

M E M O I R E

Présenté devant

L'ECOLE SUPERIEURE DES INGENIEURS  
ET TECHNICIENS POUR L'AGRICULTURE  
(ES.ITPA)

Pour obtenir le titre

INGENIEUR EN AGRICULTURE de l'ITPA

par

LY THEAM KHENG

Directeur du Mémoire : M. DABIN Bernard

Ingénieur Agronome

Directeur de Recherches du Laboratoire

de Pédologie appliquée à l'ORSTOM

Chargé de cours à l'ES.ITPA

---

IMPORTANCE DES OLIGO-ELEMENTS POUR LES CULTURES TROPICALES  
CAS PARTICULIER DE L'HEVEA

IMPORTANCE DES OLIGO-ELEMENTS  
POUR LES CULTURES TROPICALES,  
CAS PARTICULIER DE L'HEVEA

JUIN 1970

LY THEAM KHENG

SOMMAIRE

INTRODUCTION : - - - - - Page 1

LISTE DES ABBREVIATIONS UTILISEES DANS LE TEXTE - - - - - 5

CHAPITRE PREMIER

LA GENERALITE SUR LES 6 PRINCIPAUX OLIGO-ELEMENTS - - - - - 6

I - ROLE BIOLOGIQUE - - - - - 6

    1/ Fer (Fe) - - - - - 6

    2/ Manganèse (Mn) - - - - - 7

    3/ Cuivre (Cu) - - - - - 7

    4/ Zinc (Zn) - - - - - 8

    5/ Bore (B) - - - - - 9

    6/ Molybdène (Mo) - - - - - 10

II - NIVEAUX CRITIQUES DES OLIGO-ELEMENTS POUR LES DIVERSES  
    PLANTES TROPICALES - - - - - 12

    A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL - - - - - 12

        1/ La Palmier à huile - - - - - 12

        2/ Le Caféier - - - - - 13

        3/ Le Théier - - - - - 14

        4/ Le Cotonnier - - - - - 16

        5/ Le Cacaoyer - - - - - 16

        6/ La Canne à sucre - - - - - 16

        7/ L'arachide - - - - - 17

        8/ Le Riz - - - - - 18

        9/ Le Maïs - - - - - 19

    B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA - - - - - 20

        1/ Dans le sol - - - - - 20

2/ Dans les feuilles - - - - -	Page 21
3/ Dans le latex - - - - -	24
a/ Cuivre - - - - -	24
b/ Fer - - - - -	24
c/ Manganèse - - - - -	24
d/ Résultat de l'analyse à l'I.F.C. - - - - -	25
III - DETECTION DES CARENCES, SYMPTOMES VISUELS - - - - -	26
A - GENERALITE - - - - -	26
1/ Carence en Manganèse - - - - -	27
2/ Carence en Fer - - - - -	28
3/ Carence en Cuivre - - - - -	29
4/ Carence en Zinc - - - - -	29
5/ Carence en Bore - - - - -	30
6/ Carence en Molybdène - - - - -	31
B - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL - - - - -	31
1/ Bore - - - - -	31
a/ Pour les Caféiers - - - - -	31
b/ Pour les Cotonniers - - - - -	31
c/ Pour les Arachides - - - - -	32
2/ Zinc - - - - -	32
a/ Pour les Cacaoyers - - - - -	32
b/ Pour les Cotonniers - - - - -	32
c/ Pour le Maïs - - - - -	32
C - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA - - - - -	33
1/ Carence en Manganèse (Mn) - - - - -	33
2/ Carence en Fer (Fe) - - - - -	33
3/ Carence en Cuivre (Cu) - - - - -	33

4/ Carence en Zinc (Zn) - - - - -	Page	34
5/ Carence en Bore (B) - - - - -		34
6/ Carence en Molybdène (Mo) - - - - -		34
IV - ORIGINE DES OLIGO-ELEMENTS : LE SOL - - - - -		36
A - INFLUENCE DU TYPE DU SOL DE SON ORIGINE - - - - -		36
a/ Exemple I le cocotier - - - - -		36
b/ Exemple II l'arachide - - - - -		37
c/ Exemple III le sésame - - - - -		37
d/ Exemple IV le ricin - - - - -		38
e/ Exemple V le cotonnier - - - - -		38
f/ Exemple VI la canne à sucre - - - - -		38
g/ Exemple VII le riz - - - - -		38
h/ Exemple VIII l'Hévéa - - - - -		38
1/ Bore - - - - -		42
2/ Manganèse - - - - -		42
3/ Molybdène - - - - -		43
4/ Fer - - - - -		43
5/ Cuivre - - - - -		43
6/ Zinc - - - - -		44
B - INFLUENCE DE LA TEXTURE DU SOL SUR LES OLIGO-ELEMENTS		45
1/ Exemple I le poivrier - - - - -		45
2/ Exemple II le gingembre - - - - -		45
3/ Exemple III la canne à sucre - - - - -		46
4/ Exemple IV le cotonnier - - - - -		46
C - INFLUENCE DU pH DU SOL SUR LES OLIGO-ELEMENTS - - - - -		46
V - RELATION ENTRE MACRO ET MICRO-ELEMENTS DANS LA PLANTE -		53

CHAPITRE DEUXIEME

LES OLIGO-ELEMENTS ET LA VIE DES PLANTES - - - - -	65
--	----

I - INFLUENCE SUR LA CROISSANCE	Page 65
A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL	65
B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS	65
1/ En Malaisie	65
2/ à Ceylan	66
3/ Indonésie	66
4/ Viet-Nam	67
5/ Cambodge	67
C - SYNTHESE	68
II - INFLUENCE SUR LA RESISTANCE AUX MALADIES	70
A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL	70
B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS	72
C - SYNTHESE	76
III - INFLUENCE SUR LA PRODUCTIVITE	78
A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL	78
1/ Pour l'arachide	78
2/ Pour le riz	80
3/ Pour le maïs	81
B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS	82

CHAPITRE TROISIEME

MODIFICATION DU TAUX D'OLIGO-ELEMENTS	88
I - FUMURE MINERALE, APPORT AU SOL CLASSIQUE	88
A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL	88
1/ Cas général	88
2/ Cas de l'arachide	91
3/ Cas du riz	91
4/ Cas du maïs	92
5/ Cas des haricots	92

6/ Cas des cotonniers - - - - -	Page 92
7/ Cas du soja - - - - -	93
8/ Discussion sur fumure - - - - -	93
B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS - - - - -	97
C - SYNTHESE - - - - -	99
II - FORME CHELATES - - - - -	101
A - GENERALITE - - - - -	101
B - DISCUSSION ET SYNTHESE - - - - -	108
III - INJECTION - - - - -	114
A - HISTOIRE DES TRAVAUX D'INJECTION - - - - -	114
B - TRAVAUX D'INJECTION POUR LES COCOTIERS - - - - -	115
C - TRAVAUX D'INJECTION POUR STIMULER LA PRODUCTION DU CACOUTCHOUC - - - - -	115
$\alpha$ / Travaux de COMPAGNON - - - - -	115
$\beta$ / Travaux de BEAUFILS - - - - -	118
$\gamma$ / Travaux de DECONINCK - - - - -	120
$\lambda$ / Travaux de Stage Pratique à TAPAO (Cambodge) - - - - -	125
D - DISCUSSION ET SYNTHESE - - - - -	126
IV - VAPORISATION FOLIAIRE - - - - -	129
A - GENERALITE - - - - -	129
B - USAGE DES OLIGO-ELEMENTS - - - - -	130
1/ Fer - - - - -	130
2/ Manganèse - - - - -	133
3/ Zinc - - - - -	135
4/ Cuivre - - - - -	137

5/ Bore - - - - -	Page 138
6/ Molybdène - - - - -	138
C - DISCUSSION ET CONCLUSION SUR LA PULVERISATION FOLIAIRE-	140
V - DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE - - - - -	143
VI - BIBLIOGRAPHIE - - - - -	A1 à A29

## INTRODUCTION

La production agricole est loin de suffire aux besoins de la population du globe. Cela nous oblige à rechercher à tout prix les meilleurs rendements et la meilleure qualité possibles. Les études sur la détermination des lois de la fertilisation sont indispensables pour réussir ce but.

A l'heure actuelle, les agronomes n'ignorent pas la nécessité de l'eau et des éléments majeurs (N.P.K.Ca.Mg.S.) pour les plantes, mais il en est trop peu entre eux qui se préoccupent des Oligo-éléments dont certains n'existent qu'en très petites quantités, tout en étant très utiles à la vie des êtres vivants. Le problème de Carence en Oligo-éléments dans les végétaux prend depuis quelques années une importance sans cesse croissante. Sans doute, les progrès de l'analyse chimique permettent de constater que l'apparition fréquente de troubles dans la nutrition des plantes est souvent liée à une déficience en Oligo-éléments.

Actuellement, les pays producteurs du Caoutchouc naturel, touchés par la concurrence des Caoutchoucs synthétiques, ont besoin d'augmenter rapidement le rendement à l'hectare pour faire baisser le prix de revient afin de faire face à cette concurrence. C'est pour cette raison que le problème de fumure minérale devient de plus en plus important tant pour l'Hévéa que pour les autres cultures tropicales.

La détermination des lois de la fertilisation est probablement le problème le plus difficile et le plus complexe qui soit posé à l'agronome, compte tenu de la multiplicité et de l'étroite interdépendance de tous les facteurs qui conditionnent le rendement quantitatif.

Les études à entreprendre, par la suite, ont pour but d'accroître sa productivité. Les travaux suivants sont nécessaires pour réaliser ce but :

- 1/ l'observation sur culture, en milieu artificiel, dans les champs d'essai, dans les plantations pilotes ou commerciales.
- 2/ l'interprétation de l'analyse du sol.
- 3/ le contrôle de la nutrition des plantes par diagnostic foliaire.

En général, les plantes puisent dans le sol, l'eau et les éléments minéraux indispensables à leur activité vitale. C'est pour cette raison que l'on rencontre normalement des éléments minéraux dans la cellule végétale soit à l'état libre, soit à l'état de sel minéraux ou organiques. Les éléments minéraux nécessaires à la vie des plantes sont classés suivant leur qualité. Les éléments figurant à des doses plus fortes s'appellent les macro-éléments ou éléments-majeurs; tandis que les éléments figurant à des doses beaucoup plus faibles (de  $10^{-5}$  à  $10^{-9}$  gramme pour 1g de tissus secs) sont appelés micro-éléments ou éléments mineurs ou encore Oligo-éléments. Malgré leur importance quantitative très minime, la plupart de ces Oligo-éléments jouent un rôle important dans la vie des plantes. Nous essayons d'étudier quelques Oligo-éléments et nous avons limité cette étude sur les six principaux (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo) dont le rôle est remarquable dans l'agriculture.

L'exposé que nous allons présenter par la suite est la synthèse:

- a/ des observations au cours de notre visite de 15js dans l'Institut des recherches sur le Caoutchouc en Malaisie (R.R.I.M.) en Décembre 1958,
- b/ des remarques datées de notre entrée en service au Ministère de l'Agriculture du Cambodge depuis Janvier 1959,
- c/ des observations au cours de nos trois mois de Stage Pratique en 1964 dans la Société Khmère des Plantations d'Hévéa à Tapao (Cambodge),
- d/ des travaux pratiques au cours d'une année de stage de spécialisation (1966-1967) à l'Institut Français du Caoutchouc (I.F.C.)

à Paris,

e/ et des résultats de nos travaux de recherches bibliographiques.

Ces travaux sont groupés dans les trois grands chapitres suivants :

- La généralité sur les 6 principaux Oligo-éléments,
- Les Oligo-éléments et la vie des plantes,
- La modification du taux d'Oligo-éléments.

X X X X X

Nous sommes très sensibles au grand honneur que nous a fait M. le Professeur DABIN Bernard en acceptant de corriger ce mémoire et en nous aidant consciemment pour réaliser ce travail. Donc c'est à lui que nous devons adresser le premier, notre reconnaissance et nos remerciements.

Notre reconnaissance va aussi à :

- M. PINTA Maurice à l'ORSTOM qui nous a initié à des travaux pratiques sur les dosages des Oligo-éléments et nous a fourni des documents intéressants.
- Mme DIDIER de Saint Amand à l'ORSTOM qui nous a fourni beaucoup de renseignements surtout sur le Manganèse.

Nous tenons à remercier vivement :

- 1/ Mlle Madeleine BOUCHER Directeur des études de l'école d'enseignement technique de l'Institut Français du Caoutchouc (I.F.C.) à Paris qui a bien voulu nous accepter comme stagiaire dans son Institut,
- 2/ M. Jean D'AUZAC qui nous a aidé matériellement, conseillé et guidé constamment dans ce travail au cours de notre Stage à l'I.F.C. ,

3/ M. J.C.SOUYCHOU qui nous a fourni beaucoup de documents agronomiques et des conseils.

Nos remerciements s'adressent également à MM. :

- HO Tong Peng qui a bien voulu nous envoyer à Tapao (Cambodge) en 1964 pour effectuer un stage pratique en Hévéaculture et nous a proposé ensuite pour effectuer un stage à l'Institut Français du Caoutchouc à Paris,
- KOL Touch qui a bien voulu nous accepter comme Stagiaire dans la Société-Khmère des Plantations d'Hévéa (S.K.P.H.) à Tapao,
- YOU Kim Chhon qui a bien voulu nous guider dans tous les travaux sur terrain dans la Plantation d'Hévéa,
- et à tous nos amis qui nous ont apporté des concours pour les travaux d'analyse et nous ont fourni des documents nécessaires.

LISTE DES ABBREVIATIONS UTILISEES DANS LE TEXTE

I.F.C.	Institut Français du Caoutchouc
I.R.C.I.	Institut de Recherche du Caoutchouc en Indochine
I.R.C.C.	Institut de Recherche du Caoutchouc au Cambodge
I.R.C.V.	Institut de Recherche du Caoutchouc au Viet Nam
I.R.C.A.	Institut de Recherche du Caoutchouc en Afrique
R.R.I.M.	Rubber Reseach Institut of Malaya
I.F.A.C.	Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer
I.F.C.C.	Institut Français du Cacao et du Café
I.R.C.T.	Institut de Recherche du Coton et des Textiles
I.R.H.O.	Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux
ORSTOM	Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
P.B.86	Pilmor B. clone d'Hévéa brasiliensis (en Malaisie)
TJ 1 ou Tjir 1	Tjirandji clone d'Hévéa brasiliensis
Waring 4	Waringiana : clone d'Hévéa brasiliensis
B.D.5.	Bodjong Datar : clone d'Hévéa brasiliensis
AVROS	Association des Planteurs de la Cote d'Est de Sumatra (Indonésie) clone d'Hévéa
P.R. 107	Prang Bézar
H.P.	Haut producteur
B.P.	Bas producteur.

## CHAPITRE PREMIER

### LA GENERALITE SUR LES 6 PRINCIPAUX OLIGO-ELEMENTS

#### I - ROLE BIOLOGIQUE .

Les Oligo-éléments nécessaires à la plante exercent dans l'organisme végétal des fonctions importantes. Leur présence dans les tissus dépend la biosynthèse de certaines molécules organiques fondamentales (par exemple le fer est indispensable à la synthèse de chlorophylle) ou la formation de certaines diastases (enzymes). Dans certains cas l'Oligo-élément est lui même un coenzyme et, dans ces cas, en son absence, la fraction organique de l'enzyme est synthétisée mais elle reste inactive (75A).

