulière de feuilles d'ombre, dite à croissance limitée, qui, en outre, ne se rencontre pas toujours facilement, notamment sur certains clones.

Après sa conclusion sur la préférence à donner aux feuilles basses ombragées, SHORROCKS a mentionné que les feuilles de lumière "pouvaient être préférées aux feuilles basses d'ombre, mais seulement quand on étudie Mg et Ca, bien que les feuilles d'ombre conviennent bien pour indiquer des changements en ces éléments".

Ayant approfondi, dans ce même travail, la variabilité entre arbres, SHORROCKS conclut qu'un échantillon moyen obtenu à partir de 40 arbres (4 feuilles basales d'un verticille terminal par arbre) permet une précision d'environ 10 % pour l'estimation des teneurs en N, P, K et Mg ; 50 arbres seraient nécessaires pour une précision de 10 à 15 % pour Ca et Mn.

Les recommandations ci-dessus pour la technique d'échantillonnage ont, par ailleurs, été données dans le Rapport annuel du R.R.I.M. de 1961 (26). Dans ce même rapport, des niveaux critiques avaient été indiqués à titre provisoire pour les éléments N, P, K, Mg, pour les feuilles de lumière. Ces chiffres ont été légèrement modifiés et complétés par des niveaux critiques pour les feuilles d'ombre en 1962 (27). Ces indications sont reproduites ci-dessous :

	Niveaux au-dessous desquels une réponse à l'engrais est probable		Niveaux au-dessus desquels une réponse à l'engrais est improbable	
	f. lumière	f. d'ombre	f. lumière	f. d'ombre
- Azote	3.20	3.30	3.60	3.70
- Phosphore	0.19	0.21	0.25	0.27
- Potassium	1.00	1.30	1.40	1.50
- Magnésium	0.23			0.28

Certains chiffres n'ont pas été précisés pour le Magnésium faute d'observations sur un nombre suffisant d'expériences appropriées.

C'est également à cette époque, en 1961-1962, que le R.R.I.M. a commencé à appliquer systématiquement le diagnostic foliaire conjointement avec des analyses des sols correspondants, sur un grand nombre de surfaces commerciales. Ces contrôles qui, en douze ans, devaient couvrir près d'un million d'hectares, comprenant près d'un millier de plantations dites "Estates" et des milliers de "Smallholdings", permirent d'observer à très grande échelle les différences des conditions de nutrition minérale, telles qu'elles peuvent être évaluées par le diagnostic foliaire selon les types de sols. Pour d'importantes surfaces, pour lesquelles ces contrôles conduisaient à des recommandations de fertilisants, de nouveaux contrôles effectués après quelques années pour beaucoup des cultures ainsi concernées, ont permis de suivre l'évolution des conditions de nutrition et de faire le bilan de ces apports.

Le R.R.I.M., évoquant quelques résultats caractéristiques résultant de ces contrôles sur plantations commerciales, avait pris position sur l'intérêt de l'application d'analyses de feuilles et de sols pour définir les besoins en engrais dans le Planters's Bulletin en 1964 (28), indiquant notamment que "de nouveaux progrès seront certainement nécessaires pour comprendre les relations entre situation minérale du sol, situation minérale de l'arbre et performances de l'arbre. Mais l'Institut (R.R.I.M.) considère que l'on dispose maintenant

d'informations suffisantes pour appliquer conjointement analyse de sol et analyse de feuille pour formuler des recommandations d'engrais".

Relatant 3 ans d'observations, qui ont porté sur 544 sites répartis sur les 5 groupes de sols hévéicoles de Malaisie, un compte rendu détaillé de ces contrôles à grande échelle a été présenté par MM. GUHA et YEOW KHENGHOE à la Planter's Conférence de 1966 (29). On y trouve, notamment, un résumé des analyses de sols et de feuilles, sous forme de distributions de fréquence pour chaque catégorie de sol, donnant les niveaux d'éléments analysés, les valeurs étant classées, pour les analyses de sol comme pour les analyses de feuilles, en plusieurs catégories : basses, moyennes et élevées, dont les limites sont précisées.

Postérieurement à 1962 et parallèlement à cette progression de l'application du diagnostic foliaire à très grande échelle, des travaux de recherche, dont certains devaient permettre certains affinements à la méthode d'interprétation, ont été poursuivis en Malaisie, sur la composition minérale des tissus d'hévéa. Ces travaux peuvent arbitrairement être classés en trois catégories :

- ceux qui ont eu trait à la variation de la composition minérale des feuilles au cours du cycle végétatif, aux variations clonales et autres facteurs éventuels distincts de la fertilité, ainsi qu'aux répercussions de ces facteurs sur les méthodes d'interprétation qui visent essentiellement à la relation entre la composition minérale des feuilles et l'état de fertilité du sol,
- ceux qui ont été poursuivis sur les divers motifs d'expériences d'engrais, dont certaines à long terme, conduites sur les divers sols du pays, et ceux auxquels ont donné lieu l'application extensive du diagnostic foliaire en Malaisie, sur des sols qui ont simultanément fait l'objet d'études approfondies ayant abouti à des caractérisations, des descriptions et une classification pédologique, lesquelles ont été amplement publiées.
- ceux qui ont porté sur la composition minérale des diverses parties de l'arbre, et peuvent contribuer à élargir l'horizon des connaissances en matière de métabolisme minéral de l'hévéa.

3.2. La variation de la composition minérale avec l'âge des feuilles, autres facteurs de variabilité et leurs prises en compte dans l'interprétation des résultats .

La question de la variation de la composition minérale avec l'âge des feuilles a déjà été évoquée à plusieurs reprises et, notamment, à propos des travaux de SHORROCKS. Celui-ci, comme on l'a vu, affirmait l'importance de cette variation, mais s'efforçait surtout, dans sa technique d'échantillonnage, de limiter l'effet de ce facteur d'influence. Dans un chapitre complémentaire à son étude générale, SHORROCKS s'est plus particulièrement consacré à cette question de la variation de la composition minérale avec l'âge des feuilles et selon l'époque de l'échantillonnage (25). Du point de vue expérimental, ce travail comprenait deux groupes d'observations distinctes.

- a. Des observations de la variation de la composition minérale au cours du cycle végétatif de "feuilles basses, d'ombre", dont l'âge, lors des échantillonnages périodiques (mensuels), était dit connu, l'hivernage ayant eu lieu en février et la refoliation en mars. L'auteur a précisé que la refoliation était complète (ou presque dans un cas) à fin mars et que les branches basses ne donnaient pas lieu, en cours d'année, à des développement de nouveaux verticilles.

Les observations ont porté principalement sur deux lots de tjir 1 illégitimes et un lot de PR-107. Accessoirement, l'auteur avait distingué 2 sortes de feuilles de branches basses : celles de verticille terminal issu du méristème apical et celles de verticille terminal issu d'un méristème axillaire (dit de type latéral).

- b. Des observations utilisant les chiffres obtenus sur 6 expériences d'engrais, qui avaient fait l'objet d'échantillonnages périodiques fréquents au cours d'une année. L'objet était ici de voir à quelle variation on peut s'attendre, mois par mois, dans des conditions normales d'échantillonnage, l'âge des feuilles n'étant pas connu.

Les observations portaient systématiquement sur des feuilles d'ombre et sur des feuilles de lumière. Les expériences d'engrais en question concernaient 4 clones différents et des tjir 1 ill. A l'exception d'une expérience, les résultats relatifs aux deux catégories de feuilles étudiées correspondaient à des échantillonnages d'années différentes. Les résultats pour les feuilles de lumière se rapportent aux cultures concernées lorsqu'elles avaient de 5 à 10 ans, et les feuilles d'ombre lorsque ces cultures avaient de 9 à 13 ans.

L'auteur a donné les courbes de variation pour chaque élément et, ayant observé que les variations en K, Mg et P étaient relativement faibles pendant la période d'août à décembre, il recommande cette période pour l'échantillonnage en vue du diagnostic des besoins en engrais. Il note néanmoins que les variations sont importantes pour N, Ca et Mn tout au long de l'année, et fait quelques suggestions pour tourner la difficulté qui peut en résulter pour l'interprétation de ces éléments.

Ces conclusions, qui laissaient une large latitude quant à la période d'échantillonnage, devaient, comme nous allons le voir, être remises en cause peu après. A la lumière de ces travaux ultérieurs, on se rendra compte que, pour pouvoir apprécier de façon plus exacte les variations des concentrations en éléments minéraux au cours du cycle végétatif, il est nécessaire d'échantillonner des feuilles dont l'âge est exactement connu par un repérage effectué au moment de leur éclosion. Il est nécessaire, également, de faire des observations distinctes par clone, à cause des différences notables qui se manifestent entre eux.

Pour cette raison, il n'est pas utile d'entrer dans le détail des résultats qui ont été donnés dans ce travail de SHORROCKS. On pourrait être tenté d'examiner avec plus d'attention les différences que font apparaître les graphiques entre feuilles d'ombre et feuilles de lumière ; cette importante comparaison ne se retrouvant pas dans des études ultérieures. Mais cette comparaison ne peut donner une représentation du phénomène tel qu'il se présente au même âge des feuilles, puisque l'échantillonnage, bien qu'échelonné dans l'année, s'applique à des feuilles dites d'âge non connu et, lorsqu'il s'agit des "feuilles de lumière", ainsi que l'a fait remarquer l'auteur, en raison de la formation de nouveaux verticilles tout au long de l'année, les échantillons constitués chaque mois peuvent toujours comprendre des feuilles de maturation récente et, pour cette raison, être formés de feuilles d'un âge plus uniforme et de composition plus récente. En outre, et comme déjà noté, à l'exception d'une seule expérience, il s'agit d'échantillons "lumière" et "ombre" collectés sur des arbres ayant 4 ans d'âge d'écart.

On retiendra cependant une différence mentionnée par SHORROCKS, en ce qui concerne les feuilles d'ombre, entre la teneur en Calcium des feuilles de verticilles terminaux et celle des verticilles de rejets latéraux, la teneur en Ca des premiers étant toujours supérieure. Ceci montre que de subtiles différences dans la position des feuilles, indépendamment du phénomène d'éclairement, sont susceptibles d'intervenir sur leur composition minérale.

L'étude du facteur de variation "âge des feuilles" a été repris par GUHA et NARAYANAN peu après la publication du précédent travail, en même temps que l'étude de la variation selon les clones : les résultats en ont été présentés à la N.R. Conference 1968 (30). Toutes les précautions étaient prises pour que les facteurs d'influence étudiés puissent être bien caractérisés :

- l'étude a été faite sur 5 clones (RRIM 513, 605, 623, 701 et PB 86) et distinctement pour chacun d'eux,

- les 5 clones étaient tous de même âge (6 ans) et plantés sur un même sol (série Rengam, d'origine granitique, très utilisé en Malaisie pour l'hévéaculture)

- Toutes les feuilles à échantillonner ont été repérées dès leur éclosion (soit à l'âge de 1 à 3 jours) et, à cette fin, 300 tiges pour un ensemble de 30 arbres ont été étiquetées par lot, et les échantillons ont été constitués toutes les une à deux semaines à partir de 3 lots par clone.

- Un point très important est à souligner : les feuilles échantillonnées étaient des feuilles de sommet de couronne exposées en pleine lumière.

Les résultats ayant été donnés par élément et par clone, les auteurs mirent en évidence qu'au delà d'une période de 40 jours, pendant laquelle les feuilles augmentent de surface et de poids, les changements de teneur en éléments minéraux se manifestaient de façon relativement régulière, jusqu'à 250 jours d'âge environ.

Les auteurs établirent ainsi que de 50 à 250 jours (soit approximativement de mai à fin décembre pour les feuilles formées au moment de la principale refoliation), des corrélations très étroites pouvaient être mises en évidence pour chaque clone et pour chaque élément, à l'exception du Magnesium pour lequel la corrélation ne s'est révélée significative que pour deux clones aux niveaux $P < 0,01$ et $P > 0,10$.

Les droites de régression ont été calculées (pour la période 50-250 jours) dans chaque cas, elles sont de la forme :

$$Y = a - bx \text{ pour N, P, K (et Mg pour le cas où le coefficient de corrélation était significatif)}$$

et de la forme :

$$Y = a + bx \text{ pour Ca et Mn,}$$

où Y = teneur en % de matière sèche de l'élément considéré,

x = temps en jours d'âge réel de la feuille.

Le paramètre "a" caractérise le niveau de la courbe d'une pente donnée - c'est sa valeur qui doit être affectée par les conditions de la nutrition minérale, pour qu'en référence à une valeur critique définie pour une feuille d'un âge donné, le diagnostic puisse être fait pour un résultat obtenu sur une feuille du même âge.

Le paramètre "b" caractérise la pente de la courbe. Comparant les pentes ("b") des relations linéaires, il a été possible, pour chaque élément, d'établir une courbe de régression commune, en ne retenant que les clones pour lesquels la pente était suffisamment semblable, ce qui a conduit, notamment, sur les 5 clones étudiés, à exclure PB-86 pour le calcul de courbes de régression communes pour N et Ca respectivement, et d'exclure RRIM 513 pour une courbe de régression commune pour P ; pour K, une courbe de régression commune a pu être établie avec les 5 clones ($r = 0,784$ significatif au niveau $P < 0,001$).

La comparaison des courbes de régression par clone permet de se rendre compte des différences qui se manifestent pour des feuilles d'un âge donné, entre des clones qui se trouvent dans les mêmes conditions de végétation ; la possibilité de définir des courbes de régression commune à plusieurs clones laisse prévoir la possibilité de fixer des niveaux critiques propres à ce groupe de clones. Les auteurs notent cependant que les caractéristiques mises en évidence doivent être examinées en plusieurs sites et observées sur plusieurs années pour pouvoir être suffisamment établies.

Les auteurs, après avoir défini, au moins dans certaines conditions et pour des clones donnés, des lois de variation des éléments minéraux dans les feuilles en fonction de leur âge, ont cherché à utiliser les relations établies pour une interprétation plus précise des résultats d'analyse de feuilles.

Si l'âge des feuilles échantillonnées est connu par repérage de leur époque d'éclosion, les relations linéaires précédemment décrites peuvent être utilisées pour faire la correction appropriée pour ramener la teneur trouvée pour chaque élément à la valeur correspondant à un âge donné pris comme référence.

Si l'âge des feuilles n'est pas connu, cas le plus fréquent, le Calcium étant en corrélation positive avec l'âge, les auteurs suggèrent d'utiliser la teneur trouvée en cet élément pour estimer l'âge de la feuille et d'apporter des corrections aux résultats trouvés pour les autres éléments, pour les ramener aux valeurs correspondant à l'âge de référence. Ceci n'est évidemment possible qu'à condition que la teneur en Calcium ne soit pas affectée par d'autres facteurs que l'âge de la feuille. Les auteurs considèrent, à cet égard, que la situation en Calcium des hévéas est en général satisfaisante en Malaisie, sauf peut-être pour quelques sols très acides, notamment dans la région côtière.

Les corrélations N-Ca et K-Ca ont été étudiées pour les cinq clones concernés ; elles se sont toutes révélées très hautement significatives (pour $P < 0,001$, "r" varie de 0,70 à 0,920), à l'exception de la relation K/Ca pour PB 86, significative seulement au niveau $P < 0,05$. Groupant les résultats des clones pour lesquels les droites de régression présentent une pente suffisamment semblable, les auteurs ont défini une droite de régression commune pour les 5 clones pour la relation N-Ca :

$$Y = 3,61 - 0,654 x, \quad \text{où } Y = N \% \text{ et } x = Ca \%,$$

et une droite de régression commune pour 4 clones (excluant PB 86) pour la relation K-Ca :

$$Y = 1,17 - 0,339 x, \quad \text{où } Y = K \% \text{ et } x = Ca \%.$$

Le coefficient angulaire de chaque courbe est le facteur de correction à appliquer respectivement pour N et K pour ramener la valeur trouvée à la valeur correspondant à l'âge pris comme référence.

D'une façon plus concrète, choisissant comme âge de référence celui où la teneur en Ca est de 0,80 %, les auteurs proposent d'appliquer un coefficient d'accroissement ou de décroissement de 0,065 pour N et 0,034 pour K, par fraction de 0,1 % de Ca supérieure ou inférieure à la valeur 0,8 % de Ca.