Les données de SKOL'NIK (133A) sur la présence de fer, Cu, Zn, Mn et Mo dans la composition de ferments oxyde-réducteurs, ont aidé à comprendre le rôle de ces éléments dans les processus d'oxydo-réduction.

Donc les Oligo-éléments ont chacun un rôle biologique particulier. Parmi ces Oligo-éléments, nous allons citer seulement les six principaux dont les qualités biologiques sont très connues.

1/ Fer (Fe) : Le fer est nécessaire à la synthèse de la chlorophylle (la carence en fer entraîne la chlorose) et plus généralement, il joue un rôle important dans les oxydo-réductions cellulaires du fait de l'équilibre :  $Fe^{++} \longrightarrow Fe^{+++} + e^{-}$

c'est à ce titre que le fer est un constituant de nombreux systèmes enzymatiques notamment des cytochromes et de la cytochrome oxydase, de la peroxydase et de la catalase (66).

2/ Manganèse (Mn) : Le manganèse, élément à valences multiples, joue un rôle dans les oxydo-réductions. C'est un constituant de la nitrate réductase, de l'hydroxylamine-réductase, de diverses péptidases et décarboxylases (66). Son principal rôle est la stabilisation de l'atome H à partir de MOH dans la photosynthèse de chlorophylle (27).

SKOL'NIK (133A) a cité des exemples donnés par MIHLIN 1956 et MEHLER et ses collaborateurs 1948 disant que le manganèse entre dans la composition de l'arginase et apparait comme le métal le plus actif en ce qui concerne les carboxylases des acides oxalacétiques et tartriques. L'absence de manganèse empêche l'action enzymatique qui réduit l'acide malique en acide pyruvique.

Les renseignements obtenus de SKOL'NIK (133A) montre que le Mn participe aux réactions de photo-synthèse les plus importantes à l'obscurité comme à la lumière, depuis le processus de photolyse de l'eau jusqu'à la réduction de l'acide carbonique fixé par les plantes vertes. C'est pourquoi on a bonne raison de penser que le manganèse est l'un des facteurs importants et indispensables au processus de photosynthèse.

3/ Cuivre (Cu) : Le cuivre agit le plus souvent par suite de son changement de valence :  $Cu^+ \longrightarrow Cu^{++} + e^-$ .

On trouve aussi le cuivre dans les oxydases terminales (qui assure la fixation directe de l'O<sub>2</sub> moléculaire sur le

substrat) : polyphénol-oxydase, l'accase etc... Il serait associé au fer, l'un des éléments actifs de la nitrite réductase et de l'hyponitrite réductase (66). Le cuivre fait varier les oxydases, la synthèse de l'acide ascorbique (27). Il joue aussi un rôle dans le système enzymatique de la photosynthèse et dans l'oxydation des terminales (102). Le cuivre participe également dans la photosynthèse de la plante, régularise l'absorption de l'azote (130).

- Le polyphénol, l'acide ascorbique, les acides gras non saturés, les acides pyrotartrique, acétique et succinique sont soumis à l'oxydation par peroxydase en présence des sels de cuivre.

En rappelant les notes de MINLIN 1956, SKOL'NIK dit que dans le cas où le peroxydase d'oxygène n'est pas ajouté de l'extérieur, la catalyse par le cuivre peut être peroxydasique, puisque le cuivre catalyse l'oxydation non seulement aux dépens de l'oxygène actif du peroxydase d'oxygène, mais également aux dépens de l'oxygène des peroxydases organiques. Cela laisse supposer que, lors de la catalyse du cuivre par la peroxydase, il se forme un peroxyde de cuivre intermédiaire. C'est un fait très important que l'activité peroxydasique du cuivre est proche de l'activité de la peroxydase. Il est intéressant de noter le rôle important joué par le cuivre dans l'accroissement de l'activité catalytique du fer (action de promoteur).

Une carence en Cu provoque une chute accentuée de l'activité de polyphénoloxydase et d'oxydase ascorbique des ferments contenant de cuivre.

4/ Zinc (Zn) : Le zinc peut servir de coenzyme métallique à

diverses déshydrogénases (66). Le zinc joue un rôle très important dans la synthèse des auxines de l'acide indol-acétique. L'insuffisance de cet acide provoque la réduction de la grandeur des feuilles. Il joue aussi un grand rôle dans la régularisation de l'activité des enzymes nécessaires à la constitution des cellules (130). Le zinc intervient aussi d'une manière indirecte dans la synthèse des chlorophylles (102).

Une carence en Zn donne lieu à une chute de l'activité de l'anhydrase carbonique contenant de Zn.

5/ Bore (B) : Le bore intervient dans de nombreux phénomènes : absorption et régularisation de l'eau; absorption des cations et notamment du calcium (en cas de carence en bore, l'absorption est ralentie et provoque dans certain cas des maladies : exemple maladie du coeur de la betterave). Le bore joue un rôle très important dans le métabolisme et le transport des glucides. En cas de carence, les glucides restent dans les feuilles (66). Le bore assure la transformation du sucre, la synthèse de glutamine la prévention de l'excès de l'activité des oxydases (27). Il favorise la division cellulaire et le développement normal des racines des plantes (130).

Le rôle de bore dans le métabolisme protéique est aussi démontré par SKOL'NIK. L'auteur a remarqué l'élévation de teneur en N protéique sous l'influence du bore. Il a émis l'hypothèse que, à la base de l'action du bore sur le métabolisme protéique,

réside un rôle dans les processus oxydo-réductions (133A).

SKOL'NIK (133A) a cité les travaux de TURSELL qui a montré que les combinaisons organiques bore-acides acyl-boriques possédant une structure semblable à celles des acides benzoïques qui ont des propriétés de régularisation de croissance proches des propriétés des auxines exercent une action positive très efficace sur la croissance des racines, aux dépens de l'allongement des cellules de la racine (plus de 100%).

6/ Molybdène (Mo) : A doses très faibles, le molybdène est nécessaire à la vie des plantes. C'est un constituant de plusieurs molybdo-flavoprotéine dont la nitrate réductase catalyse la réaction :



La réduction très complexe, ferait intervenir le changement de valence du molybdène :  $\text{Mo}^{\text{V}} \rightarrow \text{Mo}^{\text{VI}} + e^-$

La nitrate réductase est une des diastases les plus spécifiques des végétaux puisque c'est grâce à elle que les végétaux sont autotrophes (capables d'élaborer leurs aliments organiques à partir des minéraux) à l'égard de l'Azote (66). Le grand rôle de molybdène est donc la réduction du nitrate, la fixation de l'azote. Mais il a encore un rôle possible sur le métabolisme de l'aminoc-acide et les phosphatases (27). Il contrôle la cession ou le transport de l'ion H nécessaire à la synthèse de protéine. C'est un rôle d'activation (102). Le molybdène est aussi nécessaire dans la fixation de l'azote par les bactéries du sol (130).

SKOL'NIK a été démontré que non seulement le bore, mais aussi le Mn, Zn, Cu et Mo améliorent la synthèse et le transfert des hydrates de carbone, surtout ceux du saccharose, des feuilles

vers les organes de fructification et vers les racines.

De ces rôles fondamentaux des Oligo-éléments essentiels, il résulte que leur carence entraîne des modifications importantes dans la physiologie normale de la plante, modifications qui souvent se traduisent par des signes plus ou moins apparents et plus ou moins caractéristiques de la carence. Lorsque celle-ci est suffisamment prononcée et lorsqu'elle ne se complique pas d'autres carences, elle peut être facilement reconnue et différenciée. C'est ce qu'on appelle le diagnostic foliaire ou symptômes visuels de carence et de toxicité (voir III chapitre 1er).

## II - NIVEAUX CRITIQUES DES OLIGO-ELEMENTS POUR LES DIVERSES PLANTES TROPICALES.

### A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL.

Le niveau critique est la concentration au dessous de laquelle le rendement commence à décroître. En dessous dunt niveau critique, une augmentation du taux de l'élément entraîne une augmentation de rendement. Au dessus de ce niveau critique, un apport de l'élément considéré ne fera qu'augmenter la teneur en cet élément, il y aura "consommation de luxe" (consommation inutile de cet élément) qui correspond à un dérangement du métabolisme.

SCREI DECKER (128B) a repris la définition de PREVOT et OLLAGNIER en 1956 que le niveau critique est le pourcentage d'un élément dans une feuille au dessous duquel l'application de cet élément sous forme de fumure minérale a de fortes chances d'augmenter les rendements. C'est donc une notion utile dans la pratique agronomique pour éviter la consommation de luxe et augmenter le maximum de rendement possible.

#### 1/ Le palmier à huile :

Les échantillons de palmier à huile analysés par l'IRHO (109) ont montré que les teneurs en zinc dans les diverses stations d'études en Afrique varie de 11ppm à 32ppm, pour le manganèse les teneurs varient de 36 à 1.430ppm. Pour les palmiers à huile atteignant la maladie de fusariose on a trouvé des teneurs en Oligo-éléments comme ci-dessous :

Cu = 269ppm, B = 249ppm et Mn = 169ppm (109). Pour les témoins

non malades; les teneurs en manganèse varient entre 400 à 1.200ppm (109) dans la matière sèche des feuilles.

Lorsque le palmier à huile a une teneur très faible en manganèse (au dessous de 400ppm) on a remarqué que la plante souffre d'une forte attaque de "fusarium oxysporum". A Dabou en Afrique, les teneurs des feuilles du palmier à huile dans les zones fortement attaquées sont 2 fois plus faibles que dans les zones relativement indemnes (100 et 200ppm). Dans le sol à pH élevé (pH 8 par exemple) l'application par injection dans le stipe de sel Mn est à conseiller (109). En Indonésie et en Côte d'Ivoire, les palmiers à huile dont la teneur en Mn dans les feuilles varie de 358 à 1.130ppm donne un très fort rendement (109).

On peut résumer les niveaux critiques des Oligo-éléments pour le palmier à huile dans le tableau (1) ci-dessous :

Tableau (1) - Valeurs critiques des Oligo-éléments pour le palmier à huile .

Oligo-éléments	Teneurs en matières sèches des feuilles	
	Carence	Excès
Mn	400ppm	1.200ppm
B	3,8ppm	12,3ppm
Cu	5,5ppm	21,8ppm

(109) (113) (123)

2/ Le Caféier.

FORESTIER et BELEY (55) avaient trouvé six Oligo-

éléments (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo) nécessaires pour le caféier. Pour le caféier Robusta en LOBAYE (Afrique), ils avaient noté des niveaux critiques des Oligo-éléments dans le tableau II ci-dessous :

Tableau (II). Teneurs remarquables des Oligo-éléments dans la matière sèche des feuilles du caféier Robusta d'après (55)

Eléments	Teneur insuffisante	Teneur normale	Teneur excessive	Auteurs
Fer	75ppm	90 à 200ppm	300ppm	FORESTIER et BELEY
	70ppm	80 à 180ppm		LOUE et FRANKART
Manganèse	35ppm	45 à 75ppm	120ppm	FORESTIER et BELEY
	20ppm	40 à 60ppm		LOUE
	30ppm	40 à 80ppm		FRANKART
Bore	30ppm	55 à 85ppm	95ppm	FORESTIER et BELEY
	25ppm	40 à 150ppm		LOUE
Cuivre	20ppm	25 à 40ppm	50ppm	FORESTIER et BELEY
	10ppm	34 à 52ppm		LOUE
Zinc	10ppm	11 à 15ppm	20ppm	FORESTIER et BELEY
	10ppm	12 à 18ppm		LOUE
Molybdène	0,3ppm	0,5ppm		FORESTIER et BELEY

### 3/ Le Théier.

En 1953, CULNARD (63) avait trouvé que le thé a besoin des Oligo-éléments tels que fer et cuivre. Ce dernier joue un rôle très important dans la fermentation du thé. On a remarqué que la

pulvérisation de bouillie bordelaise (fongicide à base de cuivre) sur l'arbre permet une fermentation plus facile des feuilles. En 1962, TOLHURST (139) avait trouvé à CEYLAN que la carence en Zinc dans le théier peut être reconnue par la décoloration et la torsion de feuille du théier. La teneur normale du zinc dans la matière sèche des feuillages du thé est de l'ordre de 20ppm (139). Mais la teneur de 33ppm n'est pas toxique. La limite des excès de zinc dans les feuilles du thé est de l'ordre de 40 à 50ppm.

Le tableau ci-dessous donne le résultat des travaux d'analyse des feuilles du thé exprimé en p.p.m.

Tableau (III) - Teneur des Oligo-éléments dans les feuilles du théier (139).

(teneurs exprimées en ppm dans la matière sèche)

Oligo-éléments	Temps	Nbre. de contrôle + Nbre d'échec	Pulvérisat. avec UREE	Pulvérisat. avec Mn	Pulvérisat. avec UREE + Mn
Mn	Printemps	763	796	908	935
	été	630	794	923	920
	Automne	970	998	185	1.077
	Moyenne annuelle	781,5	829,9	990,4	967,2
Fe	Printemps	2,063	1,972	2,135	2,071
	été	3,989	4,012	4,381	4,006
	Automne	6,349	5,496	6,007	5,422
	Moyenne annuelle	4,108	3,950	4,211	3,864
<u>Fe</u> <u>Mn</u>	Printemps	2,71	2,43	2,34	2,21
	été	5,87	5,27	4,77	4,24
	Automne	6,56	5,86	5,04	5,04
	Moyenne annuelle	5,20	4,76	4,20	3,96

#### 4/ Le cotonnier.

D'après les analyses sur la matière sèche des feuilles du cotonnier, MALAVOLTA (86) avait trouvé que 16ppm est le taux critique pour le bore.

JORAN 1967, (69) a remarqué que, pour le cotonnier, la teneur de 3ppm de Mn dans la matière sèche des feuilles semble normale, mais un léger ralentissement de croissance est observé sur la plante. La teneur de 4ppm de Mn dans la matière sèche des feuilles est toxique pour le coton (69).

#### 5/ Le Cacaoyer.

En 1961, l'Institut Français du café et du cacao (80) a fait une étude sur les carences et la déficience minérale chez le cacaoyer. D'après cette étude on a trouvé les valeurs ci-dessous pour les Oligo-éléments dans la matière sèche des feuilles du cacaoyer :

Fer varie entre 80 et 129ppm

Mn varie entre 342 et 520ppm

Zn varie entre 15 et 30ppm

B varie entre 27,5 et 40ppm

LOUE (80) a remarqué que la teneur de 33ppm de bore dans la matière sèche des feuilles, ne donne pas de trouble à la plante. Mais à partir de 20ppm la trouble commence. A 15ppm la trouble est beaucoup plus marqué (apparition des tâches blanches sur les bourgeons des feuilles)... L'auteur a remarqué encore qu'il existe beaucoup de plantes normales qui ont une teneur en bore dans la matière sèche des feuilles de 30ppm (80).

#### 6/ La Canne à sucre.

D'après les études de l'Institut de recherche sur la canne

à sucre "MAURITIUS SUGAR en 1962 (126) les teneurs critiques des Oligo-éléments sont comme dans le tableau (IV) ci-dessous :

Tableau (IV): Résumé des teneurs critiques des Oligo-éléments dans la matière sèche des feuilles de la canne à sucre âgé de 18 à 24 mois.

Oligo-éléments	Carence Teneur exprimée en ppm
B	1
Mn	24
Zn	10
Cu	4

EVANS (126)

7/ L'Arachide.