Les résultats de ce travail ne pouvaient cependant pas être directement utilisés dans la pratique puisqu'ils ne s'appliquaient qu'à une condition de sol donnée et concernaient des feuilles de lumière, tandis que la méthode d'échantillonnage généralement retenue pour les arbres adultes consiste en la récolte de feuilles d'ombre, telles que définies par SHORROCKS, seule méthode d'ailleurs réalisable en pratique.

Selon le rapport annuel du RRIM de 1970, le principe proposé par GUHA et NARAYANAN a d'abord été étendu (31) aux feuilles d'ombre de branches basses, normalement échantillonnées dans la pratique.

Les observations portaient sur les motifs d'une expérience d'engrais appliquée au clone RRIM 605, ce qui a conduit à constater que la teneur en Calcium de référence d'un âge donné de la feuille, choisi comme âge optimum, de l'ordre de 100 jours (x), devait être considérée à des niveaux différents selon la teneur en Calcium du sol. Enfin, le rapport annuel du RRIM de 1972 (32) fait état des recherches sur l'influence du Calcium du sol, sur le Calcium des feuilles, et, sur les relations N-Ca et K-Ca. Ces recherches ont été poursuivies sur de nombreux clones et sur divers sols.

En conclusion de ces recherches, dans une publication consacrée aux facteurs qui influencent le niveau des éléments nutritifs dans les feuilles, E. PUSHPARAJAH et TAM KIM TENG (34) ont précisé les corrections qu'il y avait lieu d'apporter aux résultats d'analyses de N et de K des feuilles, pour les ramener au même âge de référence, ces corrections étant modulées selon la situation approximative du sol en Calcium, et selon diverses catégories de clones. En outre, dans la même publication, ces auteurs ont donné un tableau des valeurs de référence, selon lesquelles pouvait être évaluée la situation en éléments nutritifs d'un lot d'arbres donné soumis au diagnostic foliaire. Ce tableau comporte quelques remaniements par rapport à ce qui avait été publié antérieurement. Les valeurs indiquées ne constituent pas, selon les auteurs, des niveaux critiques à proprement parler, mais délimitent, compte tenu des divers facteurs d'influence externes passés en revue dans ce même travail, des domaines de variation, à l'intérieur desquels les teneurs trouvées en éléments minéraux sont jugés comme "faibles", "moyennes", "élevées" ou "très élevées". Les domaines de variation indiqués pour l'Azote prévoient 3 échelles légèrement différentes, correspondant à 3 catégories de clones, et les domaines de variation indiqués pour le Potassium prévoient 2 échelles correspondant à deux catégories de clones.

Ces conclusions très importantes sur les modalités d'interprétation sont données en Annexe I, avec les quelques commentaires qui avaient été faits par les auteurs en les publiant. Ceux-ci avaient fait la remarque que de nouveaux affinements ou corrections pourraient être introduits ultérieurement, consécutivement aux recherches qui étaient poursuivies.

Aucune information ou précision nouvelle, concernant l'interprétation du diagnostic foliaire, n'a été publiée par le R.R.I.M. depuis cette époque dans les documents reçus à ce jour., mais les interprétations de routine étant effectuées au R.R.I.M. par ordinateur, il est possible que quelques affinements concernant l'usage des coefficients de correction aient été introduits, l'indication étant donnée dans le rapport annuel 1974 (36), à propos de l'usage de l'ordinateur, "qu'un programme différent avait été élaboré, dans lequel avaient été introduits des facteurs de correction, modifiés, pour la teneur en Calcium des feuilles".

En ce qui concerne les facteurs de correction qui ont été publiés en 1972 et qui résultent de l'étude des lois de variation réciproque de N et Ca, et de K et Ca, le détail des bases expérimentales

(x) Cette notion d'âge optimum résulte d'un travail de S.E. CHUA (33) sur la physiologie de la sénescence foliaire, qui a montré que l'activité photosynthétique maximum des feuilles se manifeste à partir d'environ 100 jours après leur émergence.

n'a pas été publié, comme il l'avait été dans l'étude précédente de GUHA et NARAYANAN et dans l'étude générale sur l'échantillonnage de SHORROCK\$, ce qui limite les possibilités de comparaison avec des études semblables effectuées dans d'autres pays et, éventuellement, dans des conditions qui ne se rencontrent pas en Malaisie.

Contrairement à ce qu'il ressortait des études antérieures, il est très clair que ces derniers travaux conduisent à prendre en considération un état de maturation très précis de la feuille ; mais il apparaît en outre que, malgré l'usage de ces corrections qui permettent de ramener les valeurs trouvées pour K et N aux valeurs correspondant à cet âge optimum de la feuille de 100 jours, des restrictions sont apportées pour ne pas que la correction soit appliquée à des feuilles dont l'âge (jugé d'après la teneur en Calcium) serait trop éloigné de cet âge optimum. Ainsi, le rapport annuel 1972 du R.R.I.M. (32) précise que les ajustements sont effectués quand la teneur en Calcium se tient entre 0,4 et 1 % pour le PR 107 (dont la situation en Calcium est plus faible que pour les autres clones), et de 0,6 à 1,2 % pour les autres clones, et GUHA, dans une publication consacrée aux progrès réalisés dans la pratique de la fertilisation définie en se référant conjointement à la situation minérale des feuilles comme à la connaissance du type de sol et de sa situation en éléments nutritifs (37), mentionne que l'échantillonnage des feuilles doit être limité à une période allant de juillet à septembre.

Avant d'en finir avec les travaux propres au R.R.I.M. visant directement l'établissement d'un diagnostic foliaire, on reviendra brièvement sur la dernière publication de E. PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG (34) qui, en faisant une revue des facteurs divers qui influencent la composition minérale des feuilles (x) et en fixant des niveaux de référence et certaines corrections à apporter aux résultats d'analyse, constitue en quelque sorte la conclusion des recherches et observations poursuivies au R.R.I.M. pendant environ 15 ans, pour donner les meilleures bases possibles au diagnostic foliaire. (cf traduction annexe I)

Apropos de ces conclusions, on fera deux remarques concernant respectivement :

- l'inventaire des facteurs d'influence
- l'absence d'un moyen de diagnostiquer une insuffisance de calcium.

(x) A propos des influences propres au matériel végétal indiquées dans cette publication entre autres facteurs d'influences, il y a lieu de noter que les mêmes auteurs ont donné, à l'occasion du Symposium I.R.R.D.B. de 1974 à Cochin (35), beaucoup de détails intéressants sur la composition minérale des feuilles selon les clones, également pour plusieurs clones selon plusieurs porte-greffes et, enfin, pour plusieurs clones greffés de couronne sur divers clones.

Remarque sur l'inventaire des facteurs d'influences sur la composition minérale des feuilles. Les auteurs ont donné de ces facteurs un classement qui est reproduit en Annexe II, et ont discuté plus ou moins en détail de chacun d'eux. Ce classement, très judicieux, paraît avoir fait un inventaire aussi complet qu'il soit possible de l'envisager.

On remarquera néanmoins que le facteur "âge des cultures" n'apparaît pas nettement dans cet inventaire, l'éventualité d'une influence de ce facteur ne peut être écarté a priori. En fait, l'influence possible de l'âge des cultures se trouve impliquée au paragraphe "fluctuations annuelles". Sous ce titre, les auteurs ont discuté des variations importantes qui ont été observées d'une année à l'autre - notamment pour N et K - , dans les feuilles des motifs témoins de plusieurs expériences d'engrais, suivies pendant plusieurs années. Selon des détails donnés dans le rapport annuel 1970 du R.R.I.M. (38), il s'agit de 7 expériences d'engrais, intéressant 5 types de sol, et suivies annuellement par analyse foliaire pendant 7 ans (1964-1970) ; les cultures avaient de 2 à 13 ans en 1964.

Les variations observées sont données globalement. Il n'apparaît pas que ces variations puissent être rapportées à l'âge, mais il est évident que si la variable "âge des cultures" intervient de quelque façon que ce soit, l'effet ne peut être que faible d'une année à l'autre (sauf peut-être l'année d'entrée en production), et un effet progressif, s'il existe, sera obligatoirement masqué pour une période limitée à quelques années par l'interférence d'autres facteurs incontrôlables et complexes, que l'on soupçonne d'avoir un effet beaucoup plus marqué d'une année à l'autre, les plus évidents étant les variations des composantes climatiques susceptibles d'intervenir directement ou indirectement, d'une façon positive ou négative, sur l'assimilation des éléments minéraux par la plante, et ceci plus particulièrement au moment de la refoliation.

On conçoit que l'observation expérimentale d'une éventuelle influence de l'âge des cultures pose d'énormes difficultés, puisqu'elle supposerait qu'elle soit faite par clone et qu'elle porte sur des cultures présentant un éventail d'âge d'au moins 15 ans, observées les mêmes années sur des sols suffisamment semblables et, en tous cas, soumis, par année d'observations, aux mêmes aléas climatiques.

Remarque sur l'absence d'un moyen de diagnostiquer par l'analyse des feuilles la situation en Calcium. Les conditions dans lesquelles sont recommandés les ajustements de N et K à des valeurs correspondant à l'âge optimum des feuilles (100 jours), d'après la valeur observée pour Ca, admettent qu'il existe des niveaux de fertilité différents du sol en Calcium, puisque, selon les recommandations indiquées (34), on a le choix entre 2 coefficients de correction selon la situation du sol en Calcium (x) ; elles admettent évidemment - par principe - que des teneurs plus élevées du sol en Ca conduisent à des teneurs plus élevées du Calcium dans les feuilles, puisque les

(x) cf. les précisions données dans l'Annexe I :

- Sol à teneur élevée en Ca : 2,3 m.e.q. dans les 15 cm supérieurs et 0,85 m.e.q. entre 15 et 30 cm,
- Sol moyen, 1,15 et 0,45 m.e.q.
- Sol pauvre en Ca, niveaux non indiqués.

ajustement sont faits pour des clones donnés en fonction de deux niveaux de référence du Calcium dans la feuille (à 100 j.), selon la situation du sol en Calcium supposée connue.

Il est évident que la méthode d'interprétation proposée, et les approximations qu'implique la méthode proposée pour tourner la difficulté posée par les variations de composition minérale avec l'âge des feuilles, écartent la possibilité de juger de la situation de l'assimilation de l'arbre en Calcium d'après la teneur trouvée en cet élément. D'autre part, l'absence d'indication, à un âge donné de la feuille, sur des niveaux de Calcium jugés faibles et annonciateurs d'une carence, moyenne, élevée et très élevée, comme pour les autres éléments, ne permet pas de rapporter des résultats observés sur les motifs d'expérience d'engrais, à la situation en Calcium dans la plante, qu'il s'agisse de rendements, de propriétés du latex (x) ou de toute autre observation relative à la physiologie de l'arbre. Il n'est donc pas possible, selon les travaux publiés, de préciser par diagnostic foliaire les circonstances où il y aurait lieu d'intervenir dans les apports d'engrais, eu égard au Calcium, comme on le fait pour les autres éléments.

Il est indéniable qu'il y a là une lacune, qui ne paraît pas avoir retenu jusqu'à présent l'attention des chercheurs, malgré l'importance du travail effectué sur le diagnostic foliaire.

Il apparaît que le problème de la situation en Calcium des hévéas n'est pas majeur en Malaisie. Les sols de plantation sont pratiquement toujours pauvres en Phosphore ; d'une façon quasi générale, les jeunes plantations font l'objet, selon les recommandations du R.R.I.M., d'une fumure complète comprenant du Phosphate tricalcique. Celui-ci est très peu soluble et rémanent ; néanmoins, il a été montré que l'élément Ca, comme l'élément P, était bien assimilé par l'arbre (19) (40) . Ceci peut permettre d'expliquer pour une bonne part la justification donnée par GUHA et NARAYANAN pour l'application du principe de l'utilisation de la teneur en Calcium des feuilles, "que la situation des arbres en Ca est généralement bonne en Malaisie", tout en reconnaissant que quelques sols très acides pouvaient faire exception, notamment en zone côtière, et nécessiter un apport de Ca (30).

Les conditions des sols que l'on rencontre dans d'autres pays d'hévéaculture peuvent se trouver très différentes. On peut, comme en Indonésie , et de façon très variable, se trouver en présence de sols d'origine volcanique, dont les teneurs en Calcium sont plus élevées qu'en Malaisie. A l'inverse on peut, comme en Côte d'Ivoire, rencontrer des sols très pauvres en Calcium, mais qui se trouvent suffisamment bien pourvus en Phosphore pour ne pas avoir nécessité, dans le jeune âge des plantations, l'apport d'un engrais phosphaté fournissant en même temps du Calcium. Il faut enfin songer aux sols d'une teneur quelconque en Calcium, dont l'assimilation peut être troublée par la présence d'une teneur élevée en Alumine (aspect encore peu étudié et mal connu) , et aussi par toute autre facteur intervenant éventuellement et de façon directe ou indirecte sur la concentration du Calcium dans la feuille, par exemple des facteurs agissant sur la phénologie de l'arbre ou la sénescence des feuilles et qui jusqu'à présent n'ont pas été mis en évidence faute d'avoir approfondi le problème du métabolisme du Calcium.

(x) Il est possible que cette question soit abordée dans le travail de thèse de E. PUSHPARAJAH (39) , qui malheureusement manque dans la documentation de l'IRCA.

En conséquence, beaucoup de prudence est nécessaire pour l'application dans une situation du sol encore mal connue des ajustements préconisés par le R.R.I.M., et la recherche d'un moyen d'évaluation de la situation en Calcium des hévéas adultes par diagnostic foliaire reste nécessaire.

Pour l'un et l'autre aspect du problème, l'étude, sur clone défini et sur motifs d'expériences d'engrais des courbes de variation avec l'âge des feuilles, des teneurs en Ca et K paraît une approche indispensable.

A la lumière des connaissances actuelles, on peut se demander si le niveau de la teneur des feuilles en Calcium en fin de cycle végétatif ne pourrait pas permettre l'évaluation des conditions de la nutrition en Calcium. Il semble en effet* que dans la relation

$$\text{Ca \%} = a + bx \quad \text{où } x = \text{âge de la feuille,}$$

non seulement le paramètre "a", mais aussi le paramètre "b", prennent une valeur plus élevée avec l'accroissement du niveau de Ca assimilable dans le sol. D'où, pour le Ca et contrairement à N - P et K, un domaine de variation beaucoup plus large en fin de cycle végétatif que vers "100 jours", dit âge optimum pour l'évaluation de N, P et K.

3.3 Développement en Malaisie de l'application pratique du diagnostic foliaire à la fertilisation et conjointement de l'analyse et de la connaissance pédologique des sols.

La grande diversité des sols, leur définition, l'existence de nombreuses expériences d'engrais sur sols ainsi bien définis et les plus utilisés pour l'hévéaculture en Malaisie ont, comme déjà évoqué plus haut, fourni des bases à l'important travail qui a été consacré, en Malaisie, à l'interprétation du diagnostic foliaire et à son utilisation pour les recommandations d'engrais. Les mêmes conditions ont permis, parallèlement, d'approfondir les méthodes d'estimation de la valeur des sols eu égard à l'hévéaculture par les méthodes chimiques d'analyse. Les diverses étapes par lesquelles sont passés les travaux dans ce domaine sortent du cadre de cette revue ; il suffit de savoir que, comme dans le cas du diagnostic foliaire, les critères d'estimation ont été calibrés d'après les résultats pratiques qui ressortaient des divers motifs des expériences d'engrais. D'intéressantes corrélations ont pu être mises en évidence entre des critères définis pour certains éléments simultanément dans la composition du sol et la composition des feuilles (41 - 42 - 43 - 44).

Il y a lieu de remarquer que les coefficients des corrélations établis entre les valeurs obtenues pour les sols avec diverses méthodes d'estimation (valeurs en élément total ou valeurs en éléments assimilables selon diverses techniques) et les valeurs trouvées dans les feuilles varient avec les types de sol. Il se trouve également que des coefficients de corrélations très hautement significatifs pour plusieurs types de sol peuvent ne montrer aucune signification avec certains autres types. Cela montre bien que sur un sol bien défini, on ne peut préjuger des rapports entre la situation des éléments dans le sol et les conditions réelles de nutrition, que dans la mesure où l'on a

* cf. à ce sujet les précisions sur la correction à effectuer selon la richesse du sol en Ca données dans l'annexe I.

déjà acquis une expérience objective à cet égard pour ce type de sol. Corollairement, il doit en être tenu compte pour des recommandations d'engrais à partir de résultats de diagnostic foliaire.

L'analyse des sols, comme l'analyse des feuilles, a ses limitations et ses lacunes, et la conclusion très généralement admise et très clairement exposée par M.M. GUHA dans sa présentation, en 1968, des récents progrès dans l'usage des fertilisants en Malaisie (37), est que les méthodes forment un tout et que le diagnostic foliaire demande à être complété par l'étude du type de sol concerné et l'examen de la situation des éléments nutritifs dans ce sol.

De nouveaux progrès dans le domaine des recommandations d'engrais, basées sur les méthodes d'évaluation des conditions de nutrition de l'hévéa, ne sont possibles qu'en tenant compte des connaissances déjà acquises sur le sujet.

Les conclusions, dans leur état actuel, sur les méthodes d'interprétation, ayant été publiées, d'une façon claire et concise, comme nous l'avons vu, il pourrait paraître suffisant de s'en tenir à ces conclusions, en prenant en considération les limitations qui ressortent des travaux selon lesquels ont été établies ces conclusions, limitations que l'on s'est efforcé de mettre en évidence dans ce qui précède. Cependant, pour l'application du diagnostic foliaire selon ces principes, hors de Malaisie où, pour tout affinement ou modification à apporter à ces techniques, il sera très utile de tenir compte de toutes les informations de détail qui sont fournies :

- dans les publications malaises qui analysent les résultats d'expériences d'engrais,
- dans celles qui donnent des informations sur les recommandations d'engrais basées sur l'analyse foliaire et celle du sol,
- enfin, dans les publications où se trouvent toutes les précisions souhaitables sur les types de sol utilisés en hévéaculture dans ce pays. En effet, dans la pratique du diagnostic foliaire (ou s'il s'agit de développer l'étude des bases d'un d.f.), lorsque l'on se trouve dans une situation nouvelle, à défaut d'avoir déjà acquis une expérience objective de la nutrition de l'hévéa sur le sol rencontré, on peut provisoirement rechercher ses analogies avec des sols pour lesquels cette expérience a déjà été acquise, et utiliser cette expérience au moins comme hypothèse de travail. Comme on l'a déjà fait remarquer, les sols hévéicoles de Malaisie couvrent un très large éventail de types de sol des régions tropicales humides. Si l'on excepte la plupart des sols d'origine volcanique, et pour cette raison un grand nombre de sols d'Indonésie, il est bien rare qu'un sol hévéicole dans d'autres pays et sur d'autres continents ne puisse être assimilé à quelque sol de Malaisie.

Les compte-rendus d'expériences d'engrais sur culture adulte, depuis 1960 en Malaisie, comportent, en règle générale, à côté des interprétations classiques des réponses de la production aux éléments nutritifs apportés, les résultats d'analyse de feuilles et l'interprétation de ces résultats. Les sols sur lesquels sont effectuées

les expériences sont précisés. Des précisions semblables, mais sous une forme plus statistique, sont données dans des publications générales relatives aux recommandations d'engrais, et basées sur des grands nombres d'observations résultant de l'examen systématique des surfaces commerciales, plantations industrielles comme plantations rurales, entrepris depuis le début des années 60.

On fera ci-dessous une revue des principales publications faites à cet égard en Malaisie et plus particulièrement par le RRIM depuis 1960, sans retenir les compte-rendus d'expériences d'engrais ne donnant pas de résultat d'analyses foliaires.

En 1960, comme déjà cité, V.M. SHORROCKS (19) a publié les observations faites sur 5 expériences d'engrais, situées sur des sols de fertilité basse à moyenne. Sont donnés, dans cette publication, les effets d'application de Sulfate d'ammoniaque, phosphate tricalcique (Rockphosphate), Chlorure de potasse, Sulfate de manganèse et de cuivre, et Molybdate de soude, sur la composition minérale des feuilles et du latex. Le cas particulier d'une expérience d'apport de Sulfate de manganèse a été décrite en détail, en 1961, par V.M. SHORROCKS et G.A. WATSON (45). Des précisions ont été données sur la situation du Mn dans les sols de Malaisie, sur les critères de déficience en Mn des teneurs observées dans les feuilles et sur les réponses obtenues par apports de Sulfate de Mn.

En 1961 également, J. BOLTON et V.M. SHORROCKS (46) ont donné le compte-rendu d'une expérience montée initialement pour tester l'efficacité de chaux magnésienne (Dolomie) sur la croissance et le rendement d'arbres présentant des symptômes visuels de déficience en Mg. Des résultats positifs ont été mis en évidence. L'expérience comportait également des apports comparatifs de K Cl et d'un mélange de fertilisants Azote et Phosphate à deux niveaux.

Les effets des apports d'engrais sur la composition minérale des sols d'une part, et sur la composition minérale des feuilles et du latex d'autre part, ont été indiqués.

Un peu plus tard, V.M. SHORROCKS (47) a publié les résultats d'une expérience d'engrais, qui avait principalement pour objet de rechercher l'effet du moment d'application du fertilisant sur la composition minérale des feuilles. Il s'agit d'une expérience factorielle (²⁵ N, P, K, Mg, époque d'application en 32 parcelles), impliquant des apports de Sulfate d'ammoniaque, Chlorure de potasse, Rockphosphate, Kieserite et chaux magnésienne. Les deux engrais magnésiens étaient essayés pareillement dans les motifs Mg. L'expérience était effectuée sur un sol de la série Malacca, où un essai voisin, décrit à la même époque par J. BOLTON (48), avait mis en évidence des réponses de la croissance au Sulfate d'ammoniaque, au Rockphosphate et au Chlorure de potasse. Les deux époques d'application d'engrais se situaient au début de l'hivernage et après refoliation complète. En rapport avec l'étude qui venait d'être effectuée par le même auteur sur les conditions de l'échantillonnage, les résultats d'analyse foliaire sont donnés distinctement par motif, pour les feuilles dites "de lumière" et les feuilles prélevées à l'ombre, ceci pour des échantillonnages effectués tous les 1 à 2 mois, pendant environ 1 an. Ces résultats apportent une information très fournie sur les différences

qui se manifestent pour chaque élément dans les deux types de feuilles échantillonnées, mais, malgré l'échelonnement des prélèvements au cours de l'année, l'âge des feuilles n'étant pas repéré à cette époque, ces résultats n'ont pas la portée qu'ils auraient pu avoir autrement, en particulier pour ce qui concerne la situation en Ca, car il paraît bien évident que les prélèvements sur feuilles "d'ombre" impliquent, notamment en fin de cycle végétatif, des feuilles plus âgées que celles des prélèvements des feuilles exposées à la lumière.

Dans un autre travail contemporain, V.M. SHORROCKS (49) compare les effets fertilisants de la chaux magnésienne (Dolomie), de la Kiesserite et de la Serpentine broyée. L'évaluation est faite ici en utilisant le Pueraria comme plante test en culture en pots. Outre la croissance définie par le poids sec de la plante test, les teneurs en Mg, Ca et K ont été déterminées sur les feuilles, les tiges et les pousses entières (tiges plus feuilles). L'auteur indique qu'à de faibles niveaux d'application, la Kiesserite est plus efficace que la chaux magnésienne, mais à de hauts niveaux d'application la chaux magnésienne est quelque peu plus efficace ; l'auteur pense que, dans ce cas, l'apport du Calcium contenu dans ce fertilisant confère un bénéfice supplémentaire.

A la même époque, une étude particulière a été publiée par G.A. WATSON et R. NARAYANAN (50) sur l'effet des fertilisants sur la production de graines d'hévéas. Il y est montré que la production des graines est en corrélation positive avec la teneur des feuilles en N et en corrélation négative avec leur teneur en K. La corrélation est encore plus étroite si l'on considère les valeurs du rapport N/K, mais on peut constater, ici, qu'il doit y avoir incompatibilité entre les valeurs du rapport N/K, qui permettent les meilleures conditions de graines, et celles correspondant à la meilleure production de caoutchouc.

A la Conférence des planteurs de 1966, à Kuala Lumpur, M.M. GUHA et YEOW KHENG HOE ont présenté un travail sur la situation en éléments nutritifs du sol et des feuilles, en relation avec le type du sol(x). Cette publication a déjà été évoquée (29) ; précisons ici que les auteurs ont donné les résultats suivants pour 6 grands groupes de sols, comprenant 10 séries de sols typiques, ces résultats étant le fruit de trois années d'observations sur 500 sites différents.

- La teneur en Carbone organique du sol.
- La teneur en N total des sols et la teneur en N des feuilles.
- La teneur P, extractible à l'acide, des sols, et la teneur en P des feuilles.
- La teneur en K, extractible à l'acide, des sols, et la teneur en K des feuilles.

(x) Selon la classification des sols proposée par OWEN en 1951 (51) qui a défini la plupart des sols utilisés en hévéaculture selon des noms de série qui sont encore utilisés actuellement. Cette classification a été complétée et décrite en détail en 1971 (52), avec indication, pour les plus importants d'entre eux, du domaine de variation de leurs teneurs en N, P, K, Mg dans les couches 0-15 cm et 15-45 cm.

- La teneur en Mg, extractible à l'acide, des sols, et la teneur en Mg des feuilles.

Les analyses de sols portaient sur les 15 premiers centimètres du profil.

Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes de fréquence, comprenant 3 classes de valeurs (basse, moyenne et haute) pour les teneurs dans les feuilles, et 5 classes de valeurs (2 basses, 2 moyennes et 2 hautes) pour les résultats d'analyse de sols. Ce travail permet d'avoir un excellent aperçu général de la nature des variations pour chaque élément respectivement dans les sols et dans les feuilles, la présentation permettant, en outre, de comparer aisément les aspects de ces variations dans les sols et dans les feuilles.

La Conférence du caoutchouc naturel à Kuala Lumpur, en 1968, a donné lieu à plusieurs compte-rendus relatifs à la fertilisation, comportant des références à la composition minérale des feuilles.

E. PUSHPARAJAH et K. CHELLAPAH (53) ont donné les résultats de quatre expériences qui comparent les effets de différentes couvertures du sol (légumineuses, graminées, mikania, recru naturel), avec différents niveaux d'application d'azote. Il est montré que des apports complémentaires d'azote peuvent compenser, dans une certaine mesure, l'absence de légumineuses. Les teneurs des feuilles en azote (et en phosphore pour 2 des 4 expériences) sont données pour chaque motif, pour chacune des 4 à 5 dernières années.

P.R. WHYCHERLEY et M.M. CHANDAPILLAR (54) ont donné les résultats de plusieurs expériences sur les effets des plantes de couverture. Pour l'une de ces expériences, qui comportent 12 plantes de couverture différentes, les résultats d'analyse foliaire sont données, pour chaque motif, en regard des croissances dans le jeune âge et en regard des croissances à l'ouverture et des productions des deux premières années de production.

Les publications à cette Conférence de E. PUSHPARAJAH (40) et de M.M. GUHA (37) ont déjà été évoquées à propos de la mise au point de l'interprétation du diagnostic foliaire en Malaisie. E. PUSHPARAJAH, qui traitait des réponses de l'hévéa aux applications d'engrais sur sol Rengam, sol dérivé de roches acides, très répandu en Malaisie, rend compte de deux expériences factorielles (N P K et Mn, P, K), dont l'historique est donné en détail. Les résultats de croissance sont détaillés par motif, ainsi que les résultats de production des premières années d'exploitation (respectivement, 1 à 6 ans et 2 à 4 ans), et les résultats d'analyse minérale des feuilles et des latex. Les analyses des sols des blocs témoins sont également données, ainsi que des résultats d'épaisseur d'écorce. L'auteur a mis en évidence l'effet du $\text{SO}_4 \text{ Am}^2$ sur l'Azote des feuilles, mais son effet dépressif sur les teneurs en K et Mg des feuilles, l'effet positif du Rockphosphate sur les teneurs des feuilles en P et Ca, mais son effet négatif sur les teneurs en Mg, enfin l'effet positif du K Cl sur le K des feuilles, mais son effet négatif sur la teneur du Mg dans le latex, avec ses conséquences favorables sur la précoagulation, qui avaient déjà été

démonstrées à l'I.R.C.V. et à l'I.R.C.C. Enfin, la mise en évidence d'un effet significatif de la fumure K montre la possibilité d'un effet à long terme de K sur la production.

La publication de MM. GUHA fait le bilan des récents progrès sur l'emploi des fertilisants en Malaisie. Comme on l'a déjà dit, l'auteur souligne la nécessité de compléter l'examen de la situation minérale des feuilles par la connaissance du sol. Il rend compte de nombreux résultats d'analyses de sols et de feuilles prélevées sur des cultures correspondantes pour des sols de la série Rengam d'une part, et des sols de la série Kuantan d'autre part ; ces derniers, relativement peu représentés en Malaisie comme sols hévéicoles (0,5 %), à l'opposé des sols des séries Rengam et apparentés (18 % des sols hévéicoles), sont dérivés de roches basiques. Les résultats sont donnés selon une représentation qui met en évidence le domaine des variations extrêmes et le domaine des variations pour les valeurs les plus proches de la moyenne, qui représentent 67 % des cas.

On citera, pour mémoire, la communication de M.M. GUHA, M.M. SINGH et H.Y. CHAN (55), sur l'application d'une fertilisation appropriée à l'hévéa, basée sur l'étude de la situation en éléments nutritifs du sol et des feuilles, présentée à la Conférence du caoutchouc de 1970, au Sri Lanka, qui, sans apporter plus d'informations de détail, affirme les positions du R.R.I.M. dans ce domaine, et examine leur possibilité d'application au Sri Lanka.

La Conférence des Planteurs de 1971, à Kuala Lumpur, a donné l'occasion aux chercheurs du R.R.I.M. de faire le point sur le problème des besoins en engrais, et sur les contrôles systématiques poursuivis sur les surfaces commerciales. Ces exposés montrent une nouvelle progression dans les conceptions relatives à la fertilisation en rapport avec la situation en éléments minéraux des arbres.

E. PUSHPARAJAH et col. (56) ont exposé plus particulièrement le problème des besoins nutritionnels de l'hévéa soumis à la stimulation. Ils font le compte-rendu de 4 expériences d'engrais, montées en 4 sites différents, et comprenant des motifs stimulés (2 - 4 - 5-T ou Ethrel) et des motifs non stimulés. L'interaction de la stimulation et de la fumure NK est particulièrement mise en évidence. Les auteurs ont mis l'accent sur les quantités d'éléments nutritifs qui se trouvent drainées chaque année dans le latex. Ces quantités sont précisées pour 3 expériences de stimulation et comprises, par ailleurs, dans un compte-rendu général (57) des expériences de stimulation donné à cette même Conférence ; les résultats de diagnostic foliaire sont donnés pour une expérience de stimulation et deux expériences d'engrais. Ces résultats correspondent ici à des feuilles d'âges repérés, mais les teneurs en Calcium ne sont pas données.

H.Y. CHAN (58) fait le point sur les contrôles systématiques portant sur les sols et les feuilles et qui sont effectués pour des recommandations d'engrais discriminatoires destinées aux plantations commerciales. C'est l'exposé de la méthode suivie, dans la pratique des contrôles, laquelle repose sur la détermination des séries des sols rencontrés sur la plantation étudiée, la détermination de la situation minérale des sols et des feuilles par analyses des échantillons de sols et de feuilles effectuées pour chacune des séries de sol repérées. Enfin, s'appuyant également sur les expériences

d'engrais, l'auteur précise comment les résultats d'expériences d'engrais, en combinaison avec la référence à un sol de série donnée et avec les résultats d'analyse foliaire, donnent le fil conducteur pour une recommandation d'engrais spécifique pour une superficie donnée. Les précisions données à cet égard sont extraites d'une communication de E. PUSHPARAJAH et M.M. GUHA (59), sur la réponse à la fertilisation de l'hévéa en rapport avec le type de sol et la situation minérale des feuilles, au 9^e Congrès International de la Science du sol.