D'après l'étude de M. OLLACNIER à l'INHO (102) l'arachide souffre de l'excès en Manganèse lorsque la teneur de Mn dans la matière sèche des feuilles varie de 800 à 1.000ppm.

En 1930, J. LAN a trouvé 9,74% d'oxyde de fer se trouvant dans la matière sèche des feuilles (74) d'arachide. Cela prouve que l'arachide a besoin aussi de fer.

JACOB (68) a fait des études sur les symptômes de carence en bore pour l'arachide, (voir plus loin) mais il n'a pas encore pu confirmer le niveau critique de bore pour ce type de culture.

MARTIN et FOURRIER (67) ont fait des études sur l'action des Oligo-éléments sur la plante d'arachide (voir plus loin). Ils ont trouvé que le manganèse, le fer et le bore n'ont pas d'effet significatif (négatif) sur le rendement des arachides. Tandis que le cuivre, le zinc et plus spécialement le molybdène

ont un effet positif sur le rendement de l'arachide. Cependant des auteurs n'ont pas encore pu donner le niveau critique des teneurs de ces Oligo-éléments pour l'arachide.

### 8/ Le Riz.

Aux Phillipines, sur un sol argileux et salin de pH 8, 1, on a remarqué que la toxicité en bore apparaît lorsque la teneur en bore dans la matière sèche des feuilles du riz est de l'ordre de 80ppm (14). On a trouvé également que la teneur normale du bore dans la matière sèche des feuilles du riz varie de 26 à 30ppm. Au dessous de 26ppm le riz souffre de la déficience en bore (14).

D'après les travaux d'analyse pour le riz effectué en 1955 au Sud Viet-Nam par AURIOL (73) les teneurs de fer et d'aluminium dans les sons de riz sont plus élevées que dans les balles du riz, paddy riz cago et riz blanc. Cela nous laisse à supposer que le son du riz est plus nourrissant en fer et en aluminium que le riz proprement dit. Malheureusement AURIOL n'a pas fixé la teneur limite de fer pour le riz.

Seuil de toxicité de Bn pour le riz = 200ppm (au dessus de 200ppm effet toxique).

Seuil de toxicité de fer pour le riz = 200ppm (au dessus de 200ppm effet toxique) (75B).

### Fer (2bis).

Cet élément joue un rôle important dans la formation de la chlorophylle, grâce sa formation catalytique. En son absence ou, dans le cas d'assimilation faible du fer, les parties vertes des plantes deviennent chlorotique. Le niveau optimum du fer aussi bien dans la solution nutritive que dans les diverses parties

de la plante est difficile à préciser, des différences considérables pouvant être observées du fait notamment des conditions du milieu (réducteur ou oxydant) et de la solubilité de la forme du fer. Un excès du fer se traduit par diverses perturbations végétales dont croissances ralenties fructification inhibée partiellement, taches rouges sur le limbe, coloration intense des glumes, diminution des dimensions ou du poids des talles et des épillets, augmentation du nombre des grains vides; le métabolisme minéral est lui même fortement influencée par l'excès de fer dans la solution nutritive, avec en particulier accumulation croissante de l'azote et du potassium dans les talles et diminution d'absorption du phosphore et du manganèse et sans doute du calcium.

#### Manganèse.

L'action du manganèse est en étroit rapport avec le processus de photosynthèse. Il se concentre dans les feuilles et les glumelles; il a un rôle primordial dans le processus oxydoréducteur; un excès de manganèse se traduit en dessèchement des feuilles de l'extrémité vers la base, et un blanchissement de la chlorophylle; en outre la fructification est perturbée et le développement des épillets ralenti ou arrêté.

Enfin l'excès de manganèse détermine l'accumulation de l' $N$  et du  $P$ , du potassium dans les talles surtout du manganèse ainsi qu'une diminution d'assimilabilité du fer; phénomène analogue mais moins marqué dans les balles et les caryopses.

Le fer et le manganèse ont des effets à peu près opposés.

#### 9/ Le Maïs.

En 1967, WBIRRG (151) a trouvé que le maïs souffre de la

carence en zinc lorsque la teneur de ce dernier dans la matière sèche des feuilles est dans l'ordre de 20ppm. La plante est normale lorsque la teneur en zinc dans la matière sèche des feuilles est au alentour de 35ppm.

WEIRAC (150) a observé aussi les teneurs remarquables du molybdène pour le maïs. Il a trouvé que le niveau critique de molybdène pour le maïs est de 0,02ppm (dans la matière sèche des feuilles). Le maïs a une croissance normale lorsque la teneur de Mo dans la matière sèche des feuilles est dans l'ordre de 0,08ppm ou plus (150).

B/- CAS PARTICULIER DE L'HEVEA.

Pour l'Hevéa brasiliensis, nous avons étudié les niveaux critiques des Oligo-éléments, d'abord dans le sol, puis dans les feuilles et enfin dans le latex.

1/ Dans le sol.

D'après son expérience par culture sur sable, BOLLE-JONES (18) a trouvé des Oligo-éléments comme dans le tableau (V) ci-dessous, pour assurer la bonne croissance de l'Hevéa.

Tableau (V) Teneur des Oligo-éléments dans la matière sèche du sol Hévéicole.

grosseur des colloïde-Sable (en mm)	Teneurs des Oligo-éléments dans la matière sèche du Sol exprimé en mg pour cent gramme du Sol (Sable)			
	Fer	Manganèse	Cuivre	Zinc
1,50 à 1,00	1.202	97,5	0,6	1,5
1,00 à 0,50	953	27,9	2,3	4,6
0,50 à 0,00	484	17,0	2,9	3,1

Dans sa deuxième expérience, BOLLE-JONES (18) ajoute encore

le Bore et puis le Molybdène et il a constaté que la croissance augmente considérablement, beaucoup plus pour les plantes avec bore que pour les plantes sans bore. Après avoir ajouté successivement tous les éléments à la plante (culture sur sable) BOLLE-JONES a trouvé la composition complète des Oligo-éléments nécessaires pour l'Hévéa comme ce qui suit :

$\text{Fe}^{+++} = 1\text{mg}$  par litre de sol nutritif  
 $\text{Mn}^{++} = 0,02\text{mg}$  ----- id -----  
 $\text{Cu}^{++} = 0,002$  ----- id -----  
 $\text{Zn}^{++} = 0,002$  ----- id -----  
 $\text{B} = 0,003$  millimole par litre de sol nutritif  
 $\text{Mo} = 0,0002$  ----- id -----

Pour pouvoir comparer avec les teneurs réelles des Oligo-éléments dans les sols hévéacoles, nous donnons un tableau des teneurs des Oligo-éléments des terres rouges et terres grises du Sud Viet-Nam (41).

Tableau VI. Teneurs des Oligo-éléments des terres rouges et terres grises du Sud Viet-Nam.

Sol et noms du lieu	Fer en mg % g mat.sèche	Mn en mg % g mat.sèche
Terre rouge ONG QUE	0,9	97
- - id - KY-NONG	0,9	6
- - id - LOC-NINH	0,8	10
Terre grise LAI-KHE	0,6	1
- - id - VEN - VEN	0,4	0,3
- - id - BEN - HONG	0,3	0,4

(41)

2/ Dans les feuilles.

Dans les feuilles d'Hévéa, les teneurs des Oligo-éléments

varient suivant les clones. L'exemple dans le tableau ci-dessous montre bien cette variation (voir rapport annuel IRCI 1953 P.118).

Tableau (VII) Variation des teneurs en Oligo-éléments dans les feuilles d'Hévéa suivant les clones.

Noms des clones	Oligo-éléments en mg. pour 100g de matière sèche des feuilles		
	Cu	Mn	Fe
C L 1	16,2	26,3	10,7
AVROS 303	21,4	13,6	10,4
PR - 107	18,6	14,7	10,0

(7)

D'après nos travaux pratiques effectués dans le laboratoire d'analyse minérale de l'Institut Français du Caoutchouc (IFC) à Paris, nous avons trouvé les teneurs moyennes de Cuivre et de Manganèse dans la matière sèche des feuilles d'Hévéa dans l'ordre de :  
15,1mg de Cuivre pour 100g de poudre de feuilles d'Hévéa et  
20,0mg de Manganèse pour 100g de poudre de feuilles d'Hévéa.  
(analyse par méthode de colorimétrie en utilisant le spectrophotomètre.

Ces travaux d'analyse sont fait sur les échantillons de poudre de feuilles d'Hévéa envoyés du Cambodge, du Viet Nam, de la Côte d'Ivoire et du Caméroun. Comparé aux résultats dans le tableau précédent, la teneur de Cuivre analysée par nos soins est comparable à la teneur de Cuivre du clone C L 1 trouvé par BEAUFILS. Et la teneur moyenne de manganèse trouvée par nos soins se trouve entre la teneur des clones PR 107 et C L 1 trouvé par BEAUFILS.

En Malaisie, SHORROCKS et WATSON (21 et 131) ont trouvé que l'Hévéa souffre de déficience en manganèse lorsque la teneur de ce dernier dans la matière sèche des feuilles est inférieure à 50ppm (21) et (131).

Les travaux d'analyse de BEAUFILS (131) appliqués à des feuillages d'arbres déficient par comparaison avec des feuillages sains attirent notre attention sur les carences en Oligo-éléments ainsi que sur leur importance. Cependant une interprétation sûre ne peut être envisagée qu'à condition que l'on ait une connaissance plus étendue des teneurs en Oligo-éléments suivant les cultures et suivant les périodes de l'année.

Le tableau (VIII) ci-dessous sert comme exemple de la variation des teneurs des Oligo-éléments dans les feuilles d'Hévéa haut-producteur (HP) et bas-producteur (BP).

Tableau (VIII) Teneur des Oligo-éléments dans les feuilles d'Hévéa H.P. et B.P.

	H.P.	B.P.	
Oligo-éléments	teneur moyenne en mg % g de mat. sèche des feuil.	teneur moyenne en mg % g m.s. des feuilles	Différence en mg % g m.s. feuil.
Mn	15,6	16,1	+ 1,5
Fe	10,3	10,4	+ 0,1

(13)

La teneur des Oligo-éléments varie aussi suivant la région. La teneur de Manganèse dans les feuilles d'Hévéa provenant des diverses plantations du Cambodge citée ci-dessous sert comme exemple de cette variation:

Teneur de Mn dans la matière sèche des feuilles d'Hévéa de la plantation de :

----- Tapao = 16mg pour 100g m.s.

----- Chamcar Andong = 21mg pour 100g m.s.

----- Prek Kâk = 23mg --- id ---

Teneur de Mn dans la matière sèche des feuilles d'Hévéa de la Plantation de :

Chup : 19mg pour 100g m.s.

Chalang : 36mg --- id ---

Mimot : 28mg --- id ---

Snuol : 30mg --- id ---

(Rapport annuel INCC 1962 P.59)

Enfin les niveaux critiques des teneurs des Oligo-éléments dans des feuilles d'Hévéa sont en cours d'études, et on ne peut pas affirmer ces niveaux puisque les valeurs sont encore variables suivant les clones, suivant la saison et suivant la région.

### 3/ Dans le latex.

a/ Cuivre : Le cuivre semble être un Oligo-élément le plus important du latex. Un litre du latex moyen contient environ 1mg 7 exprimé en Cu % (13). La Carence en Cuivre est signalée dans certaine plantation de terre rouge (Laikhé au Viet Nam par ex.).

b/ Fer : Le fer est très difficile à déceler dans le latex. Parfois on a pu observer de très petite quantité de l'ordre de 1mg pour 100g du latex et à condition d'opérer sur des solutions de cendres très concentrées (13).

c/ Manganèse : Il est très difficile et souvent impossible de trouver des traces de manganèse dans le latex de terre grise.

Mais ces traces peuvent être décelées dans quelques latex de terre rouge. Et la teneur de manganèse dans le latex de terre rouge dépasse rarement 0,1mg % d'extrait sec.

d/ Résultats d'analyse à l'IFC.

D'après les travaux de Bernard GAUTIER (élève ingénieur IFC) effectués sur les échantillons du latex envoyés par IRCC, IRCV et IRCA, les teneurs des Oligo-éléments dans le latex liquide sont comme suit :

Cu :	20mg	par litre	du latex	liquide.
Mn :	20mg	-----	id	-----
Mo :	20mg	-----	id	-----
B :	70mg	-----	id	-----
Fe :	70mg	-----	id	-----
Zn :	700mg	-----	id	-----

Or dans le laboratoire d'analyse minérale de l'IFC, nous avons trouvé la teneur moyenne de Cu = 2mg pour 100g de matière sèche du latex. Il est donc possible de comparer comme ci-dessous nos résultats d'analyse avec ceux de GAUTIER malgré que GAUTIER utilise le latex liquide, et que nous, nous utilisons le latex solide c'est à dire l'extrait sec du latex ou le latex séché.

On sait que le poids spécifique du latex est compris entre 0,973 et 0,979 (page 47 Science et Technologie du Caoutchouc). Ce qui donne 1 litre du latex liquide égale à 976g de Caoutchouc sec. D'où :

976g de Caoutchouc sec donnent 20mg de Cu (par GAUTIER)  
et 1000g de ----- id ----- 20mg de Cu (par nous).

### III - DETECTION DES CARENCES, SYMPTÔMES VISUELS.

#### A - GENERALITE.

L'examen visuel de la plante et plus particulièrement le système foliaire permet de noter les symptômes de déficience ou d'excès en éléments fertilisant. Cette méthode s'applique très largement aussi bien sur les cultures en milieu artificiel que sur les essais en plein champs. Cependant, cette méthode assez simple nécessite une très grande expérience, les plus grandes quantités d'observations et de nombreuses études préalables. Elle suppose que certains symptômes visibles sont caractéristiques de la carence ou de l'excès d'un élément déterminé, ce qui n'est pas toujours le cas. Il existe en effet, de nombreuses causes de perturbation dans la croissance des plantes qui provoquent des symptômes comparables à ceux dus à des déficiences minérales. Par ex: l'action des insectes, mauvaises techniques culturales, actions climatiques, l'excès d'eau etc... peuvent provoquer des symptômes analogues à ceux de déficience. Aussi, le diagnostic visuel sera efficacement complété et contrôlé par l'application sur les feuilles des solutions nutritives contenant des éléments présumés manquants ou insuffisants. Et on observe ensuite comment les plantes réagissent.

Les carences (ou les toxicités) minérales peuvent être détectées et identifiées par l'observation des symptômes visibles et spécifiques présentés par les plantes. Pour connaître les symptômes particuliers à chaque carence et à chaque espèce de

plante, on cultive les plantes sur sable dans des conditions contrôlées. Les solutions nutritives sont séparées à partir de produits rigoureusement purs. On supprime dans le milieu l'élément dont on veut provoquer la carence, et on note les symptômes apparus. Ces observations sont par la suite, comparées avec celles faites dans les conditions naturelles pour vérification avec certitude dans les cas de déficiences.

Les symptômes de carence peuvent se manifester dans tous les organes de la plante : feuilles, tiges, fleurs, fruits, graines et racines. Mais en général, ce sont des symptômes foliaires qui sont le plus couramment observés (123B).

Dans le cas général, T.WALLACE en 1956 (148) et S.HWEST et HARRIS en 1965 (152) ont remarqué les symptômes visuels de carence et de l'excès en Oligo-éléments pour la plupart des cultures de la façon suivante :

1/ Carence en Manganèse : Des taches grises se développent entre les veines près de la base des vieilles feuilles qui ont de couleur vert-pâle (152).

La plante a une couleur vert-claire, mais sur la première feuille qui se forme, la partie basale jaunit et devient brun nécrotique. Des taches nécrotiques apparaissent de plus en plus (148).

Symptômes de carence en Manganèse : On a remarqué que souvent les signes de carence en fer et en manganèse apparaissent en même temps sur les mêmes plantes (123B).

La carence en Mn d'après CHARPENTIER (28bis) se traduit par :

- La chlorose jaune-vert sale du fond de la feuille,
- Ces nervures restent vertes,
- Le raccourcissement des entre-nœuds modifie la croissance.

Excès en Manganèse : La plante a des feuilles tachetées ou pointées (148) (voir photo de Mme DIDIER de Saint Amand).

2/ Carence en fer : La plante atteint une chlorose générale et surtout entre les nervures des feuilles. Mais les nervures restent toujours vertes, sauf lorsque la carence est plus marquée qui provoque une coloration presque blanche pour toutes les parties des feuilles et la plante meurt (148). La déficience en fer chez les plantes vertes est marquée par la phlorose à cause de la diminution de la teneur du chlorophylle. Pour la plupart des plantes, la chlorose est marquée dans la zone intervénale (152)

Le principal symptôme est toujours une chlorose grave des feuilles. La croissance des plantes jeunes est toujours sérieusement compromise. Dans certains cas, les feuilles sont presque entièrement blanches, dans d'autres elles sont panachées. La nécrose des bords et de l'extrémité des feuilles n'apparaît que dans les cas extrêmes (128B).

Les signes de carence en Fer sont visibles sur les feuilles jeunes et ceux des carences en Mn sur les feuilles plus âgées. Quand plusieurs espèces fruitières sont cultivées sur un même terrain, il arrive souvent que chez certains se manifestent des signes de déficience en fer, alors que chez d'autres apparaissent des symptômes de carence en manganèse et que d'autres encore montrent les 2 à la fois (128B).

D'après CHARPENTIER et MARTIN PREVEL (28bis), la carence en fer se traduit par :

- l'apparition aux jeunes feuilles la coloration "vert-pâle ou jaunâtre",
- la base de feuille reste un peu verte,
- la nervure principale garde la coloration normale, sauf dans le cas de carence très accentuée,
- la brûlure apicale et marginale des feuilles.

3/ Carence en Cuivre : La plante a un flétrissement général du bourgeon et de la couronne terminale (148). Dans beaucoup de plantes carencées en cuivre, les feuilles initialement vert-foncées deviennent tordues WEST S.H. (152).

CHARPENTIER et MARTIN PREVEL (28bis) ont remarqué que : la carence en cuivre chez l'avocat se traduit par :

- la forme lancéolée des feuilles,
- nécrose apicale (vers 5 mois) sans chlorose préalable,
- l'extrémité des feuilles nécrosées se croqueville,
- les feuilles tombent précocement,
- la teinte du feuillage, vert-foncée mate,
- tige, rameaux, entre-nœuds raccourcis,
- les bourgeons latéraux apparaissent mais donnent des ébauches rameaux .

4/ Carence en Zinc : La plante a des feuilles très petites ou réduites (148). Pour la plupart des plantes, la déficience en zinc est caractérisée par un jaunissement des feuilles spécialement dans les parties se trouvant entre les nervures et il apparait une coloration sombre dans les nervures vertes (152).

La carence en Zn se traduit par la chlorose et la pinetation anormale du feuillage, souvent accompagnées de nécroses; il peut avoir réduction des dimensions et malformation des feuilles. Un symptôme caractéristique de cette carence est le raccourcissement des entre-nœuds entraînant un pot en rosette. Les effets de cette déficience sur le feuillage suggèrent une corrélation étroite entre le rôle du zinc et la formation de la chlorophylle (128B).

CHARPENTIER et MARTIN PREVEL (28bis) ont noté que la carence en Zn se traduit par :

- le jaune vert-pâle des feuilles,
- les feuilles sont plus petites que la normale,
- le raccourcissement des entre-nœuds,
- chlorose internervaire.

5/ Carence en Bore : La plante a un point de croissance mort; les traces de chloroses apparaissent sur les feuilles. La plante ne produit pas de fleurs ou bien les fleurs ne donnent pas des fruits, les racines ne s'allongent plus (BENKENS) (148). Les feuilles sont quelquefois enroulées, et deviennent blanches. La tige se fend et les surfaces exposées par la rupture sont jaunes ou brunes et pleines de sèves (152).

Symptômes de carence en Bore : Chez beaucoup de plantes carencées, les méristèmes sont sévèrement touchés et peuvent mourir. Les feuilles et les tiges sont considérablement déformées. Si l'épiderme et la moelle sont atteints en même temps, les tiges sont creuses et rugueuses. Souvent les feuilles sont nécrosées et

ondulées; il arrive qu'elles présentent des taches ou des colorations anormales. Quand les fruits sont touchés, ils sont très déformés et inutilisables (128B).

CHARPENTIER (28bis) a remarqué que la carence en bore est marquée par :

- l'inhibition des méristèmes,
- mort des bourgeons terminaux,
- les rameaux prennent l'aspect de balais de sorcière,
- nécrose sur les limbes au bout des feuilles,
- recroquevillement au bout des feuilles,
- tige caverneuse avec nécrose superficielle de l'écorce,

Excès en Bore : Les vieilles feuilles ont des rebords brûlés superficiellement ou grillés (148).

6/ Carence en Molybdène : La plante montre une chlorose en bordure des feuilles, ou bien une brûlure aux bords des feuilles. Les feuilles blanchâtres sont ondulées ou tordues et quelquefois les rebords sont pliés (148).

Le symptôme de carence en molybdène est marqué par le jaunissement uniforme des feuilles et la formation des fleurs est réduite (152).

## B - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL.

1/ Bore :

a/ Pour les Cafésiers : La carence en bore pour les cafésiers est marquée par le ralentissement de la croissance, la mort du bourgeon terminal la réduction de la grandeur des feuilles(79).

b/ Pour les Cotonniers : La carence en bore pour les cotonniers est marquée par la mort du bourgeon terminal et ensuite la plante

devient très pâle, se fane et meurt (27).

c/ Pour les Arachides : En absence de bore, les pousses des arachides sont tronquées, les feuilles sont fréquemment tachetées. La couleur sombre apparait dans les entre-nœuds des rameaux. Parfois, la tige et les racines se fendent facilement. Et le rendement en fruits est négligeable (65).

A.JACOB (65) a remarqué que la carence en Bore est surtout marquée par la pointe de croissance de la plante. Ce point est mort après avoir enroulé et se replié. Les fleurs et les fruits avortés sont aussi les signes de carence en Bore. Tandis que l'excès en bore est marqué par la mort des racines mais le point de croissance semble resté longtemps (65).

2/ Zinc :

a/ Pour les Cacagyers : La déficience en zinc chez les cacaoyers est marquée par les feuilles en forme de faucille et tachetées de chlorose couleur d'ivoire translucide entre les nervures vert-foncées et en particulier près de la nervure principale (67).

b/ Pour les Cotonniers : La carence en zinc chez les cotonniers est marquée par la chlorose des feuilles avec des nervures de couleur sombre (66).

c/ Pour les Maïs : Sur le maïs, LUBET (63bis) a noté que le premier symptôme de la carence Zincique se manifeste par l'apparition de deux plages internervaires, décolorées, sur le tiers inférieur des feuilles sub-basales. Ces taches progressent rapidement en deux bandes pâles, translucides par endroits, de part et d'autre de la nervure vers le tiers supérieur de la

feuille. La nervure et le bord des feuilles restent verts.

Les entre-nœuds restent courts, donnant de nombreuses plantes naines. Le système racinaire reste très superficiel. Quand la carence est extrême, les plantes ne forment pas d'épis et meurent.

#### C - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA.

1/ Carence en Manganèse (Mn) : Pour l'Hévéa brasiliensis, la carence en manganèse est marquée par un jaunissement et blanchissement des feuilles avec une bande verte sur les nervures principales et secondaires. Lorsque la carence est plus sévère, les feuilles deviennent de plus en plus jaune laissant la coloration verte aux nervures (130). En Malaisie, SHORROGMS (130) a remarqué que la carence en manganèse chez l'Hévéa entraîne la réduction de la grandeur des feuilles (cas de la teneur Mn dans la matière sèche des feuilles qui descend jusqu'à 15ppm).

2/ Carence en Fer (Fe) : Les symptômes visuels de carence en fer chez l'Hévéa se ressemblent un peu à ceux de carence en manganèse c'est à dire la chlorose générale des feuilles avec des tissus verts autour des nervures. Cependant, une seule différence c'est que la carence en fer est caractérisée par le jaunissement tiré vers le blanc et de plus, les feuilles très pâles sont tachetées de champignons (CORYNESPORUM - CASSÛ - COLA). Et souvent, les feuilles des jeunes branches exposant au soleil ont une grandeur réduite (130).

3/ Carence en Cuivre (Cu) : Les symptômes caractéristiques de la carence en cuivre chez l'Hévéa sont distingués par :

a/ la brûlure des bords et des extrémités des feuilles avec le

point terminus des feuilles recourbées. La brûlure a une coloration brune,

b/ la défoliation à partir de la base du stème. Après la défoliation, les points apicaux sont morts, et on voit apparaître les bourgeons formant des branches à partir du méristème axillaire (130).

4/ Carence en Zinc (Zn) : Pour l'Hévée, la carence en zinc est marquée par la chlorose des limbes avec déformation et allongement des feuilles et aussi la réduction de la grandeur des feuilles. Les feuilles des arbres carencés pourront devenir tordues en étirant vers la longueur et quelquefois, les nervures maintiennent la coloration verte, mais deviennent onduleuses. Les jeunes feuilles très sensibles à cette carence sont exposées les premières (130).

5/ Carence en Bore (B) : Pour l'Hévée brasiliensis, la carence en bore est caractérisée par la réduction de la grandeur des feuilles. Les feuilles des arbres carencés sont formées, tordues et cassantes. Lorsque la déficience est sévère, le méristème apical est mort et le méristème axillaire se développe près du sommet du stème (130).

6/ Carence en Molybdène (Mo) : La carence en molybdène pour l'Hévée est caractérisée par la brûlure aux bords et à

l'extrémité des feuilles. Le sommet des feuilles est la partie la plus fortement atteinte. Pour les jeunes plants, le symptôme apparaît sur le méristème. Pour les vieux plants, le symptôme apparaît sur les feuilles exposées au soleil. Cette brûlure est marquée d'abord par la coloration brune pâle (130).

#### IV - ORIGINE DES OLIGO-ELEMENTS : LE SOL :

##### A - INFLUENCE DU TYPE DU SOL DE SON ORIGINE .

Le sol a une forte influence sur les Oligo-éléments dans les plantes tropicales.

Nous avons remarqué que l'origine du sol peut avoir une grande influence sur les Oligo-éléments nécessaires à la vie des plantes. Chaque type de culture se développe de façon optimale dans un type spécial du sol d'origine bien déterminée. Ceci en raison soit des propriétés physiques, soit des teneurs en éléments majeurs, et également dans certains cas en fonction de la richesse en Oligo-éléments; lorsque le climat et les propriétés physiques sont favorables, des fumures appropriées permettent d'améliorer l'adaptation et le rendement des cultures.

Exemple (1) Le Cocotier : Normalement, le cocotier ne se développe pas dans un sol argileux et compact ou bien dans une terre légère, peu épaisse à sous sol imperméable. Il préfère les terres légères à condition que les couches imperméables ou la nappe sont assez profondes (1850). En bordure de mer, une nappe saumâtre vers 2<sup>m</sup> lui convient. Dans certaines zones sableuses de cordons littoraux l'apport de potasse est nécessaire. Cependant, les infiltrations d'eau saumâtre paraissent lui plaire car les sols de potasse lui sont indispensables (74).

Au Cambodge, on a remarqué que les types de sol se trouvant aux bords du golfe (Kampot-Tuk Sap) adapte très bien à

la culture du cocotier. C'est pour cette raison qu'une station expérimentale de cocotier vient d'être créée au Cambodge à Tuk Sap.

Exemple (II). l'Arachide : La terre argileuse compacte est défavorable pour l'arachide. L'arachide demande des terres légères sensiblement neutres; le sol sable-calcaire renfermant une certaine proportion d'humus sont des meilleurs terrains pour l'arachide. Les sols latéritiques, à condition qu'ils ne soient pas compacts lui conviennent également (74). Conformément à la constatation de J. LAN (74) nous avons remarqué, au Cambodge, que l'arachide prospère dans les terrains d'origine volcanique qui est toujours léger et surtout sur les terres de berge, le long du Mékong. En 1964, quand nous étions en stage dans la plantation de TAPAO, nous avons essayé avec M. YOH Kim Chhon de planter l'arachide dans les interlignes d'une parcelle de plantation d'Hévéa de jeune culture et nous avons obtenu un résultat escompté pour le rendement d'arachide sur cette terre rouge basaltique. On peut penser que cette terre fournit à l'arachide tous les éléments dont elle a besoin en particulier ce sol <sup>et</sup> d'origine volcanique.

Exemple (III) le Sésame : Le sésame a une croissance optimale dans des terre humides, sans eaux stagnantes, et surtout dans les alluvions sablonneuses. En plaine, le terrain alluvionnaire et légèrement sableux situé près de cours d'eau lui plaît beaucoup (74).

Exemple (IV) le Ricin : Le ricin a besoin des terrains meubles, légers alluvionnaires, fertiles, argilo- sableux secs et bien drainés. Comme Oligo-élément nécessaire on peut compter fer, soufre, chlore, sodium (74). Au Cambodge, nous avons remarqué que les ricins ont une croissance maximale dans les terres alluviales le long des berges.

Exemple (V) le Cotonnier : Le terrain donnant l'optimum de croissance au cotonnier est un sol bien drainé et qui contient des Oligo-éléments comme fer, sodium, aluminium, soufre, chlore etc... (74). MALAVOLTA (86) a remarqué que le cotonnier a aussi besoin du bore, du manganèse du zinc et du fer.

Exemple (VI) la Canne à Sucre : La canne à sucre préfère le terrain meuble et profond. Les terres légères alluvionnaires humides et humifères <sup>sont</sup> meilleures pour la canne à sucre, car la canne à sucre est exigeant en éléments majeurs et en Oligo-éléments fer, silice et aluminium (74).

Exemple (VII) le Riz : Les sols compacts qui ne favorisent pas certaines cultures conviennent très bien à la culture du riz (74) à condition de leur contrôler le plan d'eau. Ces sols doivent être moyennement acides (pH5) et suffisamment humifères.

Exemple (VIII) l'Hévéa : L'hévéa nécessite des terres profondes. Ce sont souvent des sols ferrallitiques moyennement acides (pH4,5 à 5,5), la richesse en éléments majeurs doit être bonne, mais en outre l'hévéa est très exigeant en Oligo-éléments (bore, Mn,

Molybdène, fer, cuivre, zinc etc...). Les sols d'origine volcaniquessont généralement riches en ces divers éléments, mais d'autres sols peuvent également convenir avec des fumures appropriés.