A la Conférence des Planteurs du R.R.I.M. de 1972 où, comme déjà dit, le point a été fait d'une façon très complète sur les critères et la méthode de l'interprétation du diagnostic foliaire au R.R.I.M. (34), plusieurs publications ont été présentées, développant des thèmes pratiques en rapport avec la fertilisation, abordés pour certains en 1971. K. SIVANADYAN, P'NG TAT CHIN et E. PUSHPARAJAH (60) ont notamment développé le problème de la nutrition de l'hévéa en rapport avec la stimulation à l'Ethrel, mais il n'est pas fait ici référence à l'analyse foliaire ; l'accent est surtout mis sur la quantité d'éléments nutritifs drainés dans le latex. Un bilan en est donné pour 8 expériences de stimulation en cours. H.Y. CHAN et E. PUSHPARAJAH (61) ont présenté comme une première évaluation les potentiels de productivité de l'hévéa sur les sols de Malaisie. Aucune référence n'y est donnée à la situation minérale des arbres, mais cette communication forme un tout avec un travail de CHAN et col. (62) sur la fumure. Ces derniers auteurs font la synthèse des observations relevées sur environ 1.800 sites, comprenant les 9 séries de sols les plus communément utilisés en hévéaculture en Malaisie. Ils sont représentés dans environ 60 % des superficies d'hévéaculture. Ils indiquent les productions relevées par série de sol et sur plusieurs années, les 9 clones les plus largement plantés et, parmi eux, les clones de la classe I des recommandations du R.R.I.M. (PR 107, GT.1, PB 5/51, RRIM 600, PB 86, RRIM 623, RRIM 605, RRIM 501 et tjir 1). Sur la base de cette synthèse, une classification des sols selon leur potentiel pour la productivité de l'hévéa est proposée en "première approximation". Cette classification comprend 5 classes principales. Les auteurs précisent de quelles classes relève chaque série de sol et les clones qui peuvent être préconisés par ordre de priorité pour chaque classe. Une carte de Malaisie donnant la localisation des séries de sol dont il est question complète ce travail. H.Y. CHAN, N.K. SOONG, Y.K. WOO et K.H. TAN (62), par ailleurs, ont présenté une autre synthèse, qui se rapporte aux résultats d'analyses de feuilles provenant de plus de 1.500 contrôles effectués sur des grandes plantations et des plantations paysannes. La dispersion des résultats pour chaque élément est indiquée par la méthode graphique initiée par M.M. GUHA (37), selon laquelle sont représentées les valeurs extrêmes, la moyenne, et les valeurs supérieures et inférieures de 67 % des valeurs groupées autour de la moyenne. Les auteurs représentent ici, pour chacune des 9 séries de sols les plus répandues, dont il est question dans la précédente publication, une comparaison des dispersions des résultats pour N, P, K et Mg, entre grandes plantations et plantations paysannes, et une comparaison de cette situation de ces éléments minéraux selon chaque série de sol avec les niveaux critiques indiqués par PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG (34). Cette dernière comparaison est faite en considérant distinctement pour l'Azote les 3 groupes de clones, et pour le Potassium les 2 groupes

de clones proposés par ces auteurs (34) pour tenir compte des influences clonales. L'objet pratique en Malaisie de cette synthèse est la formulation de recommandations de fertilisants propres à chacune des séries de sols étudiées ; néanmoins, ce travail reste, hors de Malaisie, une référence essentielle pour apprécier tout résultat d'analyse foliaire obtenue sur un sol, pédologiquement caractérisé, et pouvant paraître valablement assimilable à l'une de ces séries de sols malais, maintenant étudiées de façon très approfondie. On notera que des dispersions de valeurs de Calcium n'ont pas été données dans le travail cité, ce qui n'est pas surprenant puisque la teneur en Calcium trouvée est prise, en principe, comme l'indice de l'âge des feuilles, sur lequel on se base pour corriger les valeurs trouvées pour N et K.

On citera, pour mémoire, vers la même époque, les publications de M.M. GUHA, N.K. SOONG et H.Y. CHAN (63) sur le contrôle des sols pour l'évaluation des besoins en fertilisants de l'hévéa, au Symposium international de la fertilité du Sol, à New Delhi (1971), et de E. PUSHPARAJAH (64), sur les récents développements en matière de nutrition de l'hévéa en Malaisie, à la Conférence internationale du caoutchouc de Sri Lanka, en 1973, ces publications regroupant des données qui ont été citées ci-dessus, sans plus de renseignements de détail sur ce qui retient ici notre attention.

A la conférence des planteurs du R.R.I.M. de 1973, E. PUSHPARAJAH et col. (65) ont rendu compte de la réponse aux fertilisants des plantations paysannes replantées. Les observations ont porté sur 143 plantations paysannes réparties sur 14 séries de sols, dont les séries de sols les plus communément hévéicoles en Malaisie. La situation nutritionnelle de ces petites plantations est indiquée en comparant des blocs fumés et non fumés, par les résultats d'analyse foliaire. Des valeurs moyennes sont données pour chacun des éléments N, P, K et Mg, pour chacune des séries de sol. La réponse de la production aux fertilisants est examinée et, à cette occasion, les auteurs soulignent le fait que l'effet bénéfique du fertilisant n'est que partiellement réalisé lors de l'exploitation sur écorce vierge, et qu'un progrès additionnel est obtenu ultérieurement sur écorce renouvelée, lorsque la stimulation à l'Ethrel est pratiquée.

A l'occasion des diverses manifestations qui eurent lieu ultérieurement : à la Conférence des planteurs du R.R.I.M. de 1974, du Symposium de l'I.R.R.D.B. de 1974 à Cochin et, enfin, à la Conférence Internationale du caoutchouc de 1975, les communications présentées par les chercheurs du R.R.I.M. sur des expériences de fertilisation ou sur sa pratique ne font plus référence à des résultats d'analyses foliaires. Celles-ci pratiquées en grande routine, selon les normes.

publiées en 1972 (34) et dans le cadre d'une méthode également décrite comme on l'a vu pour les surfaces commerciales, industrielles ou rurales, ne paraissent pas, à cette époque récente du moins en Malaisie, devoir donner lieu à des discussions particulières, ou pouvoir en soi apporter des informations nouvelles pour l'amélioration des interprétations. On citera, pour mémoire, une communication de E. PUSHPARAJAH et col. (66), à la Conférence des planteurs de 1974, sur l'efficacité d'emploi des fertilisants, qui se rapporte essentiellement aux modalités d'application des engrais, et une communication de ISMAIL BIN HUSSEIN et E. PUSHPARAJAH (67), au Symposium I.R.R.D.B. de Cochin, sur une évaluation des besoins en engrais et les implications de ces besoins dans le secteur des plantations rurales, communication très orientée sur les aspects économiques particuliers à ce secteur.

Par contre, pendant cette dernière période, on relève plusieurs publications, dans lesquelles se manifeste la préoccupation du R.R.I.M. de parfaire les connaissances relatives aux sols, leur identification, leur classement et leurs caractéristiques tant chimiques que physiques.

C'est ainsi qu'en 1973, un travail de H.Y. CHAN et Col. (68) concerne principalement les limitations physiques des sols de Malaisie et les moyens éventuels de le modifier par des techniques agricoles appropriées. A la Conférence des planteurs de 1974, dans une publication sur l'optimisation de l'emploi des terres pour le caoutchouc et le palmier à huile, E. PUSHPARAJAH, H.Y. CHAN et T.C. TI (69) approfondissaient la notion d'une classification des sols "appropriés" (suitability) (x) à l'hévéa en Malaisie, avec cartographie, compte tenu d'une classification par "Capacité" (capability) (x) des sols de Malaisie antérieurement établie par LEE et PANTON (71) classification basée sur la considération de limitations mineures ou majeures, dont la liste est rappelée par les auteurs du R.R.I.M. A cette même Conférence de 1974, H.Y. CHAN, C.B. WONG, K. SIVANADYAN et E. PUSHPARAJAH (72) ont présenté une étude sur l'influence de la morphologie et de la physiographie des sols, sur la teneur en éléments minéraux des feuilles et les performances de l'hévéa, où il est montré que les propriétés considérées des sols influencent la teneur en éléments minéraux des feuilles, aussi bien que la croissance et le rendement des arbres.

Peu après à la Conférence internationale du caoutchouc de 1975, E. PUSHPARAJAH et col. (73) ont décrit les effets résiduels des engrais sur les sols hévéicoles de Malaisie : effets négatifs du $\text{SO}_4\text{Am}^{2-}$ sur le pH et sur les cations échangeables, effets bénéfiques des engrais phosphatés et notamment du Rockphosphate qui relèvent les teneurs en Phosphore assimilable et en Calcium, effets le plus souvent transitoire des engrais potassique. Antérieurement MAINSTONE (74) avait déjà montré l'effet à long terme du Phosphate par des diagnostics foliaires effectués vingt ans après les applications d'engrais, BOLTON (75) avait indiqué l'effet négatif du $\text{SO}_4\text{Am}^{2-}$. Ce même auteur et quelques années plus tard PUSHPARAJAH (39) avaient mis en évidence

(x) H.Y. CHAN (70), au cours de la discussion qui suivit cet exposé, a précisé: "le mot clef est "soil suitability" ou "land suitability". Quand nous considérons la "land suitability" et inventorions la "capability", nous considérons à la fois le sol, la culture et les aspects économiques et sociaux".

l'accroissement des teneurs des sols en P et Ca sous l'effet du Rockphosphate. Ces travaux cependant étaient limités à des résultats obtenus sur un nombre de sites très limité. L'intérêt de la dernière publication de PUSHPARAJAH et col. (73) est de porter sur 7 expériences d'engrais suivies depuis des années sur 7 sols ayant des caractéristiques parfaitement différentes.

Sur la question de l'état nutritionnel et des besoins en engrais des sols de Malaisie, il y a enfin lieu de citer la thèse de Doctorat récemment soutenue à l'Université de Gand sur ce sujet par E. PUSHPARAJAH (76).

Parallèlement aux travaux sur la fertilisation, les études sur la connaissance pédologique des sols de Malaisie se sont notablement développées au cours des récentes années. Les conclusions de ces travaux ont été données par H.Y. CHAN (77) à la Conférence internationale du caoutchouc de 1975 dans une publication sur les relations macro-pédogénétiques et la classification des sols tropicaux utilisés en hévéaculture. Dans cette publication 31 séries de sol de Malaisie, antérieurement décrites, dans des travaux relatifs à l'hévéaculture et notamment pour la plupart dans la première tentative de classification proposée par OWEN (51), sont reprises selon la distribution systématique proposée par le Département de l'Agriculture des U.S.A. Ce système a pris naissance à travers une série d'approximations dont la "7ème approximation" publiée en 1960 (79) à laquelle se sont référés, dans les années passées et surtout dans les pays anglophones, beaucoup de pédologues internationaux; il a finalement été publié après des aménagements substantiels sous le titre de "Taxonomie du sol" (79). Le travail de H.Y. CHAN, avec toutes les précisions qu'il donne sur les caractères pédologiques des sols hévéicoles de Malaisie, facilite grandement l'identification de ces sols, quant au comportement des hévéas et à leur fertilisation, avec des sols déjà utilisés ou pouvant convenir à l'hévéaculture dans d'autres pays tropicaux et pour lesquels les mêmes problèmes de fertilisation se posent ou se poseront. Il faut remarquer toutefois que malgré le très grand choix de sol offert par la Malaisie, par suite de la forte prédominance dans ses formations géologiques de roches acides, et à cause de la latitude du pays, divers sols d'origine volcaniques et des sols formés dans des conditions climatiques qui se rencontrent à des latitudes un peu plus élevées ne peuvent être identifiés à des sols malais.

En complément à la publication de H.Y. CHAN, un article de vulgarisation sur le même sujet paru récemment dans le Planter's Bulletin (80) explicite la terminologie assez déroutante de la classification employée et rend accessible ces travaux aux non-spécialistes de la pédologie.

Enfin, pour clore ce chapitre sur les travaux qui en Malaisie ont permis d'approfondir la connaissance des sols, de compléter l'information qui était susceptible d'apporter l'analyse foliaire pour leur fertilisation et de mieux fonder son utilisation, il y a lieu de mentionner une monographie (81) éditée par le RRIM, de E. PUSHPARAJAH et L.L. AMIN sous le titre de "Soils under Hevea in Peninsular Malaysia and their management". On y trouve notamment décrits les principales connaissances de bases sur les sols hévéicoles de Malaisie - pédogénèse, propriétés physiques et chimiques, classification, "management" - ainsi que les

effets de la couverture, de la culture et de la fertilisation sur leurs propriétés physiques et chimiques. La description détaillée de 30 profils représentatifs de 27 séries de sol sur un total de 31 désignés dans la classification, est en outre donnée en annexe de cet ouvrage

3.4. Etude sur la composition minérale des diverses parties de l'arbre , les quantités d'éléments minéraux accumulés et leurs variations avec la croissance et divers autres facteurs.

Le diagnostic foliaire est un guide précieux pour déceler des insuffisances en tel ou tel élément et juger de leur importance. Mais son usage pour déterminer les quantités de fertilisants pour assurer la croissance de l'arbre dans des conditions de fertilité de sols extrêmement variées reste un problème. Il faut pouvoir se référer à des expériences en champs poursuivies sur plusieurs années où l'on recherche des relations entre les variations des concentrations en éléments minéraux des feuilles et les réponses de la croissance, puis de la production, aux apports d'engrais, ce qui demande un temps très long.

Des notions sur la croissance et la quantité d'éléments minéraux accumulés dans un arbre aux divers stades de son cycle de croissance sont donc indispensables pour pouvoir évaluer a priori ses besoins nutritionnels. En particulier, d'un point de vue pratique, cette connaissance peut permettre de prévoir le programme d'engrais qui compte tenu des réserves d'un sol donné en éléments assimilables répondra aux exigences annuelles du développement de l'arbre.

Accessoirement, ces travaux, qui ont été effectués pour connaître les divers aspects de la croissance de l'hévéa et l'importance des éléments minéraux accumulés dans ses diverses parties, peuvent également intéresser l'interprétation des résultats de l'analyse foliaire. Un exemple de l'utilité d'une connaissance globale de l'assimilation et de la croissance, pour comprendre certains aspects de la variation de la teneur des feuilles en éléments minéraux est fourni par le phénomène de dilution. Dans certaines conditions, un développement limité de la dimension des feuilles ou une masse foliaire réduite peut faire apparaître une teneur des feuilles en tel ou tel élément minéral qui va diminuer par apport d'un engrais améliorant la croissance et en tous cas la masse foliaire. Ce phénomène connu chez d'autres plantes a été rapporté pour l'hévéa par D.H. CONSTABLE (82) qui avait étudié l'application du diagnostic foliaire à l'hévéa au Sri Lanka, entre 1951 et 1954, très peu de temps après les études semblables déjà mentionnées pour le Viet-nam.

Les premières informations sur le contenu global des hévéas en éléments minéraux ont été données en Malaisie par A.W.J. DYCK (83) et H.J. PAGE (84). A.W.J. DYCK notamment a indiqué des chiffres pour un hévéa de 35 ans environ, d'un poids sec de 3.600 kg. D'autres chiffres sur la teneur totale en éléments minéraux ou sur le poids sec d'arbres âgés, ont été donnés entre les années 1940 et 1960 au Sri Lanka par D.H. CONSTABLE (85), au Viet-nam par E.R. BEAUFILS et Ng. H. CHAT (86), en Indonésie par J.M.A. PENDERS (87) et l'on peut aussi citer E. OTOUL (88) et J. SCHWEIZER (89). Ce dernier a traité l'aspect plus particulier

de la quantité totale d'éléments minéraux dans le feuillage de plantations adultes, lesquels se trouvent recyclées chaque année. Mais ces observations de caractère ponctuel ne donnaient pas de résultats d'analyses détaillées correspondant à des arbres d'âges différents et avec un minimum de répétition permettant de donner à l'information une certaine signification.

Le problème a été vraiment abordé avec toute l'envergure souhaitable dans une vaste étude entreprise par V.M. SHORROCKS dans le même temps que son étude sur les méthodes d'échantillonnages déjà citée. Ces travaux ont été publiés postérieurement en 4 parties sous le titre général "Nutrition minérale, croissance et cycle des éléments nutritifs". La première partie sous-titrée "Croissance et teneur en éléments nutritifs" (90) concerne plus directement notre propos. Les trois autres parties (91) (92) (93) dont l'une publiée en collaboration avec TEMPLETON et IYER se rapportent aux relations entre croissance et poids sec du tronc et aux calculs des besoins en fertilisant en rapport avec le cycle nutritif et la croissance de l'arbre.

Dans la première partie l'auteur présente les résultats d'un travail qui couvre toute la vie économique normale de l'Hevea, pour lequel des hévéas âgés de 1 à 33 ans ont été pesés (pour leur poids frais et sec) et analysés pour leur teneur en éléments majeurs et oligo-éléments. L'auteur fait remarquer que l'abattage, la pesée et l'échantillonnage d'arbres entiers prend un temps considérable, notamment quand ils ont plus de 10 ans et que ceci a nécessairement limité le nombre d'arbres retenus et par conséquent la portée de l'étude. Néanmoins 260 arbres ont été ainsi examinés, ce qui permet déjà une connaissance étendue des phénomènes étudiés à laquelle il sera toujours possible d'apporter des compléments par de nouvelles observations.