Beaucoup de chercheurs ont noté les différentes influences du sol sur les Oligo-éléments :

Le Mo et Mn s'accumulent dans les horizons inférieurs des sols de prairie alluviaux et dans l'horizon A des sols forestiers bruns. Mais en particulier dans ce type de sol forestier brun, le Cu tend à s'accumuler dans l'horizon B (37bis).

Dans le tableau ci-dessous, JHA montre que le bore soluble contient très peu dans le sol sableux.

Origine	Sols	B. total en ppm	B. Soluble à l'eau en ppm
Alluvions	- Sable limoneux	18	0,3
-"-	- Limon sableux	12	0,6
-"-	- Limon argileux	40	1
-"-	- Limon	40-85	1,5-2

La teneur du molybdène dépend de l'origine géologique de la roche mère.

La diorite et les ardoises sont riches en Mo, alors que les sols sur Keuper, évaporite triasique, grès et quelques uns sur loess sont généralement pauvres en Mo (141A).

Les sols ayant une forte teneur en limons et argiles

colloïdale sont plus riches en Mo que les sols plus grossiers (GORLACH. 1963).

La teneur en bore dépend de la texture du sol; elle est plus forte dans les sols argileux, les limons que dans les sols sableux. Les sols sableux du littoral ont jusqu'à 5ppm de bore, dont moins de 0,04ppm sous forme soluble. Les podzols de prairies sur les argiles lourdes de moraines sont riches en bore (teneur en bore totale 15,5 à 35ppm). Les sols tourbeux de basses terres marécageuses contiennent beaucoup de bore soluble à l'eau (0,2 à 2ppm) (104A).

Pour une valeur limite de 0,2ppm on remarque une carence en bore sur 5% des sols.

La teneur en bore échangeable augmente avec les teneurs croissantes en matières organiques.

Le quartz porphyré et la porphyrite ont des teneurs en bore plus importantes que les autres roches-mères étudiées (69A).

La carence des plantes en Zn dépend plus du Zn extractible que du Zn total.

Les sols les plus carencés sont les latosols acides qui ont été intensivement dégradés ou qui ont un sous-sol exposé. Le Zn  $So_4$  ~~ayant~~ un effet résiduel acide et <sup>donc</sup> les sols les plus carencés en Zn acide, il est en général nécessaire d'ajouter de la chaux en même temps que Zn  $So_4$ . Mais faites attention car le chaulage excessif peut réduire la fixation de Zn par la plante.

En général les plantes âgées ont moins de Zn que les plantes jeunes.

Il est à retenir que les Oligo-éléments se trouvent plus dans les organismes jeunes que dans les organismes plus âgés. Dans le sol, la teneur des Oligo-éléments diminue avec la profondeur (69B).

La limite de toxicité du Zn disponible est aux environs de 100ppm.

La limite de carence du Zn disponible est aux environs de 1ppm.

Sur 58 types de sols on a étudié le rapport entre le Zn disponible (0,50 - 6,05ppm) et le Zn total (20 - 95ppm). La fraction de Zn disponible par rapport au Zn total oscille entre 1,4 et 7,3% (99B).

Dans les sols alluviaux fertiles, la teneur en Zn échangeable est de 4,5 à 6,3ppm et la teneur en zinc total est de 34-68ppm.

Dans un sol vierge, la teneur en Zn échangeable = 7ppm, et Zn total est de 74ppm. Dans le sol noir à forte teneur en Ca échangeable, la teneur de Zn échangeable = 1,1-3,3ppm et Zn total = 69-76ppm. Dans 2 latérites, Zn échangeable = 1,3ppm et Zn total = 24-30ppm (27bis).

Le zinc utilisable est plus fort dans les podzols forestiers, les sols salins, les sols tourbeux et les sols

alluviaux de prairie que dans les autres.

Dans la couche supérieure, le Zn utilisable est égal à :

dans les Chernozems podzoliques	8,3%	du Zn total;
dans les sols salins	4,9%	- " -
dans les sols alluviaux de prairie	8,3%	- " -
dans les sols forestiers gris	4,6%	- " -
dans les podzols forestiers	3,5%	- " -
dans les sols tourbeux et prairie	1,7%	- " -
dans les chernozems calcaires typiques et lessivés	1%	(133B).

Le type du sol et son origine ont une influence notable sur les 6 Oligo-éléments de la façon suivante :

1/ Bore : La teneur en bore assimilable peut être réduite par la teneur en chaux dans le sol. Le sol formé par des roches sédimentaires, du sol marin est très riche en bore. Le sol humifère contient plus de bore que le sol sableux (130 et 131).

2/ Mn : Dans une terre rouge d'origine basaltique, l'élément manganèse peut prendre une teneur très élevée (130 et 117).

Dans un sol d'origine volcanique, mais basaltique, la déficience en manganèse est remarquée pour l'Hévée (130). Dans un sol provenant de la décomposition du granit et des sols d'alluvion ancien ou des sols drainés, on rencontre la carence sévère en Mn; c'est le cas de la majorité des sols en Malaisie pour la plantation d'Hévée (130). La carence en manganèse est bien marquée dans un sol résultant de la décomposition du granit (130).

3/ Mo : Dans un sol alcalin, le molybdène soluble se trouve en plus grande quantité. Le sol latéritique contient une très faible proportion de molybdène (130).

4/ Fe : La terre rouge d'origine basaltique contient beaucoup de fer sous forme oxyde ferrique. C'est le fer qui donne la coloration rouge ou brune au sol (130). D'où la terre rouge est très riche en fer et le sol sableux est très pauvre en fer. La terre d'origine alluviale et bien drainée est pauvre en fer. La petite portion de fer se trouvant dans l'humus ne suffit pas pour la croissance de la plante. Le sol d'origine calcaire est déficient en fer (130).

5/ Le Cuivre : Les plus fortes teneurs en cuivre se trouvent dans les terres brunes et les plus faibles dans les sols carbonatés humiques (rendzines). Les teneurs sont assez fortes sur les argiles ferro-percarboniques. Dans les autres sols sur limons loessiques, marnes, granodiorite, holite et quartzite, la teneur moyenne est de 50 à 59mg/Kg. La teneur est plus faible dans les sols sur marnes sableuses (23mg/Kg). Le cuivre est bien réparti le long du profil, avec une tendance à augmenter avec la profondeur, sauf dans les marnes et grès argileux, la plus forte teneur se trouve dans la roche mère (14bis).

Les podzols tourbeux, moyenné<sup>ment</sup> podzolisés ont de 0,001 à 0,0002% de Cu; les podzols sableux faiblement podzolisés sont pauvres en cuivre et les plus faibles teneurs apparaissent dans

les horizons les plus bas; à des profondeurs de 2,1 à 2,2m on ne trouve pas de Cu. Ceci indique que les sols sont formés sur les roches pauvres en Cuivre.

Dans les sols marécageux tourbeux il se produit souvent une carence en Cu des plantes (Elbis).

6/ Le zinc : Le zinc total diminue avec la profondeur et une teneur en humus <sup>est</sup> décroissante mais il s'accumule dans l'horizon B des sols. On n'a pas trouvé de Zn dans les horizons calcaires (123A).

Par conséquent, la teneur des Oligo-éléments dans le sol est influencée par le type du sol Ex: type limoneux, sableux, argileux et l'origine du sol est influencé par le type de la roche mère.

C'est pour cette raison que l'étude du sol est nécessaire pour établir une plantation d'Névée ou bien pour introduire une culture nouvelle.

B - INFLUENCE DE LA TEXTURE DU SOL SUR LES OLIGO-ELEMENTS.

La texture du sol a une influence notable sur les Oligo-éléments. TROCME (142) a remarqué que les carences les plus fréquentes à l'heure actuelle sont vraisemblablement la chlorose ferrique en terrain riche en calcaire actif, et la carence en zinc en terrain sableux légèrement calcaires enrichis en acide phosphorique. La richesse du milieu en acide phosphorique représente d'ailleurs souvent un facteur défavorable dans l'alimentation en Oligo-éléments. Dans certains cas, la carence en Oligo-élément n'est pas due à la déficience du sol en cet élément, mais elle est provoquée par un chaulage qui rend de nombreux éléments inassimilables par les plantes. La présence d'un élément nutritif dans le sol ne signifie pas en effet qu'il soit assimilable. En général, chaque type de culture a une croissance maximale dans un type de sol à texture bien déterminée. Les exemples ci-après justifient cette remarque.

1/ Exemple I - le poivrier : Une terre argilo-silicieuse riche en humus, bien abritée et facile à drainer favorise très bien à la culture du poivre (73). Au Cambodge, nous avons remarqué que le terrain plat, terrain où existe des nids de fourmis-blanches, des termitières, est réputé comme engrais remarquable pour les poivriers.

2/ Exemple II - le Gingembre : Le sol limono-humifère ou argilo-sableux avec moins de 20% d'argile, riche en humus favorise très

bien à la culture de gingembre (73).

3/ Exemple III - la Canne à Sucre : La canne à sucre qui a besoin de fer, d'alluminium, de silice, adapte très bien aux terrains légers et sablonneux (73) et (74).

4/ Exemple IV - le Cotonnier : En TEXAS (USA) on a remarqué que le cotonnier se développe très bien dans un sol dont la teneur en manganèse est de l'ordre de 3ppm. La bonne croissance et la bonne fructification sont réalisées lorsque la teneur de manganèse dans le sol est de l'ordre de 27ppm (69).

#### C - INFLUENCE DU pH DU SOL SUR LES OLIGO-ELEMENTS .

La croissance et la productivité des cultures tropicales dépendent aussi du pH du sol; alors que ce dernier a une influence notable sur les Oligo-éléments qui sont nécessaires à la vie des plantes.

Dans le tableau IX ci-dessous, CARTER (27) a fait un résumé montrant l'influence du pH du sol sur les Oligo-éléments.

Tableau IX - Influence du pH du sol sur les Oligo-éléments

pH du sol								
4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Extrême acidité	acidité tr.forte	acidité forte	acidité moyenne	acidité légère	acidité tr.lég.	alcalini tr.lég.	alcalini légère	
Z O N E  C R I T I Q U E			M O L Y B D E N E			Z O N E  C R I T I Q U E		
			F E R					
			M A N G A N E S E					
			B O R E					
			C U I V R E					
			Z I N C					

(26) et (27)

D'après ce tableau, nous avons remarqué que :

le molybdène reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque le pH du sol varie de 5,3 à 7, le fer reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque le pH du sol varie de 5,3 à 6,4. Le manganèse reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque le pH du sol varie de 5,3 à 7.

Le bore reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque

Le pH du sol varie de 5,8 à 6,5.

Le cuivre reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque le pH du sol varie de 5,8 à 6,5.

Le zinc reste en quantité suffisante pour les plantes lorsque le pH du sol varie de 5,8 à 6,4.

WALLACE (148) a remarqué que le sol acide contient beaucoup d'Oligo-éléments acide (Fe, Zn, Bo, Cu) tandis que le sol basique contient beaucoup d'Oligo-éléments basique (Mo par exemple). Le sol à pH élevé contient peu de zinc. La teneur en zinc est donc inversement proportionnelle à l'élévation du pH du sol. Cependant, on observe en Malaisie que la carence en zinc pour l'Hévéa s'est révélée dans un sol acide et dont la teneur en phosphore est élevée. Et on conclut que le zinc est un antagoniste du phosphore (130).

Dans un sol à pH 5 environ, la teneur de manganèse est élevée. Un tel cas est observé pour l'Hévéa qui s'adapte bien au sol à pH acide. Mais dans un sol à pH 6,5 et au dessus, la disponibilité du Manganèse est pauvre et une carence en cet élément produira à cause de l'élévation du pH du sol (130) et (131). L'IRCC a remarqué que, dans un sol à pH élevé, il y a blocage de certains Oligo-éléments et que le sol à pH au dessous de 4,4 présente de l'aluminium échangeable et corrélativement du Manganèse (117).

Nous avons remarqué les pH des sols hévéacoles du

Cambodge sont voisins de 6,5 et les doses d'aluminium et de Manganèse trouvées dans ces sols ne permettent pas de penser qu'il y ait toxicité pour l'Hévéa de la région. Car la croissance et la production sont toujours bonnes (117). La croissance et la production de l'Hévéa dans nos terres rouges basaltiques très profondes sont très honorables par rapport à celles des autres pays hévéacoles. La preuve c'est que, en 1966, au point de vue surface plantée le Cambodge occupe le 8ème rang dans le monde; mais au point de vue rendement à l'hectare et au point de vue qualité, le Cambodge occupe le 1er rang dans le monde (93). Cette idée est conforme à celle de M. FORESTIER qui a étudié sur le Caféier et a trouvé que les sols à pH voisin de 6,5 sont très riches en Oligo-éléments (55) et (56).

RICHARD (118) a remarqué que le sol acide demande beaucoup de Molybdène; cela est conforme à des observations de CARTER (27) et WALLACE (148) qui ont précisé que le Molybdène existe en quantité importante dans le sol alcalin. RICHARD nous donne en plus un exemple sur un sol très acide en Nouvelle-Zélande qu'on utilise le Molybdène comme engrais pour équilibrer le besoin en élément fertilisant des plantes.

En 1965 MAURICE et TROCHE ont noté que la diminution du taux de bore dans le sol et la diminution de l'alimentation en bore pour les plantes résultent de l'élévation du pH du sol par chaulage (90).

Les conditions physico-chimiques du sol, notamment

le pH, exercent une influence sur la proportion des formes assimilables de certains Oligo-éléments. LAVOLLAY a constaté que le pH du milieu est le facteur d'importance primordiale dont dépend la nutrition en Oligo-éléments, car il exerce à la fois une influence sur la proportion des formes assimilables et aussi une influence sur leur absorption par les racines.

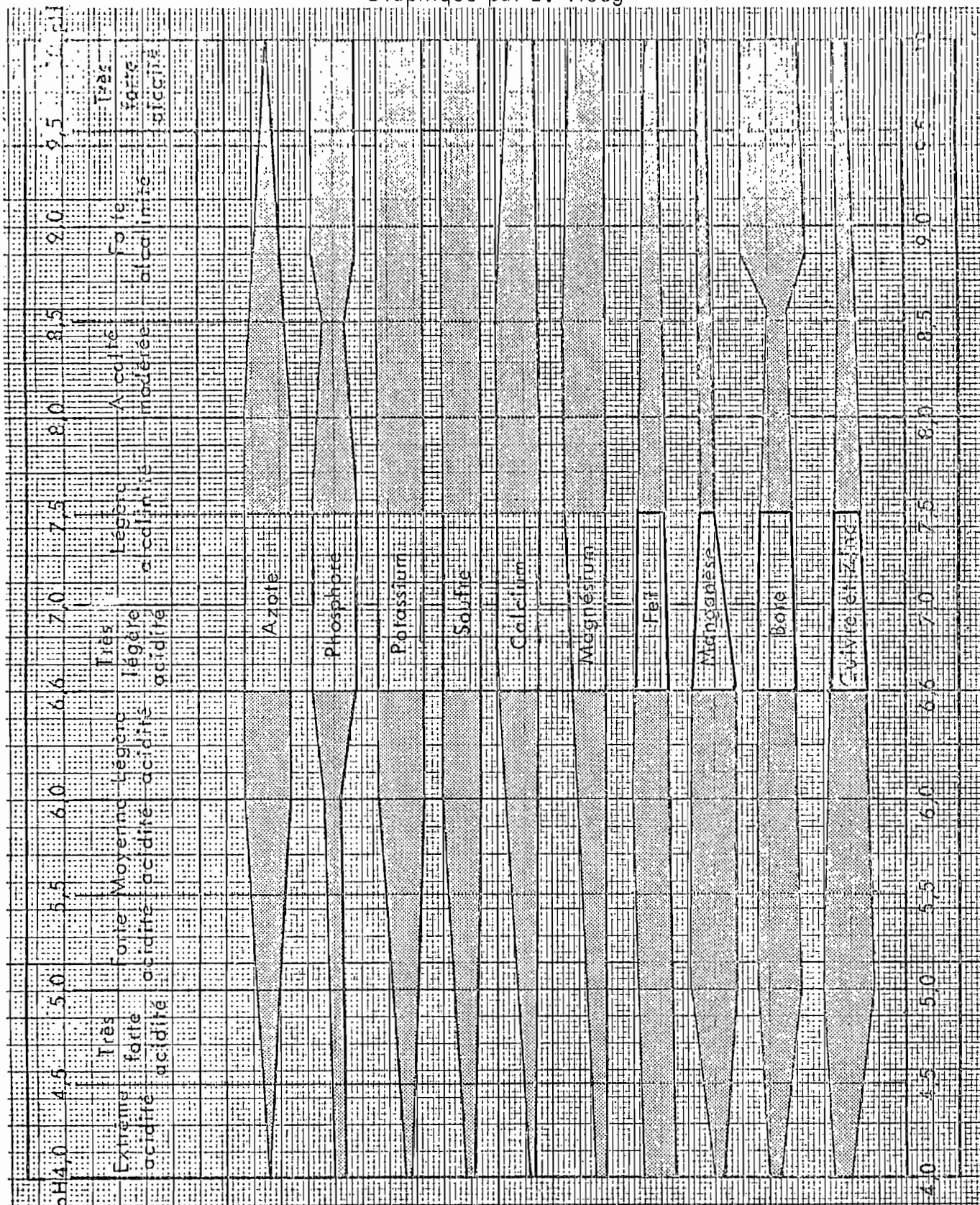
A titre d'exemple, le fer est présent dans les sols, surtout à l'état d'oxyde. Cet élément ne passe en solution que sous l'effet des acides. Certaines substances organiques de caractère acide le maintiennent à l'état dissous et l'on sait que, dans les sols, le fer migre à l'état de combinaisons humiques. En milieu neutre ou alcalin, le fer n'est pas assimilable. Dans beaucoup de sol à pH supérieur à 6,5 le Mn n'est pas assimilable (LAVOLLAY). L'acidité du milieu augmente l'assimilabilité de cet élément, comme elle augmente celle du fer. lorsque l'acidité est forte la concentration du Mn dans les solutions du sol peut devenir trop élevée et des effets toxiques en résultent. LAVOLLAY confirme le résultat d'expérience de : TRUOG qui a montré que les effets de la réaction du sol traduisent l'assimilabilité des Oligo-éléments car il existe des intervalles de pH favorables à l'assimilation de tel ou tel Oligo-élément et d'autres défavorables.

D'après le graphique Schématique de TRUOG on voit que pour chaque élément, la hauteur de la hachurée donne une mesure approximative de l'assimilabilité :

(Voir graphique par E. TRUOG à la page suivante).

# INFLUENCE DE LA REACTION DU SOL SUR L'ASSIMILABILITE DES ELEMENTS FERTILISANTS

Graphique par E. Truog



On peut comparer le Schéma de TRUOC avec celui de CARTER (26 et 27).

D'après Schéma de TRUOC nous avons constaté que dans les sols à pH au dessous de 6 il y a assimilation exagérée du fer.

Dans les sols à pH au dessus de 8 l'absorption du fer par la plante est de plus en plus réduite; de même pour le Mn.

Il existe une absorption réduite du bore entre pH 8 et 8,5 et 4,0 - 4,5.

Pour le cuivre et le Zn l'absorption est réduite dans l'intervalle de pH 5 à 4.

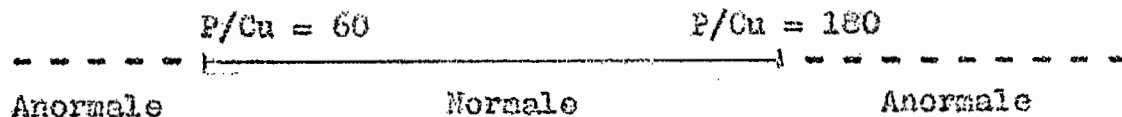
Les sols bien équilibrés en nutrition minérale sont des terres dont le pH se trouve dans l'intervalle de 6,6 à 7,5 (autour de la neutralité).

Plus le sol est acide, plus la plante absorbe d'une quantité importante d'Oligo-éléments.

V - RELATION ENTRE MAGRO ET MICRO-ELEMENTS DANS LA PLANTE.

D'après E.R. BEAUFILS (12) et (13), il existe une liaison étroite entre macro et micro-éléments par exemple Mg et Mn; P et Cu pour l'Névéa. Les éléments Mg, Mn et Na forment un groupe dont les variations sont en corrélation directe avec celle du calcium. Une étude particulière a permis de déterminer la dispersion des rapports Mg/Na; Mg/Mn et Na/Mn, pour les cultures végétant dans des conditions normales.

En classant les résultats obtenus par la recherche de l'équilibre P et Cu dans les feuilles de l'Névéa, on trouve une groupe provenant de culture végétant en condition normale et une deuxième en condition anormale; on peut établir la distribution des fréquences des valeurs du rapport P/Cu. On estime que la valeur  $\frac{P}{Cu} < 60$  ou  $\frac{P}{Cu} > 180$  a une chance d'appartenir à des cultures ne végétant pas dans les conditions normales (21).



Lors d'une expérience d'engrais, BEAUFILS a constaté que l'apport de 12Kg de sulfate de cuivre à l'hectare provoque un accroissement très hautement significatif de l'assimilation de la potasse (26,5%) et du phosphore (27%) (réf. 8,13 et 21).

De ce qui précède, il est important de connaître que les carences en Oligo-éléments se manifestent, non pas uniquement à

cause d'une carence absolue, mais à cause d'un équilibre entre les éléments majeurs et les éléments mineurs. Il est un fait que les apports massifs en azote augmentent les carences en Oligo-éléments dans des terres relativement pauvres en Oligo-éléments.

En 1958, LABANAUSKAS (71) a constaté que la forte application de l'azote diminue significativement la teneur en zinc, en cuivre et en bore des feuilles, et augmentent significativement leur teneur en Manganèse et en fer. Une forte application de phosphore diminue leur teneur en zinc et en cuivre et dans une faible proportion leur teneur en bore, augmente la teneur en Manganèse mais n'influe pas sur la teneur en Fer. Les applications de la fumure potassique augmentent la teneur en Cuivre dans les feuilles mais n'influent pas sur la teneur en Zinc en Manganèse en Fer et en Bore.

En ce qui concerne la relation entre Macro et Micro-éléments dans la plante nous avons noté deux sortes de corrélation :

- la corrélation directe ou parallèle (qui va dans le même sens).
- la corrélation inverse ou antagoniste (qui va dans un sens opposé)

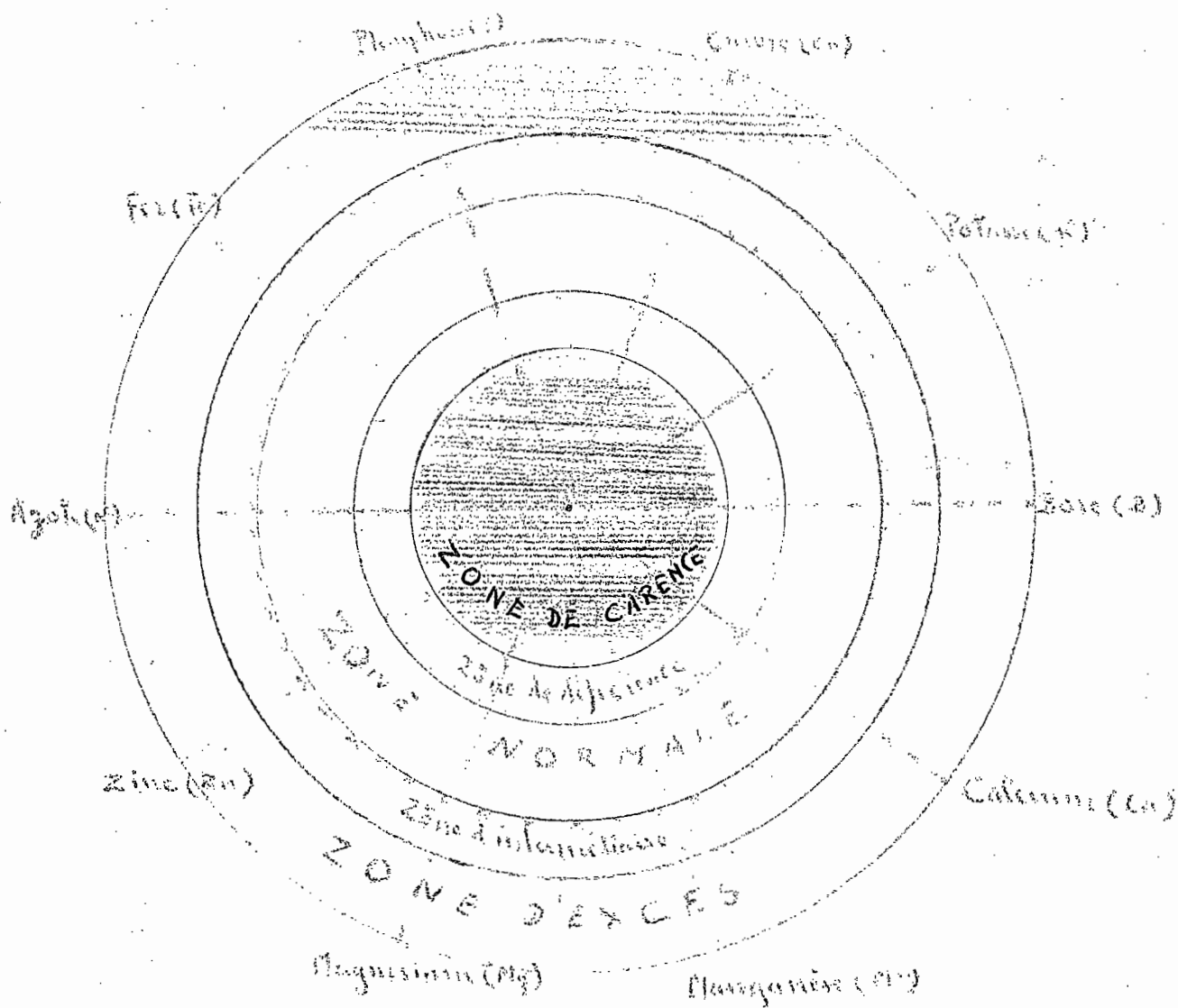
Les travaux d'analyse minérale des feuilles de chaque catégorie des plantes peuvent révéler le désordre de certains éléments. Cependant le résultat de ces travaux d'analyse ne donne pas tous les renseignements nécessaires car il existe également l'influence

des clones, de la saison, du sol, du micro-climat etc... Il est donc nécessaire de vérifier le résultat d'analyse avec ceux des expériences de type agronomique pour améliorer l'état végétatif des plantes et augmenter la production.

KENWORTHY (70) a établi une carte et un tableau indiquant l'équilibre des teneurs des éléments minéraux d'une plante normale (bien portante). L'auteur trace un cercle avec 5 diamètres de 10 rayons opposés. Deux rayons opposés représentent 2 éléments antagonistes. La partie du cercle colorée en blanche représente la zone normale; les parties légèrement colorées représentent les zones au dessous ou bien au dessus de la normale; et les parties très sombres, bien colorées représentent la carence ou l'excès.

Tableau X - Résumé de la carte de balance pour l'équilibre  
minérale d'une plante normale

(Tableau établi par KENWORTHY (70) ).



	Zône de Carence	Zône au des- sous de norm.	Zône Norm.	Zône au des- sus de Norm.	Zône d'excès	Résumé de la carte de balance
N						Fe antagoniste de Ca
P						Mn antagoniste de P
K						Cu = Mg
Ca						Zn = K
Mg						B = N
Mn						<u>Remarque pour le tab.</u>
Fe						La limite entre les
Cu						zônes ne sera déter-
B						minée que par analy-
Zn						se des feuilles de
						chaque espèce de
						culture et cette li-
						mite dépend du type
						du sol, du climat
						c'est à dire des
						conditions du milieu.

D'après le tableau des expressions remarquables établi par BEAUFILS (13) nous avons pu résumer pour la relation entre Macro et Micro-éléments dans des feuilles d'Hévéa les valeurs suiv.

Tableau XI - Extrait du tableau des expressions remarquables dans les feuilles d'Hévéa établi par BEAUFILS (13)

Rapport Macro et Micro-éléments des feuilles	Cas des arbres normaux		Cas des arbres anormaux	
	Valeur moyenne	Ecart typ.	Valeur moyenne	Ecart type
P/Cu	120	± 40	170	± 100
Mg/Mn	28,3	± 9,9	25,20	± 13,70

En prenant comme base les valeurs des rapports F/Cu et Mg/Cu trouvées par BEAUFILS, nous essayons de faire la comparaison avec une partie des résultats d'analyse effectuée à l'Institut Français du Caoutchouc.

Echantillons utilisés : poudre de feuilles d'Hévéa de l'INCA

Analyse effectuée en Novembre et Décembre 1966 : par nos soins

Méthode d'analyse :

- Pour le phosphore : 1/ minéralisation par voie sèche  
2/ dosage par colorimétrie en utilisant le spectrophotomètre marque JOBIN YVON
- Pour le Magnésium : 1/ minéralisation par voie sèche  
2/ dosage par titrimétrie ou complexométrie avec EDTA
- Pour le Manganèse : 1/ minéralisation par voie sèche  
2/ dosage par absorption en utilisant le spectrophotomètre marque JOBIN YVON.
- Pour le Cuivre : 1/ minéralisation par voie sèche  
2/ dosage par absorption après avoir décanté le contenu du mélange (usage tjs. le spectrophotomètre marque JOBIN YVON).

A titre exemple et pour pouvoir comparer avec le résultat trouvé par BEAUFILS nous donnons dans le tableau XII ci-dessous, le résumé des 3 résultats de nos travaux effectués au Laboratoire d'Analyse minérale de l'I.F.C. :

Tableau XII - Résultat d'analyse minérale effectuée par nos soins à l'I.F.C.