Dans ce travail, V.M. SHORROCKS a étudié quelques exemplaires du clone RRIM 501 respectivement à 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 et 24 ans et du clone tjir 1 à 11 et 33 ans. Les arbres ont été choisis comme présentant la croissance moyenne de la culture correspondante. Par ailleurs, près de 80 individus de 4 ans de chacun des clones PB 86, GT 1 et LCB 1320 ont été pris sur les diverses parcelles d'une expérience d'engrais N, P, K, Mg ce qui a permis d'étudier l'effet de la fumure sur la croissance de l'arbre, les relations entre la circonférence des arbres et leur croissance globale, et aussi de comparer les résultats avec ceux trouvés au même âge comme on vient de l'indiquer avec le clone RRIM 501, dont les arbres plantés sur un sol comparable avaient reçu une fumure normale. Pour ce qui concerne les tjir de 33 ans, des observations très intéressantes relatives à l'effet de la saignée ont pu être faites en comparant des arbres normalement saignés à un arbre qui sur la même culture était resté non saigné.

Les déterminations effectuées relatives à la croissance concernaient la hauteur, la circonférence et le poids frais. Pour le poids sec et la teneur en éléments minéraux, les arbres étaient divisés en cinq unités morphologiques, soit :

1. les racines (pivot + racines latérales),
2. le tronc, comprenant le collet et l'union; les branches principales avaient été séparées du tronc au niveau de la fourche (d'une façon générale les arbres avaient été choisis pour qu'il y ait une nette distinction entre le système des branches et le tronc - la longueur du tronc de l'union à la jonction des premières branches était de 3m à 3,70m pour les arbres ayant jusqu'à 8 ans),
3. les branches vertes, qui représentent pour une large part la croissance des branches au cours de l'année,
4. toutes les autres branches,
5. les feuilles comprenant le limbe et le pétiole.

En ce qui concerne les feuilles, le rapport de leur surface à leur poids sec a été déterminé pour les arbres de 1 à 8 ans et d'après une valeur moyenne trouvée pour les arbres de 5 à 8 ans, un indice de surface foliaire qui est le rapport de la surface totale des feuilles à l'unité de surface du sol a été calculé pour les cultures échantillonnées allant jusqu'à 33 ans.

Les analyses minérales effectuées concernaient, Azote, Phosphore, Potasse, Magnésium, Calcium, Soufre, Manganèse, Bore, Cuivre, Molybdène, Zinc et Fer. Les teneurs en éléments minéraux sont données globalement pour chaque culture, par arbre et par hectare compte tenu de la densité de plantation, dans chaque cas, un tableau donne en outre pour l'ensemble des cultures la teneur moyenne et le domaine de variation de chaque élément pour chacune des unités morphologiques précédemment définies. Les résultats détaillés, pour les arbres des divers âges et sites, ainsi que pour les écorces et le bois des troncs et des branches de 1er ordre (partant du tronc) et aussi pour les feuilles et les pétioles examinés distinctement qui ont fait l'objet d'un échantillonnage particulier pour les RRIM 501 de 1 à 8 ans, ne figurent pas dans la publication citée plus haut et sont donnés dans un document d'archives du RRIM (94).

L'ensemble de ce travail représente une très grande richesse d'informations qui ne peuvent être résumées, chacune pouvant présenter un grand intérêt selon le point de vue considéré. On se bornera à relever ici quelques résultats qui concernent certains aspects de l'interprétation du diagnostic foliaire méritant d'être soulignés. En premier lieu la question de la masse et de la surface foliaire: l'auteur met en évidence que la masse foliaire augmente jusqu'à l'âge de 10 ans puis décroît jusqu'à la fin de la vie économique de l'arbre, de même et à fortiori, pour l'indice de surface foliaire qui dépend aussi du nombre d'arbres par hectare. En outre, phénomène particulièrement remarquable, on note qu'un arbre laissé non saigné dans une culture normalement exploitée et ceci jusqu'à 33 ans, a, au contraire, une masse foliaire pratiquement double de celle des arbres saignés de 10 ans, les arbres normalement saignés jusqu'à 33 ans présentant à l'inverse une masse foliaire moitié moindre qu'à dix ans. Sans doute, un seul arbre non saigné a-t-il été

examiné, mais le sens et l'importance de la différence est trop marqué pour ne pas révéler l'existence d'un phénomène très réel. Celui-ci, sans avoir jamais été chiffré et décrit, semble-t-il jusque là, n'a pas échappé à maints praticiens de plantation, à savoir que la saignée entraîne une réduction de la surface foliaire, ceci étant particulièrement marqué lorsque les saignées sont intensives, telles les saignées dites "à mort" qui ne tuent pas l'hévéa, mais donnent des arbres presque complètement dénudés.

Si l'on tient compte non seulement de l'effet de la saignée sur le feuillage, mais aussi sur la croissance en général, et que l'on compare la teneur totale en chacun des éléments minéraux des arbres de 33 ans saignés et non saignés dans la même culture, on constate que la différence est au moins de 5 à 10 fois supérieure à la quantité des éléments susceptibles d'avoir été exportés par environ 25 ans de saignées. Il pourrait sembler à première vue que la moindre croissance de l'arbre comme la réduction de la masse foliaire ne peuvent être imputables aux éléments minéraux disponibles dans le site considéré. Néanmoins, on remarque que la teneur totale en éléments minéraux est réduite dans les arbres saignés, par rapport à l'arbre non saigné dans une proportion notablement différente selon les éléments. La différence de teneur en éléments minéraux est en proportion beaucoup plus élevée pour les éléments K, P, S, Mn, Bo, Cu, et Mo, que la différence entre les poids secs des deux catégories d'arbres ainsi que le montre le tableau suivant établi d'après les résultats donnés par V.M. SHORROCKS. Ceci ne peut être attribué à une différence de turgescence des tissus car le rapport du poids sec au poids frais est pratiquement le même pour les deux catégories d'arbres (1,95 contre 1,96). Enfin, un travail plus récent de G. HARIDAS et col. (95) montre, contrairement à ce qui aurait pu être supposé, que la nutrition minérale doit se trouver impliquée dans les conséquences de l'exploitation de l'hévéa sur la masse foliaire, mais les relations de cause à effets pourraient être complexes*.

A propos de l'étude des caractéristiques du feuillage, V.M. SHORROCKS (90) a évoqué la senescence prématurée des feuilles, fréquemment observée sur les branches basses à l'ombre des couronnes très denses. Il note que ces feuilles par suite de la faible intensité de lumière reçue contribuent largement aux pertes dues à la respiration et très peu aux gains résultant de l'assimilation. L'échantillonnage pour le diagnostic foliaire étant pratiqué sur les branches basses, cet aspect des variations de la physiologie foliaire doit être gardé présente à l'esprit.

*G. HARIDAS et col. (95) étudiant l'interaction fumure-production sur des expériences de stimulation avec et sans apport d'engrais, ont mis en évidence une réduction de près de moitié de la surface foliaire sous l'effet de la stimulation, mais avec une fumure appropriée au terrain, augmentée d'une fumure de compensation pour les éléments drainés par la saignée, la surface foliaire se retrouvait à un niveau pratiquement équivalent à celui des motifs non stimulés et non fumés. L'interaction fumure-stimulation sur la production est mise en évidence par ailleurs. Il est important de souligner qu'il n'en est pas de même pour les racines dite nourricières dont le développement est réduit par la stimulation qu'il y ait ou non apport d'engrais.

Comparaison de Tjir 1 de 33 ans saigné et non saigné

Poids secs kg/arbre					Eléments minéraux en gr/arbre											
	tronc + branches	branc. vert.	feuil.	total p. aérien.	K	N	P	Mg	Ca	S	Mn	Fe	Bo	Zn	Cu	Mo x 10 ⁻³
Tjir 1, 33 ans saigné	1.756,32	28,14	16,50	1.800,96	4.018	5.895	884	1.270	6.801	803	52,40	29,51	5,45	15,16	3,74	132,2
Tjir 1, 33 ans non saigné	3.737,17	92,13	73,61	3.902,91	14.429	13.297	3.387	2.810	10.756	2.555	393,96	75,87	16,15	44,91	14,30	252,0
Diff. absolue	1.980,85	63,99	57,11	2.101,95	10.411	7.402	2.503	1.540	3.955	1.752	341,56	46,36	10,70	29,75	10,56	119,8
Diff. en % de Tjir 1 non saigné	53,00	69,45	77,58	53,85	72,15	55,66	73,90	54,80	36,77	68,57	86,66	61,10	66,25	66,24	73,85	47,54

En ce qui concerne plus particulièrement les éléments minéraux, V.M. SHORROCKS ayant calculé, d'après la teneur en éléments minéraux des arbres à différents âges, les quantités absorbées annuellement pendant l'immaturité et au cours de la maturité, il souligne que pendant l'immaturité, alors que Soufre et Calcium ne sont pas apportés intentionnellement au sol comme engrais, la quantité de soufre absorbée annuellement par l'arbre est du même ordre que celle du Phosphore, et que la quantité de Calcium absorbée excède celle de Potassium + Magnésium. Au cours de la période de maturité, les quantités absorbées annuellement ne sont pas très différentes, un peu plus élevée que pendant la période d'immaturité (10 à 15 %) pour P, K et Ca, mais elles diminuent appréciablement pour ce qui concerne l'Azote. A propos du Calcium, l'auteur souligne qu'en poids, cet élément est plus important que tous les autres éléments, l'Azote excepté et que 30 à 50 % de cet élément est déposé dans l'écorce du tronc et des branches. Il est possible que tout ce qui est absorbé de cet élément ne soit pas essentiel pour le développement de l'arbre *, mais il conclut que "la nutrition en Calcium, qui n'a pas été étudiée aussi intensivement que celle relative à l'Azote, au Phosphore, au Potassium et au Magnésium, devrait bénéficier d'une plus grande attention non seulement à cause de l'importante absorption de cet élément mais aussi en prenant en considération la fertilité du sol".

Dans la poursuite de son étude V.M. SHORROCKS (91) donne des informations complémentaires sur le cycle des éléments minéraux, chiffrant ce qui est absorbé par la couverture de légumineuse et retourne au sol après sa disparition, ce qui est contenu dans les feuilles et est restitué chaque année dans la litière. Les éléments minéraux contenus dans les fruits, le produit du rinçage des feuilles par les pluies sont également évalués. L'auteur fait aussi une estimation des apports extérieurs (fixation par les bactéries du sol, éléments apportés par les pluies) et des pertes subies par le site (pertes par lessivage du sol et autres causes, drainage d'éléments par le latex) **. Le problème des pertes importantes subies par le site lors de la replantation en fonction des techniques utilisées est également abordé.

* Etant donné le rôle joué par le Calcium dans les parois cellulaires, on peut douter que sur des sols pauvres en Calcium comme les sables tertiaires de Côte d'Ivoire et n'ayant reçu aucun engrais phosphocalcique, les hévéas puissent absorber autant de Calcium que ceux dont il est question dans la publication citée, et on peut se demander s'il ne peut en résulter une plus grande sensibilité à certaines maladies, le Fomès par exemple.

** Cf. aussi sur le sujet un article général d'information sur le cycle des éléments nutritifs sous plantation d'hévéas, paru en 1972 dans le Planter's Bull. (96) qui reprend les chiffres publiés par SHORROCKS en y ajoutant d'autres résultats provenant des recherches poursuivies entre temps au RRIM.

Dans les deux dernières publications de ce travail, V.M. SHORROCKS, J.K. TEMPLETON et G.C. IYER (92) font l'étude de la relation entre la circonférence de l'arbre et le poids de la partie aérienne. L'étude effectuée sur plusieurs clones, de 1 à 39 ans, conduit à la formule $Y = 2,7826X - 2,5843$ ou $Y = \log. \text{ Poids sec et } X = \log. \text{ circonférence}$, et enfin V.M. SHORROCKS (93) examinant l'accroissement de circonférence des arbres pour 12 clones et 3 familles illégitimes au cours des 12 premières années de plantation, discute de la variation clonale de la circonférence. Le poids sec de la partie aérienne étant estimée à partir de la circonférence, l'auteur souligne les exigences nutritives plus grandes des clones à forte croissance.

Plus récemment, E. PUSHPARAJAH (97) soulignait que des clones modernes comme RRIM 600 avaient des besoins en éléments minéraux supérieurs à ceux de clones plus anciens tels que ceux étudiés par SHORROCKS. Ces nouveaux clones sont plus producteurs par eux-mêmes et a fortiori lorsqu'ils sont soumis à la stimulation, et de ce fait il y a notablement plus d'éléments minéraux exportés dans le latex (56) (60). En outre, ces nouveaux clones sont relativement plus vigoureux et accumulent plus d'éléments minéraux dans leurs tissus. Dans une étude analogue à celle de SHORROCKS, T.S. LIM (98) a examiné la quantité d'éléments minéraux accumulée dans des arbres du clone RRIM 600 âgés de 1 à 16 ans et échantillonnés d'une part sur sol Rengam, le plus répandu en Malaisie et d'une fertilité très moyenne, d'autre part sur des sols de la série Munchong, les meilleurs sols de la péninsule. Trois à cinq arbres ont été analysés par site d'un âge donné. Les quantités d'éléments minéraux accumulés sont exprimés en kg/ha, les variations avec l'âge sont représentées graphiquement, et les taux annuels d'éléments accumulés sont exprimés pour les deux catégories de sol, par leur moyenne pour les périodes de 0 à 6 ans, de 6 à 16 ans et de 0 à 16 ans. Les résultats tels que publiés ne peuvent en toute rigueur être comparés à ceux de SHORROCKS, car les densités de plantation des cultures concernées sont de près de 30 % supérieures. Néanmoins, ils semblent indiscutablement plus élevés surtout pour K, Ca. Ils sont aussi plus élevés pour N pendant la période d'immaturité. Comme SHORROCKS l'avait mentionné, le taux d'accumulation annuel d'N diminue pendant la période de maturité, mais apparemment d'une façon beaucoup plus marquée ici. On note aussi comme dans l'étude antérieure une appréciable augmentation du taux d'accumulation du Calcium pendant la période de maturité par comparaison avec la période d'immaturité. La variation de la répartition des éléments entre feuilles, tronc, branches et racines est donnée suivant l'âge. En règle générale, c'est dans les branches que les éléments minéraux se trouvent en plus fortes proportions. La proportion d'N dans les feuilles est de 21 à 42 %, celle des autres éléments majeurs se tient en général entre 10 et 20 %, mais celle du Calcium tombe au-dessous de cette proportion à l'âge adulte. L'auteur donne également la distribution des éléments minéraux entre les tissus du bois et ceux de l'écorce. A l'exception du Calcium, la proportion des éléments dans le bois est élevée: 30 à 50 % pour N et K, 50 à 70 % pour P et Mg. Le Calcium pour sa part se trouve en proportion de 60 à 80 % dans l'écorce, proportion beaucoup plus élevée que celle indiquée par SHORROCKS (30 à 50 %).

Confrontant les quantités d'éléments minéraux accumulées dans l'arbre avec celles disponibles dans le sol, et celles apportées par les programmes d'engrais habituels, l'auteur note des déficits pour K, Mg et Ca pour les deux sols considérés, mais surtout pour les sols Rengam. Il conclut pour ce matériel, et, sur les divers sols de Malaisie, à une nécessité d'applications complémentaires de K et de Mg, qu'il y a lieu de baser sur les résultats d'analyses de sol et d'analyses foliaires. Il reste réservé sur l'intérêt que présente le Calcium.

Dans tous les travaux dont il vient d'être question sur la composition minérale des diverses parties de l'arbre, les variations possibles au cours du cycle physiologique annuel n'ont pas été examinées comme cela avait été fait précédemment pour les feuilles. Une telle étude a été entreprise par K.T. TAN (99) qui a observé comparativement au cours d'un cycle annuel les variations des éléments N, P, K, Mg, Ca dans les tiges vertes, les racines, le bois et l'écorce des branches aoutées, en même temps que dans les feuilles. Ce travail a été conduit pendant 15 mois, d'une défoliation à la fin de la défoliation suivante, sur 16 arbres adultes de 16 ans du clone RRIM 513 (à raison de 4 groupes de 4 arbres, un échantillon moyen de chaque prélèvement étant constitué par groupe). Des prélèvements, au moins mensuels étaient effectués. Les feuilles prélevées étaient les feuilles basses situées à l'ombre, classiquement retenues pour le diagnostic foliaire, les branches échantillonnées étaient des branches aoutées de 2,5 à 3 cm de diamètre de 2 à 3 ans d'âge, et les racines étaient prélevées entre 0 et 15 cm. Résumant ses observations dans leur ensemble, l'auteur précise "Les plus fortes concentrations des éléments nutritifs ont été trouvées dans les tiges vertes, les tissus de l'écorce et des racines à la fin de la période de défoliation. A cette époque, les éléments majeurs, à l'exception du Calcium sont à leur plus bas niveau dans les feuilles. Au début de la refoliation, les éléments nutritifs sont mobilisés à partir de ces tissus dans le développement des nouvelles feuilles. L'épuisement de ces tissus se poursuit au cours de la maturation des feuilles et atteint un minimum après 90 à 120 jours. Quand les feuilles ont atteint leur maturité un très lent accroissement des teneurs se produit dans les tissus d'accumulation des réserves. Cet accroissement s'accélère lors de la nécrobiose des feuilles précédant la défoliation". L'auteur conclut: "le bois et l'écorce de branches de 2 à 3 ans, les racines aussi bien que les tiges vertes agiraient comme tissus d'accumulation pour certains éléments nutritifs en particulier pour l'Azote et à un moindre degré pour le Phosphore et le Potassium. L'auteur donne pour chaque élément une représentation graphique de la variation au cours de l'année des teneurs observées dans les diverses parties de l'arbre. Au sujet du Calcium, les résultats présentés par l'auteur permettent de faire une remarque importante. Le Calcium qui s'accumule dans les feuilles au cours de l'année, à l'inverse des autres éléments majeurs, présente dans l'écorce, son principal réservoir, une variation qui suit bien l'allure générale des variations indiquées par l'auteur dans les tissus d'accumulations et, d'une façon encore plus nette que pour le Potassium. On note en particulier une chute de la teneur en Calcium de 3 % à 1,5 % environ dans l'écorce, du début de la refoliation à juin, pendant que la teneur dans les jeunes feuilles passe de 0,2 à 0,6 %

environ dans les feuilles et de 0,6 à 1,2 % environ dans les tiges vertes mais pour celles-ci, après avoir chuté fortement pendant la première semaine de refoliation.

Il apparaît donc, bien que le Calcium ait été indiqué dans des travaux antérieurs : comme immobilisé en abondance sous forme d'oxalate dans les tissus de l'écorce (98), qu'il s'en trouve une proportion mobile suffisamment importante pour permettre l'observation de ces variations.

Pour l'ensemble des éléments majeurs, leur accumulation dans les tissus de réserves lors de la nécrobiose des feuilles et leur épuisement au moment de la refoliation impliquent que ceux-ci jouent un rôle tampon qui permet de comprendre que des réponses aux apports d'engrais pourront être rapides ou lentes suivant l'importance de ce facteur tampon qui dépend du stockage antérieur d'éléments et par conséquent des conditions de la nutrition minérale dans le passé. On conçoit également que les équilibres entre les tissus d'accumulation et les feuilles, dus aux translocations réciproques, dépendent pour une grande part du cycle physiologique annuel des feuilles et de la disponibilité dans le sol des éléments minéraux, mais également d'autres circonstances comme la masse des tissus d'accumulation par rapport à la masse des feuilles, l'une et l'autre variables avec la nature du matériel végétal, l'âge de l'arbre, et ses conditions de végétation. On conçoit aussi pour ce qui concerne les observations faites dans les feuilles, l'importance que peut présenter la position des feuilles échantillonnées et les valeurs relatives de leur activité respiratoire et de leur activité d'assimilation.

Il n'est donc pas surprenant que les variations des teneurs observées présentent au cours de l'année de notables irrégularités comme cela est évident sur les graphiques présentés par K.T. TAN et éventuellement des allures différentes selon le matériel végétal et le site, voire même selon des régions dont les composantes et séquences climatiques sont dissemblables.

4. APPLICATIONS DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET MODALITES DE SON INTERPRETATION DANS D'AUTRES PAYS D'HEVEACULTURE

Au cours des deux dernières décades, l'analyse foliaire a été pratiquée dans la plupart des pays d'hévéaculture. On rencontre fréquemment dans la littérature des comptes rendus d'expériences d'engrais où figurent des résultats d'analyse foliaire. Ces informations fragmentaires ne peuvent, en dehors de leur pays d'origine, contribuer à l'approche des mécanismes sur lesquels cherche à s'appuyer l'interprétation des résultats d'analyse foliaire.

On ne retiendra dans cette revue que la publication de travaux qui visent les bases fondamentales du diagnostic foliaire.

- 4.1 Au Sri-Lanka où les chercheurs, comme on l'a vu, ont été parmi les premiers à s'intéresser au diagnostic foliaire, C.G. SILVA a refait dans les conditions de ce pays des observations sur les problèmes d'échantillonnages. Les résultats ont été présentés à la Conférence Internationale du Caoutchouc à Kuala Lumpur en 1975 (100). L'étude porte notamment sur la variation de la teneur des feuilles en éléments nutritifs selon leur position sur l'arbre et sur la variation de la composition minérale des feuilles au cours du cycle physiologique annuel. La variation entre arbres a également été examinée en vue de définir la dimension de l'échantillon, et, enfin, des observations ont été faites sur la composition des feuilles analysées avec ou sans la nervure centrale. La variation de la composition des feuilles suivant leur position et la variation au cours du cycle annuel ont été étudiées sur dix-sept PB 86 et dix-sept RRIC 45 d'un champ de clone de 11 ans. Rappelons que l'étude de GUHA et NARAYANAN (30) sur la variation de la composition des feuilles au cours de l'année portait sur 5 clones de 6 ans dont PB 86. Les variations de la teneur en chaque élément (N, P, K, Ca, Mg et Mn) pour diverses positions de tiges échantillonnées ont été exprimées par les coefficients de variation des valeurs obtenues dans chaque cas.

L'auteur conclut que dans l'ensemble les coefficients de variation pour chaque élément ne sont pas appréciablement différents. Si certains coefficients de variation semblent se distinguer par une valeur particulièrement faible ou élevée, par comparaison aux autres valeurs pour le même élément, il n'apparaît pas en considérant les résultats des deux clones que cela soit caractéristique d'une des positions d'échantillonnage. L'auteur note en tout cas que toutes ces positions de prélèvement peuvent permettre une indication satisfaisante de l'état nutritif de l'arbre, mais que pour des raisons d'ordre pratique lorsqu'il s'agit d'arbres adultes, l'échantillonnage des feuilles basses et à l'ombre a été retenu comme méthode courante au Sri Lanka.

Considérant les coefficients de variations dans leur ensemble, on remarque par ailleurs que les valeurs les plus élevées se rencontrent pour Ca, Mg et Mn, et ceci pour toutes les positions d'échantillonnage chez PB 86, moins systématiquement chez RRIC 45.

En ce qui concerne l'étude des variations des éléments avec l'âge des feuilles, les résultats obtenus par C.G. SILVA sont semblables à ceux précédemment publiés par GUHA et NARAYANAN pour ce qui concerne N, P et K, mais nettement différentes pour le Calcium. De très bons coefficients de corrélation entre teneur en élément et âge de la feuille sont obtenus pour N et P avec les 2 clones et pour K avec PB 86, ces corrélations exprimant une diminution progressive des teneurs en éléments dans les feuilles au cours de l'année. La corrélation n'est pas significative pour K avec RRIC 45 ; en observant la représentation graphique, on constate que la teneur en cet élément diminue progressivement jusqu'à un âge des feuilles d'environ 3 mois et demi, au-delà la variation est irrégulière, avec en définitive un net accroissement vers la fin du cycle. Ce fait est tout à fait inhabituel, les teneurs minima en K dans les feuilles en fin de cycle étant considérées comme la règle générale (cf. notamment l'étude récente de K.C. TAN précédemment citée).

Pour le Calcium, le coefficient de corrélation est quasiment nul chez PB 86 ($r = 0,1464$), médiocre et aussi non significatif chez RRIC 45. Tandis que dans les travaux effectués en Malaisie sur le sujet, on observe un accroissement progressif de la teneur en Ca avec l'âge de la feuille. Les variations présentent ici un léger accroissement pendant les 3 premiers mois du cycle, suivi d'une baisse notable et un nouvel accroissement pendant les 3 derniers mois conduisant à des valeurs maxima du même ordre que celles observées à 3 mois. Si cet aspect des variations du Ca est très différent de celles observées en Malaisie, et ailleurs comme nous le verrons plus loin, il y a lieu de souligner que l'allure des courbes est tout à fait semblable pour les deux clones. Ceci laisse à penser que la baisse observée vers le milieu du cycle physiologique, n'est pas un artefact mais un phénomène réel vraisemblablement dû à l'action, sur les translocations du Calcium, de facteurs dépendant de circonstances locales. A cet égard, il faut remarquer que pour les deux courbes de variation présentées, les teneurs en Calcium restent dans des limites très basses, les maxima n'atteignant que 0,8 % environ pour RRIC 45 et 0,6 % pour PB 86. Il semblerait probable en s'en remettant aux valeurs indiquées que les heveas ont végété dans des conditions de mauvaises assimilation en Calcium, mais d'après les observations faites par les auteurs malais sur des sols pauvres en Ca, cela ne paraît suffire à expliquer ces variations irrégulières (34). Aucune indication n'est donnée par ailleurs qui permettrait de savoir si l'absence d'un accroissement régulier de la teneur en Ca des feuilles est un fait général pour le sol concerné, où dans les conditions climatiques de ce pays. La question se pose aussi de savoir si les variations, qui ont permis ces conclusions et qui se distinguent notablement de celles publiées ailleurs sur le même sujet, auraient présenté les mêmes caractères au cours d'autres cycles annuels.

Du point de vue pratique les conclusions tirées par l'auteur pour l'échantillonnage et l'interprétation est que la période de juillet à décembre convient pour le prélèvement des feuilles (celles-ci débouillant vers début mars) et qu'il n'y a pas lieu de tenir compte des valeurs de Calcium.

- 4.2 En Indes, l'intérêt porté à l'utilisation du diagnostic foliaire se manifeste dans plusieurs publications du Rubber Institute of India (RRII) présentées au Symposium de l'IRRDB qui s'est tenu à Cochin en 1974.

Une expérience d'engrais NPK³ à long terme établie en 1956 dans 4 sites différents, a fait l'objet en 1970 (les arbres ayant donc 14 ans) d'une étude approfondie sur l'effet des fumures sur les niveaux des éléments nutritifs dans les divers sols concernés, et leurs teneurs dans les feuilles^{*}. Les résultats détaillés ont été présentés par M.V. PUSHPADAS et col.(101), les résultats de production ayant été donnés et discutés par ailleurs par S.N. POTTY et col. (102).

* Observations limitées à 3 sites, en raison d'importantes attaques d'oïdium sur l'un des sites de l'expérience.

Une autre étude porte sur l'effet d'engrais sur la croissance et les teneurs en éléments minéraux des feuilles pour plusieurs clones. Les problèmes d'échantillonnage et d'interprétation n'ont pas été abordés par ces auteurs qui se réfèrent aux préconisations de V.M. SHORROCKS. Les prélèvements de feuilles sont pratiqués en septembre-octobre, et les valeurs limites utilisées comme standard en Indes pour l'interprétation des résultats de l'analyse du sol et de l'analyse des feuilles sont indiquées dans l'une des ces publications et à titre de références dans un autre travail (104) qui se rapporte à l'application de tests rapides sur sols et tissus végétaux à effectuer sur le terrain. Les limites pour les classes "medium" correspondent à celles indiquées par E. PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG (34) pour P et Mg, mais sont plus basses pour N (3 à 3,2 %) et pour K (1 à 1,2 %). Comme les échantillonnages sont effectués en septembre-octobre et qu'il n'est pas fait de correction pour l'âge des feuilles comme en Malaisie, ces limites doivent dans la majorité des cas correspondre approximativement à celles indiquées par les auteurs malais.

Une remarque intéressante est à faire à propos des teneurs en Calcium des feuilles concernant les résultats de l'expérience d'engrais présentée par PUSHPADAS et col. (101). Ces observations se rapportent à 3 sites pour lesquels les sols, présentent des niveaux de fertilité et notamment des teneurs en bases échangeables assez différentes. Pour 2 d'entre eux, les teneurs en Ca des feuilles se tiennent en moyenne à un niveau tout à fait normal pour tous les motifs échantillonnés (1,04 à 1,25 %) compte tenu de l'époque de prélèvement des feuilles. Par contre les teneurs sont manifestement basses, vu la période de prélèvement, pour tous les motifs du troisième site, soit 0,68 à 0,75 % pour les motifs avec engrais et respectivement 0,80 et 0,61 % pour les deux répétitions du témoin $N^O P^O K^O$. Ce site se trouve paradoxalement être celui où le pH est le plus élevé avec une teneur en Calcium au moins double de celles observées dans les 2 autres sites. On remarque en outre que les apports de phosphate de chaux n'ont aucun effet sur les teneurs des feuilles en Calcium alors que ceci est considéré comme une règle générale en Malaisie où il en est tenu compte pour la correction des résultats d'analyse foliaire (34) (cf aussi annexe I). L'anomalie est ici particulièrement frappante et soulève le problème des antagonismes entre éléments, susceptibles de provoquer un défaut d'assimilation en un élément même si l'analyse le révèle à un taux relativement satisfaisant dans le sol. Dans la littérature relative à l'hévéa, l'antagonisme K-Mg par exemple, a été mis en évidence par la plupart des auteurs, mais on ne connaît pas les antagonismes qui peuvent se manifester pour le Calcium, dont les conditions d'assimilation paraissent n'avoir jamais été vraiment approfondies.

Quelques uns des résultats dont il est fait état ici, se retrouvent mais avec moins de détails dans une étude générale présentée par K.I. PUNNOOSE et col. à la conférence internationale de Kuala Lumpur en 1975 (105).

- 4.3 En Côte d'Ivoire, une étude méthodique de la variation des éléments minéraux dans les feuilles en fonction du cycle physiologique annuel a été entreprise en 1960, dès qu'il fut question d'appliquer le diagnostic foliaire pour chercher à définir les conditions de la nutrition minérale de l'hévéa dans ce pays, soit, avant que le même sujet ait été abordé en Malaisie. L'étude a porté sur les clones PB 86 et PR 107. Débutée alors que ce matériel végétal avait 1 an d'âge, elle a été poursuivie sur 12 ans. Les prélèvements des feuilles, dont le débourement avait été soigneusement repéré, étaient effectués mensuellement sur les mêmes arbres et ceci chaque année. A noter que les prélèvements ne portaient que sur des feuilles complètement développées, c'est-à-dire que les variations qui se produisent pendant les toutes premières semaines du cycle annuel n'étaient pas considérées. Les résultats obtenus sur le clone PB 86 ont fait l'objet d'une communication par J.G. BOUYCHOU (106) au colloque de l'Institut International de la Potasse qui s'est tenu à Abidjan en 1973, soit 5 ans après la publication de GUHA et NARAYANAN (30), ce qui a permis à leur auteur de les comparer à ceux obtenus par les malais sur un même matériel végétal. Dans les grandes lignes, les résultats obtenus en Côte d'Ivoire sur une période de 12 ans sont en excellente concordance avec ceux de Malaisie obtenus par GUHA et NARAYANAN sur une année, ainsi que le montre les graphiques comparatifs présentés par J.G. BOUYCHOU : les coefficients de corrélation, exprimant les variations de N, P, K et Ca en fonction de l'âge des feuilles, sont élevés, se tenant entre 0,962 et 0,996; et très hautement significatifs. Les droites de régression calculées se tiennent au-dessus de celles de GUHA et NARAYANAN pour N et P, au-dessous pour Ca, et très voisine par leurs niveaux. Elles sont de pentes presque identiques pour le Potassium.