Echantillons utilisés	P eng/m.S	Mg eng/m.S	Mn eng/m.S	Cu eng/m.S	P/Cu	Mg/Mn
Poudre de feuilles d'Hév. N°10	0,239	0,490	19,31	1,22	195	25
Poudre de feuilles d'Hév. N°11	0,266	0,463	15,89	0,91	261	29
Poudre de feuilles d'Hév. N°12	0,223	0,411	9,61	0,96	232	42

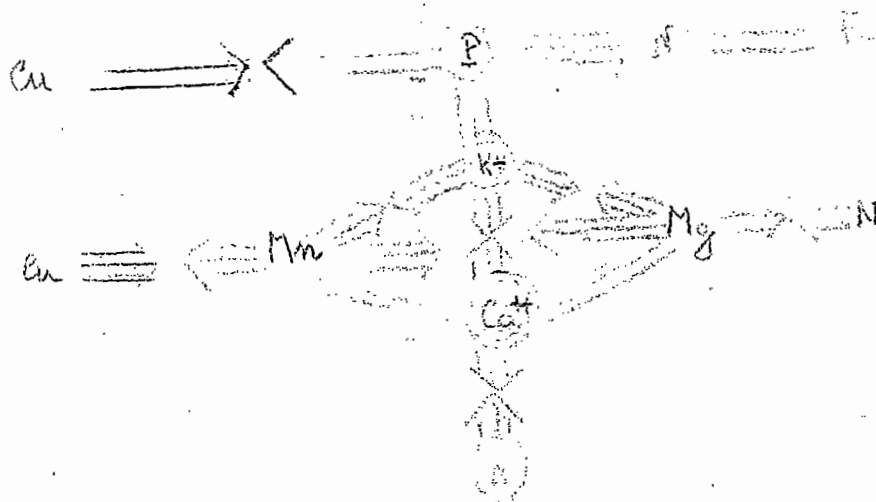
D'après ces résultats d'analyse, on peut penser que l'échantillon n° 10 dont le rapport P/Cu = 195 qui est un chiffre se trouvant dans la limite des arbres anormaux déterminée par BEAUFILS, appartient à un arbre anormal au point de vue équilibre minéral P/Cu et Mg/Mn. Tandis que l'échantillon n° 11 il appartient à un arbre mal équilibré au point de vue rapport P/Cu. Cependant cet arbre semble équilibré au point de vue Mg/Mn. Pour l'échantillon n° 12 l'arbre est normal au point de vue équilibre minéral tant pour le rapport P/Cu que pour celui de Mg/Mn.

Le résultat de ces travaux d'analyse nous donne seulement une idée présumée sur le déséquilibre minéral des arbres, tandis que la détermination exacte des carences ou d'excès, elle ne peut se faire que sur terrain en considérant le symptôme visuel de l'arbre et les conditions écologiques. Les travaux de COMPAGNON et FIKIER sur les injections (voir chapitre injection) de  $SO_4$  Cu de Bore et de 2,40 nous montre un accroissement des teneurs en Bore et en Cu et en même temps en potassium dans les



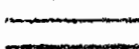
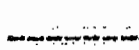
feuilles d'Hévéa (137). Les chercheurs russes tels que SKOL'NIK (30) STEKLOVA ont démontré dans leurs expériences avec des cultures sans sol que sous les doses faibles de l'azote (1/8 de la dose normal) les symptômes de Carence occasionnée par l'insuffisance en Bore apparaissent chez ces plantes plus tard que celles qui a reçu une dose complète d'azote. L'augmentation du besoin en bore de la plante dans le cas de forte dose d'azote montre l'action antagoniste de cet élément et de fortes doses de chaux sur le métabolisme. C'est pourquoi le bore peut corriger les déséquilibres occasionnés par les fortes doses d'azote et de chaux chez la plante. L'auteur russe nous indique encore que les besoins en bore diminuent dans la plante contenant de fortes doses de fer et surtout de Magnésium. Mais la Carence en bore se manifeste beaucoup plus tard. La stérilité chez la plante en général peut être combattue non seulement par l'action du magnésium ou du potassium, mais aussi du fer. En 1956, SKOL'NIK (30) a trouvé que le bore peut, en partie, compenser le manque du fer et réciproquement le fer peut partiellement contre balancer le bore. Le bore provoque l'abaissement pour l'azote et l'augmentation pour le magnésium et le fer (30) et (70). Nous avons vu que l'action antagoniste du bore et azote annoncée en 1956 par les chercheurs russes SKOL'NIK et STEKLOVA (30) est confirmée par le chercheur américain KENWORTHY en 1960 (70). L'IRCC a observé que, plus les sols sont désaturés en base, plus ils sont riches en Manganèse, puisqu'il existe une relation

directe entre K du sol et K des feuilles. Il est donc normal que la teneur en Mn des feuilles augmente quand celle du K diminue (127).

BEAUFILS (15) a schématisé l'ensemble des équilibres minéraux déterminés dans les feuilles d'événis de la façon suivante :



Légende :

-  Correlation inverse, significative
-  Correlation inverse hautement significative
-  Correlation directe significative
-  Correlation directe hautement significative.

Pour la valeur du rapport  $\frac{Mg}{Mn}$  BEAUFILS a fixé comme règle de la façon suivante :

Non équilibré  $\rightarrow$   $\frac{Mg}{Mn} = 21 \text{ à } 35$



Ex : Colonne 1 = L'application de l'N au sol fait augmenter la teneur en N dans la plante, diminuer l'absorption en K, augmenter l'absorption en Mg et en B.

Polinière confirme le résultat trouvé par SKOL'NIK en ce qui concerne Fe et B.

En tenant compte des résultats trouvés par les diverses chercheurs du monde, nous pouvons grouper les 2 sortes de correlations entre macro et micro-éléments de la façon suivante :

1/ Correlation directe ou parallèle (s'écrit conventionnellement par le signe // c'est à dire l'action de l'un fait augmenter la teneur de l'autre, ou bien favorise l'absorption de l'autre.

N correlation directe avec Fe (BEAUFILS) (13)

N // Mo (PREVOT) (109)

P // B (POLINIÈRE)(106)

K " Fe (LOUE) (77) (SHORROKS) (131)

K // B (COCCHI) (31)

K // Cu ( " ) (31)

Ca // Mn (BEAUFILS) (13)

Ca // Mo (SHORROKS) (131)

Mg // B (LOUE) (77) KENWORTHY (70) SKOL'NIK (30)

2/ Correlation inverse ou antagonisme (s'écrit par convention ≠)

c'est à dire l'action de l'un fait diminuer le pouvoir d'absorption de l'autre à cause du phénomène physiologique de la plante.

N antagonisme avec B KENWORTHY (70) SKOL'NIK (30)

N ≠ Zn DARTIQUES (39)

N ≠ Cu SHORROKS (131)

P	antagonisme avec Cu	BEAUFILS (13) SHORROKS (131) BOUYCHOU(21)
P	†	Mn KENWORTHY (70)
P	†	Zn DARTIQUES (38) SHORROKS (131)
P	†	Fe CARTER (27) SHORROKS (131)
P	†	Al SHORROKS (131)
K	†	Mn BEAUFILS (13)
K	†	Na POLINIENE (106)
K	†	Zn KENWORTHY (70)
Ca	†	B SKOL'NIK (30) CARTER (27) SHORROKS (131)
Ca	†	Cu BEAUFILS (13)
Ca	†	Fe BEAUFILS (13) KENWORTHY (70)
Ca	†	Na POLINIENE (106)
Mg	†	Mn BEAUFILS (13) POLINIENE (106) BOUYCHOU(21) SHORROKS (131)
Mg	†	Cu KENWORTHY (70)
Mg	†	Zn LOUE (77)
Mg	†	Na BOUYCHOU (21)
S	†	Mo SHORROKS (131)

A l'IRCV, COCCHI (31) a constaté que l'apport d'acide borique au sol provoque une augmentation significative de teneur en bore et en potassium des feuilles d'Évéa. L'action de bore apporté par injection affecte également les racines et favorise l'assimilation de K (31).

## CHAPITRE DEUXIEME

### LES OLIGO-ELEMENTS ET LA VIE DES PLANTES

#### I - INFLUENCE SUR LA CROISSANCE.

##### A/ CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL.

En général, les Oligo-éléments ont une influence notable sur la croissance des plantes. Par exemple, le bore favorise la germination du pollen, la formation des fleurs des fruits et des racines (68). Le zinc favorise la croissance en grandeur des feuilles car la carence en zinc provoque chez les arbres fruitiers une diminution de la dimension des feuilles (142).

##### B/ CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS :

En ce qui concerne l'Hévéa brasiliensis, les Oligo-éléments sont susceptibles d'avoir une action très positive sur la croissance.

D'après l'exposé de E. COMPAGNON 1962 (35) au cours d'une conférence internationale sur le Caoutchouc, les Oligo-éléments ont aussi une influence notable sur la croissance de l'Hévéa. La preuve est donnée comme suit :

L/ En Malaisie : A l'Institut de recherche du Caoutchouc en Malaisie, (R.R.I.M.) BOLLE-JONES fit une étude détaillée de la composition minérale (surtout sur les Oligo-éléments Fe, Cu, Mn, Zn et B) des jeunes plants d'Hévéa cultivés sur sable dans

des conditions de nutrition définies. Dans son expérience en pot et sur sable, BOLLE-JONES met en équilibre les macro-éléments N.P.K.Ca.Mg.S puis il note la croissance de l'arbre. Et de l'autre côté il ajoute en plus des macro-éléments, des oligo-éléments distincts pour chaque pot mis en expérience. Puis il mesure la grandeur de son arbre dans tous les pots. L'auteur a trouvé que chaque Oligo-élément ajouté (Fe ou Mn ou Cu ou Zn ou B ou Mo) à la plante favorise considérablement la croissance. Par exemple la croissance du plant avec Bore augmente beaucoup plus que celle des plants sans bore (35).

2/ A Ceylan : Le "Rubber Research Institute of Ceylan" a signalé les effets des Oligo-éléments sur la croissance de l'Hévéa. Il s'agissait des effets multiples des éléments nécessaires à la plante avec absence d'un seul élément. On constate que l'absence ou l'insuffisance d'un seul Oligo-élément parmi les six (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B) provoque le retard de croissance chez l'Hévéa (35).

3/ Indonésie : Dans ce pays où la plantation d'Hévéa couvre environ 1.500.000ha (en 1962), les sols présentent une diversité extrême due au caractère volcanique du pays, au relief et à des différences de climat notable (35) suivant les régions. C'est pour cette raison que la future jouera un rôle très important tant pour la croissance que pour la production.

Au cours de notre stage effectué en Indonésie en 1958,

un expert américain en matière d'Hévéaculture en Indonésie == nous a signalé la nécessité de l'usage des engrais à base d'Oligo-éléments pour activer la croissance des jeunes plantes d'Hévéa dans certaines régions de l'Indonésie.

4/ Viet-Nam : Au Viet-Nam, l'Hévéa est cultivé sur 2 types de sol bien définis et nettement distincts couramment désignés comme terres rouges et terres grises. Il est admis que, pour assurer une bonne croissance aux cultures en terres grises, il faut leur apporter une fumure complète. On a pensé que les terres rouges sont beaucoup plus riches en Oligo-éléments que les terres grises (voir tableau VI). C'est pourquoi on a besoin des engrais pour activer la croissance des jeunes Hévéa plantés sur les terres grises.

On a remarqué que les plantes d'Hévéa sur terres rouges ont une croissance beaucoup plus rapide que ceux cultivés sur terres grises (41). Il semble donc que les Oligo-éléments ont une grande influence sur la croissance de la plante.

5/ Camboëge : Les terres rouges au Camboëge, formées sur des plateaux de basalte, profondes, d'une excellente structure physique assurent à l'Hévéa une très bonne croissance. En 1957, les analyses comparatives des feuilles chlorotiques et des feuilles prélevées sur cultures saines attirèrent l'attention des chercheurs sur une probable déficience en potasse (35). Cela nous fait penser à l'antagonisme entre potasse et Manganèse (BEAUFILS 13) potasse Sodium (POLINIÈRE 106) Potasse-Zinc (KENWORTHY 70). Car on a trouvé que les terres rouges sont très

riches en Oligo-éléments (35) et (117). Il est donc utile de penser à l'équilibre des Oligo-éléments pour assurer la bonne croissance de l'Hévéa, tant en terres rouges qu'en terres grises.

### C/ SYNTHESE :

En général, la plante croit convenablement lorsque la nutrition alimentaire est bien équilibrée.

Depuis fort longtemps, on sait qu'il existe 2 groupes d'éléments qui intéressent à la plante. Le premier dont la dose est de l'ordre de 100 à 1000mg/l s'appelle les macro-éléments par exemple N.P.K.Ca.Mg. . Le 2<sup>e</sup> dont la dose est de l'ordre de quelque mg/l c'est à dire à dose très faible s'appelle les micro ou Oligo-éléments. Les éléments du premier groupe est très connu car il est facile à doser et à équilibrer le besoin pour la plante. Et on néglige souvent les éléments appartenant au 2<sup>e</sup> groupe.

Or pour activer la croissance, les chercheurs ont essayé de trouver le secret des éléments qui sont négligés depuis longtemps. Et d'après les essais que nous avons cités précédemment, on pourra avoir une idée que les Oligo-éléments sont aussi intéressants que les macro-éléments déjà connu.

Pour l'Hévéa dont la production dépend aussi de la croissance, on est intérêt à rechercher des influences des Oligo éléments sur cette croissance. Jusqu'à maintenant on arrive à

trouver l'importance des 6 Oligo-éléments Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, et B. Basé sur les expériences de BOLLE-JONES en Malaisie, nous avons pu confronter avec les observations des divers chercheurs tant dans le domaine de l'Hévéa que dans le domaine des autres cultures tropicales.

Les divers organismes de recherches en Malaisie, Indonésie, Ceylan, Viet-Nam et Cambodge sont entrain de rechercher la confirmation surtout en comparant la croissance de l'Hévéa en terre rouge basaltique et en terre grise. Cela nécessite les travaux d'analyse du sol et des plantes pour connaître la teneur de tous les éléments nutritifs de la plante. Car la carence en élément majeur NPK par exemple peut également entraîner des erreurs dans la recherche des influences des Oligo-éléments. Mais en tous cas les équilibres des 2 groupes d'éléments assureront la bonne croissance de l'Hévéa et finalement la meilleure production du latex.

## II - INFLUENCE SUR LA RESISTANCE AUX MALADIES :

### A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL.

On a remarqué que la maladie "Fusarium Oxysporum" qui servit sur la plantation de palmier à huile en Côte d'Ivoire et que WARDLAW en 1946 décrit comme la maladie la plus dangereuse pour le palmier à huile, pouvait être associée à une déficience relative en Manganèse. Les teneurs sont de l'ordre de 200ppm en zone saine et de l'ordre de 100ppm en zone malade (109).

D'après l'expérience de TROCME par l'analyse des feuilles de la plupart des plantes tropicales, saines et malades, les teneurs en Manganèse et en zinc sont beaucoup plus faible chez la plante malade que chez la plante saine (142). Donc la carence du zinc et du Manganèse peut entraîner des maladies à la plante. Cependant, l'auteur a trouvé aussi que la teneur en fer est plus élevée chez la plante malade que chez la plante saine (142). Cela nous fait penser que l'excès en fer peut être une cause de la maladie des plantes. En 1956, à Ceylan, GILVA a remarqué que la maladie "EXOASIDIUM VEXANS MASSEE" (maladie de boursoufflure) du thé peut être combattue par la fongicide à base de cuivre avec une dose de 142g/ha de l'oxyde de cuivre (50%Cu) ou bien avec 284g/ha de l'oxyde cuivreux plus oxyde de zinc (25%Cu + 30%Zn) ou un oxyde chlorure cuivreux (avec 20% de Cu) (59).

En 1966, BURELLE (24) a constaté que la maladie "ESOPHAGEAL CANCER" chez le maïs est causée par la carence en

Molybdène. Après une étude approfondie sur les résultats des travaux de diagnostic foliaire et des injections sur les plantes de maïs, on a trouvé encore que la cause de maladie "ESOPHAGEAL CANCER" n'est pas seulement la carence en Molybdène mais encore la carence en fer, cuivre, zinc et en autre Oligo-éléments (24).