Dans le cas de l'interprétation de J.G. BOUYCHOU, chacune des valeurs représentées sur les graphiques correspond à la moyenne des résultats obtenus en 12 ans pour le même âge des feuilles. Ceci a vraisemblablement l'avantage d'atténuer l'effet des facteurs divers non contrôlés et de mieux mettre en évidence le facteur essentiel, soit le phénomène de vieillissement de la feuille, mais par contre, si comme nous le pensons actuellement, l'allure des variations d'un élément pour un sol et pour un matériel donné est susceptible de se modifier avec l'âge des arbres, le mode de représentation choisi ne permet évidemment pas de le voir et la courbe obtenue est la résultante des courbes qui pourraient être mises en évidence de 1 à 12 ans. Pour cette raison, on ne peut en toute rigueur pousser trop loin la comparaison avec les résultats obtenus par les malais avec le même clone PB 86 à l'âge de six ans seulement. On serait tenté cependant d'interpréter la pente plus faible et le niveau moindre de la courbe observée en Côte d'Ivoire pour le Calcium par une situation plus pauvre du Calcium en cet élément.

L'étude des variations des éléments minéraux dans les feuilles en fonction du cycle annuel a été poursuivie en Côte d'Ivoire sur des bases nouvelles et ceci depuis 1973 :

- l'étude porte désormais sur 4 clones jugés plus particulièrement intéressants dans le cadre du développement de l'hévéa en Côte d'Ivoire : GT 1, RRIM 600, PB 5/51, Av. 2037,
- l'étude a débuté au début de la 4ème année d'âge de ce matériel
- les prélèvements mensuels comprennent 4 répétitions d'un échantillonnage de 30 feuilles à raison de 1 feuille par arbre (dans l'expérience précédente, le prélèvement mensuel constituait un seul échantillon de 30 feuilles à raison de 1 feuille par arbre).
- un soin particulier est apporté à la définition et au repérage de la position des feuilles échantillonnées : sur un rameau bas, à l'ombre, constitué par une pousse de l'année, en ne conservant que la foliole centrale,
- les analyses portent sur les éléments majeurs N, P, K, Ca, Mg et en outre sur les oligo-éléments Mn, Cu, Zn.

Une première interprétation portant sur les éléments majeurs a été effectuée en 1974 (107) correspondant approximativement à la 4^{ème} année du matériel végétal suivi. Les résultats obtenus pour ce cycle d'un an ont permis de faire les observations suivantes: les teneurs en Azote après une remontée qui suit la refoliation subissent une diminution linéaire en fonction de l'âge des feuilles. Les droites de régression établies à partir de juin jusqu'à la défoliation sont très hautement significatives et ont des caractéristiques assez semblables pour les 4 clones. Les variations des teneurs en Potasse présentent dans l'ensemble la même allure, mais la diminution linéaire n'apparaît qu'à partir d'août. Les droites de régression calculées à partir de cette époque sont très hautement significatives pour 9 clones, et de caractéristiques très semblables. Pour PB 5/51 la diminution, non significative est peu marquée. Pour le Calcium, les teneurs augmentent de la refoliation à la défoliation. Les droites de régression très hautement significatives forment pour les 4 clones un faisceau étroit.

Ces résultats comme ceux obtenus par GUHA et NARAYANAN sur un matériel de 2 ans plus âgés militent en faveur d'une correction des valeurs de N et K en fonction de relations N-Ca et K-Ca, permettant de juger les niveaux des éléments N et K à un niveau donné de Ca supposé correspondre à un âge physiologique donné de la feuille.

La particularité des résultats obtenus ici réside cependant dans le fait que les teneurs maxima en N et K ne se manifestent que 2 à 4 mois après le début de formation des feuilles et non dans les premières semaines. En se référant au travail de K.C. TAN (99), on peut penser qu'à cause de la position de prélèvement (pousse de l'année) et peut être aussi parce qu'il s'agit d'arbres plus jeunes, les feuilles peuvent moins compter, au cours de leur murissement, sur les éléments mis en réserve dans les tissus d'accumulation.

On notera enfin que pour le Phosphore et le Magnésium, il n'a pas été observé de diminution avec l'âge des feuilles.

L'expérience de Côte d'Ivoire étant poursuivie depuis maintenant 8 années, on peut s'attendre à ce qu'elle apporte encore de très intéressantes précisions, notamment en ce qui concerne l'évolution possible des variations avec l'âge des arbres.

5. ETUDES SUR LA VARIABILITE DES RESULTATS D'ANALYSE ET LA VARIABILITE PROPRE A L'ECHANTILLONNAGE.

La connaissance de la variabilité des résultats est indispensable à l'interprétation. Il a paru intéressant en terminant cette revue de travaux sur le diagnostic foliaire de l'hévéa et son interprétation de rappeler les principales publications qui ont traité ce problème, bien que certaines d'entre elles aient déjà été citées à d'autres titres.

La variabilité propre aux résultats d'analyse est du ressort des laboratoires qui en général se préoccupent de la définir pour chacune des méthodes qu'ils appliquent, en outre des précautions sont prises pour assurer la comparaison des résultats entre les laboratoires et dans ce but des contrôles parallèles sont pratiqués sur les mêmes échantillons par plusieurs laboratoires, ce qui permet de définir des variabilités interlaboratoires. Enfin, pour assurer la reproductibilité dans des limites données, les laboratoires ont souvent coutume lors de l'exécution d'une série importante d'analyses de faire passer un témoin tous les x échantillons, le témoin étant prélevé dans un stock homogène de poudre de feuilles de composition parfaitement connue. La répétition des résultats obtenus sur le témoin permet de vérifier la variabilité des résultats d'analyse lors de chaque série de détermination.

En France, il y a plus d'une vingtaine d'années, alors que les divers Instituts de Recherche tropicaux français commençaient à s'intéresser à l'application du diagnostic foliaire, de nombreux contrôles parallèles ont été effectués entre laboratoires. Les résultats de ces analyses ont été publiés en leur temps et une banque de poudres de feuilles correspondant à diverses cultures a été constituée. Ces stocks de poudre sont encore utilisés par le laboratoire central d'analyse du GERDAT à Montpellier.

En ce qui concerne plus spécialement les analyses foliaires se rapportant à l'hévéa, des contrôles parallèles ont été effectués en 1964 dans 4 laboratoires de Malaisie, soit le laboratoire du R.R.I.M. et ceux de très grandes sociétés de Plantations pratiquant en routine le diagnostic foliaire : (Socfin, Dunlop et Chemara Research Center de Guthrie). Le compte rendu des résultats et leur discussion ont fait l'objet d'une publication de K.R. MIDDLETON, P.R. GYSS, J.C. FALLOWS et J.A. VARLEY (109) dont relevaient respectivement les analyses dans les 4 laboratoires précités. Dans ce travail, les auteurs décrivent les méthodes d'analyses et comparent les résultats obtenus sur des échantillons issus d'un même lot. Les conséquences sur les résultats analytiques des variantes qui peuvent intervenir dans les laboratoires pour la préparation des échantillons tels que essuyage des feuilles, élimination de la nervure centrale sont également examinées. Il ressort d'une comparaison entre erreurs de laboratoire et erreurs propres à l'échantillonnage sur champs, que les premières ne conduisent qu'à des différences peu appréciables. Ce travail était limité aux déterminations des éléments majeurs et du Mn. Ultérieurement, K. MIDDLETON et col. ont publié une nouvelle étude sur l'exactitude des analyses foliaires exécutées en routine (110). Cette étude s'étendait aux déterminations du soufre et des oligo-éléments : Aluminium, Bore, Cuivre, Fer, Molybdène et Zinc. Les méthodes analytiques pratiquées au RRIM sont précisées et les résultats expriment les erreurs standard et les coefficients de variation pour chaque élément.

Les erreurs induites par le sous-échantillonnage sont également examinées.

La variabilité des résultats d'un arbre à l'autre d'une même culture a été étudiée par V.M. SHORROCKS (23) dans le cadre des travaux déjà cités sur les conditions de l'échantillonnage. La recommandation faite par V.M. SHORROCKS d'un échantillonnage de 40 arbres pour 25 ha résulte des observations faites à cet égard. Selon cet auteur un tel échantillonnage permet une précision $< 10 \%$ pour les éléments N, P, K, Mg, de 8 à 17 % pour Ca et de 7 à 24 % pour le Manganèse. Cet auteur a rassemblé sur un tableau les niveaux de précision des résultats pour chaque élément, pour des échantillonnages intéressant de 20 à 60 arbres. L'étude de la variation, d'un arbre à l'autre, de la composition minérale des feuilles a également été examinée au Sri Lanka par C.G. SILVA dans son étude déjà citée (100) sur l'application du diagnostic foliaire dans ce pays. Il donne dans un tableau le pourcentage d'erreur du résultat pour chacun des éléments N, P, K, Ca, Mg et Mn dans l'hypothèse d'échantillonnages variant de 20 à 65 arbres. D'où il ressort qu'avec 60 arbres pour les cultures concernées, le pourcentage d'erreur n'excédait pas 5 % pour N, P, K, Ca et Mg, et était de l'ordre de 10 % pour le Manganèse. Ce pourcentage d'erreur de 5 % n'était d'ailleurs pas atteint pour N et K avec un échantillonnage portant sur 20 arbres seulement, la variabilité la plus faible étant observée pour l'Azote d'abord et ensuite pour le Potassium. Il est intéressant de comparer ces résultats à ceux de V.M. SHORROCKS cités plus haut. Ils sont assez semblables dans l'ensemble avec une meilleure précision atteinte pour le Calcium, qui provient vraisemblablement de la normalisation des méthodes de prélèvement qui s'est opérée entre les deux études consécutivement d'ailleurs aux conclusions du travail de V.M. SHORROCKS.

AJUSTEMENT POUR LES FACTEURS INFLUENCANT LES VARIATIONS DANS LA FEUILLE

(Extrait de "Facteurs influençant les niveaux des feuilles en éléments nutritifs chez l'hévéa" de E. PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG (34))

Les variations causées par la teneur en éléments nutritifs du sol, par les apports en fertilisant, ou, par la conduite de la couverture du sol, peuvent être évaluées par interpolation d'après des essais en champs conduits dans des situations semblables et ajustement de l'évaluation des besoins en éléments nutritifs fait en conséquence (H.Y. CHAN 1972 (58)).

Position de la feuille

Les variations dues à la position sur l'arbre ont été évitées en prenant les échantillons de feuilles : à partir d'un verticille terminal défini pour les hévéas immatures n'ayant pas encore branché, de feuilles exposées au soleil pour les hévéas immatures ayant branché, et de feuilles situées à l'ombre de la canopie pour les hévéas adultes.

Age de la feuille

Les variations dues à l'âge des feuilles peuvent être corrigées sur la base des conclusions de GUHA et NARAYANAN (30) . Cependant leurs facteurs de correction ne correspondaient qu'aux conditions d'un sol donné et pour des feuilles situées au sommet et exposées à la lumière. Des raffinements sur les corrections à effectuer pour des feuilles normalement échantillonnées dans la pratique en situation basse et à l'ombre, pour diverses situations du sol et divers clones et aussi pour des surfaces avec diverses conditions d'application de fertilisants sont traités ci-dessous en détail .

Pour des sols avec différents niveaux de Calcium

GUHA et NARAYANAN (30) ont montré qu'il y avait une relation entre le Ca des feuilles et l'âge des feuilles exposées à la lumière. La relation leur permet de calculer la teneur en éléments nutritifs à l'âge optimum des feuilles. Ils ont trouvé que la teneur en Ca des feuilles à cet âge était 0,8 % .

Cependant l'échantillonnage sur des tiges reperées (à l'ombre) de RRIM 605 a montré que le Calcium des feuilles à l'âge optimum (soit à 100 jours environ) variait de 0,6 à 0,8 % selon le niveau du Calcium dans le sol ou la teneur en Ca du fertilisant utilisé.

Il a été observé qu'en cas de teneur élevée du Calcium dans le sol (valeur de 2,3 m.e.q. entre 0 et 15cm et 0,85 m.e.q. entre 15 et 30cm de profondeur du sol en raison d'apports de Calcium) le Calcium des feuilles à l'âge optimum était 0,8 %. Pour des surfaces ayant reçu des quantités normales de phosphate sous forme de Rockphosphate ou pour des surfaces ne recevant aucun fertilisant contenant du Calcium, le Calcium des feuilles était 0,6 %; les valeurs dans le sol étaient 1,25 et 0,45 m.e.q. entre 0 et 15cm et 15 et 30cm de profondeur respectivement. Cependant les corrélations du Calcium des feuilles avec N et K sont semblables pour les surfaces recevant de haute teneur ou des teneurs normales en Calcium (soit du Rockphosphate) mais sont différentes pour les surfaces ne recevant pas de Calcium ou naturellement pauvres en Calcium.

Les corrections à calculer sont les suivantes :

1. pour les surfaces à teneur élevée en Calcium ou à teneur moyenne en Calcium et/ou bénéficiant d'un apport normal en Calcium par un engrais phosphate :
 quand la teneur en Calcium est supérieure à 0,60 % pour les clones communément utilisés à l'exception de RRIM 501 et PR 107, il y a lieu d'accroître les valeurs N observées dans les feuilles de 0,087 % et les valeurs K observées de 0,052 % pour chaque fraction de 0,1 % selon laquelle la valeur du Calcium est supérieure à 0,80 % dans le cas de teneur élevée en Ca et 0,60 % dans le cas de teneur moyenne en Ca;
2. et, pour les surfaces pauvres en Calcium (série Selangor par exemple) et/ou ne recevant pas de fertilisant contenant du Ca, il y a lieu d'accroître les valeurs N et K respectivement de 0,19 et 0,076 pour chaque fraction de 0,1 % selon laquelle la valeur du Ca est supérieure à 0,60 %.

Il semble qu'une correction de 0,004 % pour chaque accroissement de 0,1 % de Calcium peut être nécessaire pour le Phosphore.

Période d'application du fertilisant

La période de l'année où a lieu l'application des fertilisants influence le niveau de la teneur en Azote des feuilles. Cependant la relation de la teneur en Azote avec l'âge est semblable pour les trois périodes habituelles d'application de fertilisants (c'est-à-dire que la droite de régression est semblable); le facteur de correction précédemment donné est à utiliser dans tous les cas.

Correction pour l'âge des feuilles selon le clone

La relation des teneurs en Azote et Potasse des feuilles en fonction de leur âge diffère selon les différents clones. Cependant selon de premières indications, les différences pour un groupe de sol donné ne sont pas assez importantes pour justifier de corrections différentes.

Il y a lieu cependant de noter que les niveaux de Calcium dans les feuilles à l'âge optimum de cent jours sont différents d'après les clones ainsi qu'il apparaît ci-dessous.

Clone	valeur réelle observée Ca %	valeur à utiliser
RRIM 501	0,44	0,4
PR 107	0,52	0,5
PB 86, RRIM 623	0,55	0,6
RRIM 600	0,57	0,6
GT 1, PB 5/51, RRIM 605	0,62	0,6

Les différences qui apparaissent entre certains clones ne sont pas assez marquées pour qu'il y ait lieu de les retenir. Ainsi pour les clones dont il est question ci-dessus et qui sont généralement utilisés à grande échelle, on retiendra pour le moment trois groupes de clones, soit :

- un niveau de Calcium à l'âge optimum des feuilles de 0,4 % pour RRIM 501
- un niveau de 0,5 % pour PR 107
- un niveau de 0,6 % pour les autres

Evaluation de la situation en éléments nutritifs

Pour l'évaluation de la situation de la nutrition minérale d'un ensemble d'arbres, on se référerait d'une façon générale aux valeurs "critiques" indiquées sur le tableau ci-dessous.

Eléments nutritifs	Niveau au-dessous duquel une réponse est vraisem- blable		Niveau au-dessus duquel une réponse est peu probable	
	feuilles expo- sées à la lu- mière du soleil	feuilles à l'ombre de la canopie	feuilles expo- sées à la lu- mière du soleil	feuilles à l'ombre de la canopie
Azote	3,20	3,30	3,60	3,70
Phosphore	0,19	0,21	0,25	0,27
Potassium	1,00	1,30	1,40	1,50
Magnésium	0,23	0,25	-	0,28

Divers ajustements, éliminant ou incorporant les influences externes (détaillées précédemment) ont été effectuées par la suite. Cependant les résultats ont rapidement montré qu'une seule valeur standard ne pouvait donner satisfaction pour tous les clones. Ultérieurement comme les chiffres dont on disposait se révélaient insuffisants pour définir clairement des valeurs critiques, il est apparu plus approprié de considérer une échelle des valeurs.

D'où les échelles de valeurs et la classification qui sont proposées ci-dessous.

Echelle des teneurs en éléments nutritifs de feuilles d'âge optimum, situées à l'ombre de la canopie

Eléments nutritifs	Groupe	valeurs basses	valeurs moyennes	valeurs hautes	valeurs très hautes
N %	1	< 3,20	3,25 - 3,50	3,51 - 3,70	> 3,75
	2	< 3,30	3,31 - 3,70	3,71 - 3,90	> 3,91
	3	< 2,90	2,91 - 3,20	3,21 - 3,40	> 3,41
K %	I	< 1,25	1,26 - 1,50	1,51 - 1,65	> 1,66
	II	< 1,35	1,36 - 1,65	1,66 - 1,85	> 1,85
P %		< 0,19	0,20 - 0,25	0,26 - 0,27	> 0,28
Mg %		< 0,20	0,21 - 0,25	0,26 - 0,29	> 0,30
Mn, p.p.m.		< 45	45 - 150	> 151	

Les classes basse, moyenne et haute sont relatives à la situation considérée comme optimum. Ainsi la classe "basse" indique que les arbres sont dans une situation bien inférieure à une situation sub-optimale et tendent vers des déficiences visuelles, tandis que la classe "moyenne" indique une situation sub-optimale et la classe "haute" se rapporte à des niveaux pour lesquels des réponses sont peu probables.

Pour l'Azote, trois groupes de clones sont proposés, soit :

Groupe 1 : tous les clones, exceptés ceux des groupes 2 et 3

Groupe 2 : les clones RRIM 600, GT 1 et les clones du groupe 1, mais en cas de teneurs "hautes" des feuilles en P, K et Mg. Généralement, les teneurs "hautes" en P, K et Mg des feuilles sont observées pour des arbres végétant sur des sols à teneurs élevées en ces éléments, par exemple, les sols de la série Selangor.

Groupe 3 : clones sensibles à la casse; casse du tronc et rupture de branches. Par exemple : RRIM 501, RRIM 513, RRIM 603, RRIM 605, RRIM 623 etc...

Il y a lieu de souligner que du point de vue nutritionnel, les valeurs de N des feuilles données dans le groupe 3, seraient à considérer comme "basses" mais elles représentent un compromis entre les besoins "optima" et la nécessité de réduire la sensibilité à la casse due à de lourdes couronnes.

Pour le Potassium, deux groupes de clones seulement sont proposés pour le moment : le groupe II comprend les clones RRIM 600, PB 86, PB 5/51 et GT 1, le groupe I comprend tous les autres clones.

Il faut noter que les niveaux indiqués pour chaque élément sont applicables seulement quand les niveaux des autres éléments sont satisfaisants.

Il est probable que de nouveaux raffinements ou corrections devront être introduits consécutivement à la poursuite des recherches.

--

FACTEURS AFFECTANT LA TENEUR DES FEUILLES EN ELEMENTS NUTRITIFS

(Extrait de E. PUSHPARAJAH et TAM KIM TENG (34))

Les facteurs affectant la situation en éléments nutritifs des feuilles peuvent être classés comme suit :

1. Facteurs inhérents au sol
2. Facteurs d'influence agissant par le sol :
 - a. conduite de la couverture
 - b. emploi de fertilisant
 - c. période d'application du fertilisant
3. Position de la feuille sur l'arbre
4. Rendement et système d'exploitation
5. Facteurs inhérents à l'arbre
 - a. porte-greffes
 - b. matériel de plantation (par ex. clone)
 - c. nature de la couronne
6. Moment de l'échantillonnage
 - a. date et mois dans une année donnée
 - b. fluctuations annuelles

B I B L I O G R A P H I E

1. G.W. CHAPMAN - Soil Sci. 52 - 63 (1941)
2. J.C. FALLOW - Proc. Nat. Rub. Res. Conf. p. 142 (Kuala Lumpur 1960)
3. E.R. BEAUFILS - Archi. Rubber cult. 32 - 1 (1955)
4. E.R. BEAUFILS - Bull. Soc. Chim. bio. 37 - 349 (1955)
5. IRCI - Rap. annuels, pp. 71 et 95 (1952), pp. 78 et 110 (1952), p. 115 (1953)
6. IRCI - Rap. annuel, p. 145 (1954)
7. E.R. BEAUFILS - R.G.C. 35 - 769 et 922 (1958), 36 - 225 (1959)
8. IRCV - Rap. annuel, p. 20 (1959) et op. tech. 40/60
9. J. RAMBAUX et J.C. DANJARD - Op. tech. IRCC (1963)
10. ESAH YIP et H.C. CHIN - J.R.R.I.M. 25 - 31 (1977)
11. Rap. annuel IRCI - p. 123 (1953)
12. E.R. BEAUFILS - R.G.C. 35 - p. 774 (1958)
13. J.P. POLINIERE - R.G.C. 40 - 1329-1338 (1963)
14. J.C. FALLOW - Proc. Nat. Rubb. Res. Conf. - p. 142 (Kuala Lumpur 1960)
15. J.C. FALLOW - R.G.C. 40 - 1707 (1963)
16. E.W. BOLLE JONES - 15 - 109 (1957)
17. E.W. BOLLE JONES - 14 - 209 (1954), 14 - 231 (1954), 15 - 22 (1957)
18. E.W. BOLLE JONES - 14 - 257 (1954)
19. V.M. SHORROCKS - Proc. Nat. Rub. Res. Conf. - p. 118 (Kuala Lumpur 1960)
20. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM - 17 - 1 (1961)
21. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM - 17 - 91 (1962)
22. V.M. SHORROCKS et K. RATNASINGAM - J. of RRIM 17 - 102 (1962)
23. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM - 17 - 113 (1962)
24. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM - 17 - 167 (1962), et
4è colloque on Plant Analysis and Fertiliser Problems, p. 306
(New York - Am. Soc. for Hort. Sc, 1964)
25. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM - 19 - 1 (1965)
26. R.R.I.M. - Annual Report, p. 33 (1961)
27. R.R.I.M. - Annual Report, p. 21 (1962)
28. R.R.I.M. - Planter's Bull. 71 - 41 (1964)
29. M.M. GUHA et YEOW KHENG HOE - Planter's Bull. 87 - 170 (1966)
30. M.M. GUHA et R. NARAYANAN - Proceedings Nat. Rub. Conf. (Kuala Lumpur 1968)
et J. of RRIM - 21 - 225 (1969)

31. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1970, p. 92
32. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1972, p. 155
33. S.E. CHUA - Physiology of foliar senescence and abscission in *Hevea brasiliensis* (thèse - Université de Singapour 1970)
34. E. PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1972, p. 140 (RRIM Kuala Lumpur 1972)
35. E. PUSHPARAJAH et TAN KIM TENG - Scientific Symposium IRRDB (Cochin 1974) Com. n° 18
36. R.R.I.M. - Annual Report 1974, p. 165
37. M.M. GUHA - Proceedings Nat. Rub. Conf. (Kuala Lumpur 1968) et J. of RRIM 21 - 207 (1969)
38. E. PUSHPARAJAH - R.R.I.M. - Annual Report 1970
39. E. PUSHPARAJAH - Studies on the effects of Rockphosphate on growth and yields of *H. brasiliensis* (thesis - University of Malaya 1966)
40. E. PUSHPARAJAH - Proceedings Nat. Rub. Conf. (Kuala Lumpur 1968) et J. of RRIM 21 - 165 (1969)
41. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1970, p. 89
42. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1971, p. 111 et 112
43. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1972, p. 141 et 142
44. E. PUSHPARAJAH - RRIM Annual Report 1973, p. 146 et 148
45. V.M. SHORROCKS et G.A. WATSON - J. of RRIM 17, p. 19 (1961)
46. J. BOLTON et V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 17, p. 31 (1961)
47. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 18, p. 276 (1964)
48. J. BOLTON - J. of RRIM 18, p. 67 (1964)
49. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 19, p. 9 (1965)
50. G.A. WATSON et R. NARAYANAN - J. of RRIM 19, p. 22 (1965)
51. G. OWEN - J. of RRIM 13, p. 20 (1951) et J. Soil Science 2, 20 (1951)
52. R.R.I.M. - Planter's Bull. 116, p. 235 (1971)
53. E. PUSHPARAJAH et K. CHELLAPAH - Proceedings Nat. Rub. Conf., Kuala Lumpur 1968, et J. of RRIM 21, p. 126 (1969)
54. P.R. WHYCHERLEY et M.M. CHANDAPILLAR - Proceedings Nat. Rub. Conf. Kuala Lumpur 1968, et J. of RRIM 21, p. 140 (1969)
55. M.M. GUHA, M.M. SINGH et H.Y. CHAN - Ceylan Rubber Conf. 1970 - Q.J. Rub. Res. Inst., Ceylan 48 - 147 (1971)
56. E. PUSHPARAJAH, K. SIVANADYAN, T.C. P'NG et E.K. NG - Proceedings of the RRIM Planter's Conf. 1971, p. 189 (RRIM - Kuala Lumpur 1972)
57. P.D. ABRAHAM, T.C. P'NG et E.K. NG - Proceedings of the RRIM Planter's Conf. 1971, p.1 (RRIM - Kuala Lumpur 1972)
58. H.Y. CHAN - Proceedings of the RRIM Planter's Conf. 1971, p. 201 (RRIM Kuala Lumpur 1972)
59. E. PUSHPARAJAH et M.M. GUHA - Trans. 9th Int. Congr. Soil Sc. Adelaide 4, p. 85 (1968)

60. K. SIVANADYAN P'NG TAT CHIN et E. PUSHPARAJAH - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1972, p. 83 (RRIM Kuala Lumpur 1972)
61. H.Y. CHAN et E. PUSHPARAJAH - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1972, p. 97 (RRIM - Kuala Lumpur 1972)
62. H.Y. CHAN, N.K. SOONG, Y.K. WOO et K.H. TAN - Proceedings of the RRIM Conference 1972, p. 127 (RRIM - Kuala Lumpur 1972)
63. M.M. GUHA, N.K. SOONG et H.Y. CHAN - Proc. Int. Symp. Soil Fertility and evaluation , p. 427 (New Delhi 1971)
64. E. PUSHPARAJAH - Proceedings International Conf. 1973 - Q.J. Rub. Res. Inst. Ceylan 50, p. 68 (1973)
65. E. PUSHPARAJAH, MOHD. NOOR BIN WAHAB et J.G. SAMUEL - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1973, p. 258 (RRIM - Kuala Lumpur 1973)
66. E. PUSHPARAJAH, K. SIVANADYAN et F.K. YEW - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1974, p. 102 (RRIM - Kuala-Lumpur 1974)
67. Ismail bin HUSSEIN et E. PUSHPARAJAH - Scientific Symposium of IRRDB (Cochin 1974) Comm. n°19
68. H.Y. CHAN, N.K. SOONG, C.B. WONG et A.K. CHANG - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1973, p. 243 (RRIM - Kuala Lumpur 1973)
69. E. PUSHPARAJAH, H.Y. CHAN et T.C. TI - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1974, p. 72 (RRIM - Kuala Lumpur 1974)
70. H.Y. CHAN - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1974 - Discussion p. 90 (RRIM - Kuala Lumpur 1974)
71. P.C. LEE et W.P. PANTON - First Malaysia Plan land Capability Classification Report West Malaysia, Kuala Lumpur : Economic Planning Unit - Prime Minister's Depart.
72. H.Y. CHAN, C.B. WONG, K. SIVANADYAN et E. PUSHPARAJAH - Proceedings of the RRIM Planter's Conference 1974, p. 115. (RRIM - Kuala Lumpur 1974)
73. E. PUSHPARAJAH, N.K. SOONG; F.K. YEW et ZAINOL BIN EUSOF - Proceedings of the Intern. Rubber Conference 1975 - vol III - 37 (RRIM Kuala Lumpur 1976)
74. B.J. MAINSTONE - Empire J. of Exp. Agric. 31, 175 (1962)
75. J. BOLTON - Proc. Nat. Rub. Res. Conf. p.70 (RRIM Kuala Lumpur 1960)
76. E. PUSHPARAJAH - Nutritional Status and fertiliser requirement of Malaysian soils (Dr. Science thesis "Université d'Etat" Gand 1977)
77. H.Y. CHAN - Proceedings of the International Rubber Conference 1975 VOL III, 3 (RRIM Kuala Lumpur 1976)
78. Soil Survey Staff - Soil Survey Manual - USDA Handbook n°18 (Washington U.S. Gov. Printing Office 1960)
79. Soil Taxonomy : a basic system of soil survey (Washington U.S Gov. Printing Office)

80. RRIM Planter's Bull. 156 p. 103 (1978)
81. Soils under Hevea and their management in Peninsular Malaysia
E. PUSHPARAJAH et L.L. AMIN (RRIM éd. 1977)
82. D.H.CONSTABLE - RRIC Bull. 56 (1955)
83. A.W.J. DYCK - J. RRIM 9, 6 (1939)
84. H.J. PAGE - J. RRIM 9, 14 (1939)
85. D.H. CONSTABLE - Rep. XIXth Int. Hort. Congr. 2, 1346 (1955)
et RRIC Adv. Circ. 66, 3 (1959)
86. E.R. BEAUFILS et NG HUNG CHAT - Rapport annuel IRCV 1956 p.80
87. J.M.A. PENDERS - Fascicule du cours sur l'hévéaculture p. 173
(Buitenzorg 1939)
88. E.OTOUL - Le système racinaire de l'Hevea - Sér. Tech. INEAC n° 62
89. J. SCHWEIZER - Berg cult. 13, 628 (1939)
90. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 19, 32 (1964)
91. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 19, 48 (1964)
92. V.M. SHORROCKS, TEMPLETON et G.C. IYER - J. of RRIM 19, 85 (1965)
93. V.M. SHORROCKS - J. of RRIM 19, 94 (1965)
94. V.M. SHORROCKS - Research Archives of the RRIM Doc. 37 (1965)
95. G. HARIDAS, K. SIVANADYAN, K.T. TAN, T.C. P'NG et E. PUSHPARAJAH-
Proceedings of the Intern. Rubber Conference 1975 vol II, p. 263
(RRIM Kuala Lumpur)
96. R.R.I.M. - Planter's Bull. 120, 73 (1972)
97. E. PUSHPARAJAH - J. R.R.I. Sri Lanka 54, 270 (1977)
98. T.S. LIM - Proceedings of RRIM Planter's Conf. 1977 p. 166 (1978)
99. K.T. TAN - Proceedings of the International Rubber Conference 1975
vol. III - 73 (RRIM Kuala Lumpur 1976)
100. C.G. SILVA - Proceedings of the International Rubber Conference 1975
vol. III, 132 (RRIM Kuala Lumpur 1976)
101. M.V. PUSHPADAS, G. SUBBARAYALU et C.M. GEORGE - Studies on correlation
between nutrient contents in soil and leaf and yield of Hevea
brasiliensis - Paper n° 22 - Scientific Symposium Part I (Cochin sept. 74)
102. S.N. POTTY, M. ABDUL KALAM, K.I. PUNNOOSE et C.M. GEORGE - Response
of Hevea to fertilizer application in relation to soil fertility
characteristics - Paper n° 20 Scientific Symposium Part I (Cochin sept. 74)
103. M. ABOUL KALAM, M. KARTHIKAKUTTY AMMA et K.I. PUNNOOSE - Effect of
fertiliser application on growth and leaf nutrient contents of some
important Hevea clones - Paper n° 21 Scientific Symposium Part II
(Cochin sept. 1974)
104. M. KRISHNAKUMARI, G. SUBBARAYALU et C.M. GEORGE - Rapid soil and tissue
test for assessing the fertiliser requirement of Rubber in smallholdings
Paper n° 24 Scientific Symposium Part I (Cochin sept. 1974)

105. K.I. PUNNOOSE, S.N. POTTY, M. MATTHEW et C.M. GEORGE - Proceedings of the International Rubber Conference - 1975 - vol III, 84 (RRIM Kuala Lumpur 1976).
106. J.G. BOUYCHOU - Le Potassium dans les cultures et les sols tropicaux C.R. du 10^e Colloque Intern. de la Potasse à ABIDJAN 1979 p. 209 (Berne 1974)
107. IRCA - Rapport du 3^eme trimestre 1974 p. A 18
108. M. PINTA - II Coloquio Europeo y Mediterraneo Sobre el control de la Alimentacion de Plantas cultivados (Seville 1968)
109. K.R. MIDDLETON, P.R. GYSS, J.C. FALLOWS et J.A. VARLEY - J. of RRIM 18, 194 (1964)
110. K.R. MIDDLETON, CHIN PONG TOW et G.C. IYER - J. of RRIM 19, 189 (1966).