Selon les données de STRANOV et JAROSENKO (1950), le cuivre, le Mn, le fer et le Bore ont supprimé la cause de la "nielle pierreuse" non seulement au cours de la période de séjour dans le sol, mais aussi lorsqu'elle est présente dans les tissus des végétaux, en amenant la suppression et la dégénérescence des formations mycéliennes. On possède pour d'autres maladies des données sur l'augmentation de la résistance à *Rizochtonia* et *Phytophthora* (pour la pomme de terre) sous l'action du manganèse et du cuivre, à la maladie des racines et à la cercosporiose (pour betterave sucrière) sous l'action du Mn et du bore, au phytophthora (de la tomate) sous l'action du Zn, du Cu, du Mn et d'autres micro-éléments. Lorsque le Zn et le Cu se trouvent en quantité insuffisante, certaines plantes (radis par exemple) deviennent très sensibles à la maladie "wilt" (STRANOV 1952).

D'après la découverte faites par des savants indien BHARUCHA et DAVID sur les causes de maladie des agrumes (die-back) la carence en cuivre et en Zn provoque une accumulation d'oxalates de calcium dans le système conducteur des sommets des végétaux, ce qui à leur avis freine le transfert des substances

de croissances. Un apport de Cu et de Zn a amené la disparition complète des oxalades de calcium et la complète guérison des plantes (BHARUCHA 1955).

B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS :

En ce qui concerne l'Hévéa brasiliensis, BOLLE-JONES en Malaisie, a remarqué que la déficience en zinc augmente la susceptibilité de l'Hévéa à la maladie "OÏDIUM". Cette observation sur quelques plantes a été contestée à Ceylan par la suite (35). Au Viet-Nam, des surfaces sur lesquelles on a épandu du zinc ne se sont pas montrées plus résistantes à l'OÏDIUM (35). Cependant au Cambodge et au Viet-Nam, on peut dire dans l'ensemble que les cultures exemptées de maladies ont des équilibres minéraux normaux (35).

L'étude sur la maladie d'Hévéa appelée "RAIES NOIRES" affectuée par l'IRCC (124) fait savoir que les Oligo-éléments ont aussi une influence sur les maladies de l'Hévéa. Pour le clone PR 107 les premiers résultats d'analyse des feuilles, des écorces, du bois et du latex d'arbres présumés sains et d'arbres atteints de maladie des panneaux donnent des renseignements cités dans le tableau XIV ci-dessous :

Tableau XIV - Les teneurs des Oligo-éléments et l'état de santé de l'Hévéa .

N <sup>o</sup> du bloc	Teneur des Oligo-éléments dans les feuilles	Teneur des Oligo-éléments dans le bois	Teneur des Oligo-éléments dans l'écorce
1		CuM > CuS	ZnM < ZnS
2	FeM > FeS	FeM > FeS	CuM < CuS
3	CuM < CuS	MnM < MnS	CuM < CuS
		FeM < FeS	

(Rapp. Ann.  
IRCC 1964  
P65)

S : arbre sain

M : arbre malade

Comme le résultat est encore varié l'IACC n'a pas encore donné la conclusion sur la maladie "RAIE NOIRE" pour l'Hévée. Cependant on peut remarquer tout simplement en 1956 que le clone PR 107 présente dans l'un et l'autre bloc un pourcentage faible de maladie "RAIE NOIRE". Les traitements au TB 192 semblent avoir limité les attaques chez le Tjir 16 à partir d'Octobre 1956. Le Gil présente le nombre des cas le plus élevé des 3 clones considérés. Peut être faut-il envisager l'influence d'une déficience minérale sur la sensibilité aux "RAIES NOIRES" de ce clone, au métabolisme particulier. Il existe entre autres chez l'Hévée, deux types de maladies : "CORTICIUM SALMONICOLOR" (maladie des branches) et "l'OÏDIUM" (maladie des feuilles) dont on a remarqué que les clones PR 107 sont moins attaqués que les Gil Tjir 1 et Tjir 16, on se demande si cette maladie est aussi causée par l'influence d'une déficience minérale.

Des coupes pratiqués au niveau des trous d'injection avec  $CuSO_4$  dans un arbre pris aux hasards en bordure du bloc nous a révélé l'absence de toute "NECROSE" et la parfaite diffusion des produits injectés (124). C'est cela qui nous a fait penser à l'influence des Oligo-éléments à la résistance aux maladies.

En 1966, BOISSON (17) a remarqué qu'il existe une maladie foliaire de l'Hévée brésilienais causée par le RHIZOCTONIA SOLANI KÜHN. On rencontre cette maladie en Côte d'Ivoire au

Brésil en AMAZONIE au PEROU et au Sud de l'Inde en 1960. Le caractère caractéristique de cette maladie est la présence de "SCLEROTES" (enduration pathologique d'un tissu) sur les feuilles d'Hévéa et les isollements à partir du tissu malade ont permis d'identifier l'agent pathogène.

L'expérience montée en Janvier 1958 dans la plantation d'Hévéa de LAÏ-KHE (Sud Viet-Nam) (21) a montré que la NECROSE n'a été constatée du fait des injections de sulfate de cuivre pour stimuler la production. Le latex du clone normalement assez instable était devenu parfaitement stable et fluide et l'écoulement se prolongeait jusqu'à 48 heures après la saignée (21). On sait maintenant que les accidents de saignée, la maladie appelée "BROWN BAST" qui signifie écorce brune sont dus en grande partie à des équilibres minéraux défectueux au niveau du panneau de saignée (21). Le rétablissement de ces équilibres à leur niveau favorable par des apports d'engrais au sol ou directement par des injections peut corriger ces maladies. Par exemple la coagulation sur l'encoche peut être rectifiée par un emploi judicieux de la stimulation (21). On a remarqué également que l'épuisement du sol entraînant un état physiologique déficient des arbres constitue un facteur favorable au développement de LORAN THUS (qui parasite de l'Hévéa) de la maladie des racines (21).

Au cours de nos trois mois de stage pratique en Hévéa-culture dans la Société Khmère de Plantation d'Hévéa à Tapao (Cambodge, nous avons remarqué que l'application de sulfate de

cuire pour stimuler la production du latex entraine aussi une disparition des maladies "RAIES NOIRES" au clone Avros 308.

A Tapao, nous avons noté que, sur l'ensemble de la plantation, il existe 1 à 2% d'arbres atteints de CORTICIUM SALMONICOLOR. Cette maladie est traitée et combattue par la BOUILLIE BORDELAISE (mélange chaux avec sulfate de Cuivre). L'IRCC nous a signalé que les teneurs en Cuivre dans l'arbre atteignant la maladie BROWN BAST sont habituellement très faibles (entre 0,20 et 0,30mg pour 100g du latex). C'est pour cette raison que nos emplois de sulfate de cuivre comme produit stimulant peuvent combattre également la maladie BROWN BAST à Tapao.

On a constaté que l'insuffisance des teneurs d'Oligo-éléments dans les feuilles d'Hévéa peut provoquer des maladies diverses.

Le tableau XV ci-dessous sert l'exemple de cette constatation :

Tableau XV - Teneurs des Oligo-éléments dans les feuilles d'Hévéa Sain et Malade

Phénomène observé sur l'arbre	Cuivre en mg pour 100g de matière sèche des feuilles
- Arbre sain témoin	29,7
- Brunissement et fendillement	16,7
- Coagulation du latex sur l'encoche	17,8
- Encoche particulièrement sèche	17,0
- Brown - Bast	18,2

(Rapp. ann. IRCC 1951 P.75)

C - SYNTHESE :

On peut penser, a priori, que comme pour les carences vitaminiques chez les animaux et chez l'homme, les carences des Oligo-éléments peuvent causer certaines maladies pour les cultures tropicales. Il suffit d'examiner les plantes malades et d'analyser les teneurs en Oligo-éléments dans les diverses parties de ces plantes puis interpréter les résultats. Il faut savoir qu'un même terrain peut présenter ou non des carences en un Oligo-élément donné, suivant, non seulement des conditions climatiques, mais aussi suivant les végétaux dont les besoins sont plus ou moins grands. C'est pour cette raison que la carence en Oligo-éléments tels que : Fe, Cu, Zn, Mo etc... peut causer une maladie "d'oesophageal cancer" à la culture du Maïs. Pour la maladie de "Raies Noires" chez l'Hévéa, malgré qu'il n'existe pas encore des confirmations de la part de tous les chercheurs et les planteurs, mais on peut noter que les Oligo-éléments ont une influence sur cette maladie. L'absence de toute nécrose au niveau des trous d'injection de sulfate de cuivre dans la plante d'Hévéa, nous donne une réflexion sur l'influence d'Oligo-éléments "Cu" à la résistance aux maladies. Une autre maladie de l'Hévéa appelée "Brown Blast" est susceptible d'être causée par le déséquilibre minéral. Le brunissement et le fendillement de l'Hévéa peuvent être causés par l'influence d'assimilation de Cu par la plante.

De ce qui précède, nous pouvons penser que certains Oligo-éléments ont une influence notable sur la résistance aux

maladies des plantes. Les quelques exemples typiques tels que l'usage des fongicides à base de cuivre pour combattre la maladie de boursoufflure du thé, la maladie Esophageal Cancer pour le maïs causée par la carence en Mo ou en Fe ou en Cu et Zn, la maladie d'Oidium Rhizoctonia Solani Kühn, les Raies Noires pour l'Hévéa servent bien de preuves.

III - INFLUENCE SUR LA PRODUCTIVITE.

A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL

1/ Pour l'arachide : D'après les expériences de MARTIN et FOURRIER pour les Oligo-éléments dans la culture de l'arachide du Nord Sénégal, nous avons trouvé que certains Oligo-éléments ont une influence notable sur la productivité de l'arachide. En 1963, on a effectué des expériences pour comparer l'effet de chaque Oligo-élément parmi les 6 principaux (Mn, Fe, Cu, Zn, B et Mo). Le tableau XVI ci-dessous montre le résultat des effets de chaque Oligo-élément sur les rendements en gousses des arachides à LOUCA.

Tableau XVI - Effets des Oligo-éléments sur le rendement des arachides (27)

Oligo-éléments étudiés	Poids de l'arachide en Kg par hectare		
	Avec	Sans	Effets (I)
Mn	1.670	1.690	- 20
Fe	1.660	1.700	- 40
Cu	1.685	1.675	+ 10
Zn	1.635	1.670	+ 15
B	1.660	1.695	- 35
Mo	1.765	1.595	+170

(I) - effets négatifs

+ effets positifs

D'après ce tableau on peut penser que le Molybdène donne

un effet le plus favorable pour le rendement. Le Zinc et le Cuivre donnent aussi un effet positif mais beaucoup plus faible par rapport au Molybdène.

En 1964, les expériences de l'I.R.H.O. à LOUGA (87) avec l'application au sol de "Molybdate d'ammonium" 28g par hectare d'arachide, on obtient des rendements comme suit :

- Témoin sans engrais on obtient en gousse d'arachide 1.145Kg/ha
- Avec engrais sans Oligo-élément on obtient d'arachide 1.375Kg/ha
- Avec engrais + Oligo-élément (Mo) on obtient ----- 1.730Kg/ha

Les expériences ont été reprises dans la région comprise entre TIVAOUANE et MERHE (87) en utilisant le molybdène à dose de 1,5Kg/ha, on obtient le résultat comme suit: (moyenne sur 23 tests).

- Avec engrais N.P.K on obtient les arachides en gousses de 1.700Kg/ha
- Avec engrais N.P.K + Mo on obtient ----- 1.910Kg/ha

L'effet du Molybdène est donc confirmé par l'IRHO (87)

Le Gouvernement de Sénégal a vulgarisé cette formule car elle est le plus économique à LOUGA. Il suffit d'augmenter le rendement en gousse de 25Kg/ha pour justifier la dépense des prix d'engrais NPK + Mo. Or pratiquement, cette augmentation varie de 40 à 100Kg/ha (87) d'où la rentabilité d'application d'Oligo-élément (Mo) sur la culture d'arachide.

D'après les observations de M. PREVOT (109) nous avons noté que le Molybdène a donné un grand effet à BOMBAY en 1952, car 10Kg/ha de Molybdate d'ammoniaque font augmenter un rendement d'arachide de 220Kg/ha.

D'après les observations de M. PREVOT (109) nous avons noté que le Molybdène a donné un grand effet à BOMBAY en 1952, car 10Kg/ha de Molybdate d'ammoniaque font augmenter un rendement d'arachide de 220Kg/ha.

2/ Pour le riz : D'après les travaux d'expérience menés par MIKKEISEN (97) dans un sol alcalin à californie (USA) le fer donne un effet important à la production du riz. Les oxydes de fer, les sulfates ferreux, le sulfate d'ammonium ferreux répondant très bien à la productivité du riz. Pour un sol dont le pourcentage de Sodium échangeable est élevé, le besoin en fer est de 280Kg/ha. Dans les rizières dont les cultures présentent de signe de chlorose bien marqué, on applique 280Kg de sulfate de fer par hectare et pendant 14è à 28è jour, on trouve de bon succès pour la production. Le fer et le Mn jouent un rôle très important dans la production des graines du riz.

Au Cambodge, nous avons remarqué que le riz planté sur une terre rouge basaltique réputé très riche en Fe et Mn donne un rendement beaucoup plus élevé que dans les rizières des plaines. Cet essai a été réalisé en 1963 à Prek Kak (Cambodge) dans les interlignes de la plantation d'Hévécá appartenant à des habitants de la région.

En ce qui concerne les Oligo-éléments pour le riz, la pratique est encore hésitante et peu répandue. Cependant, on peut noter comme ci-dessous.

En Inde, des essais ont été conduits avec soit des

Oligo-éléments séparés 5Kg/ha de sulfate de cuivre dans Mysore (accroissement de rendement de 15 à 20%); soit avec des Oligo-éléments mélangés : sulfate de cuivre, manganèse et zinc dans Madras (accroissement de rendement de 10 à 28%); Sulfate de cuivre et de bore à la station de Cuttack (Orissa) accroissement de 10 à 30%); Sulfate de cuivre et zinc : augmentation de 5 à 13%) (2bis).

Le fer permet souvent un accroissement de rendement. L'apport de fer permet parfois au Japon l'obtention d'un léger accroissement de rendement.

3/ Pour le Maïs : En 1962, THOMSON avait trouvé que 17ppm de zinc pouvaient donner 60 quintaux de maïs graines par hectare. Par des cultures en pots faites avec le maïs, on est permis d'observer des augmentations de récolte allant jusqu'à 50% par rapport aux témoins cultivés sur un milieu appauvri en bore. Dans un champ de terre pauvre en bore, si on ajoute 10Kg de bore par hectare, on obtient une augmentation de récolte de 30%. Le zinc a un effet positif sur la production du maïs; étant donné que 112Kg de  $ZnSO_4$ /ha peuvent augmenter la production de 30%. Si la teneur en zinc dans la plante du maïs descend au dessous de 35ppm, la plante est anormale. Pour traiter cette anomalie, on pulvérise la plante du maïs avec 6,79Kg de  $ZnSO_4$ /ha dans la solution de 440 litres d'eau (Tropical abstracts 1967).

De ce qui précède, il est important de penser que les Oligo-éléments ont une influence sur les cultures tropicales en général.

B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS .

Pendant longtemps, on a estimé que l'Hévéa était une culture peu exigeante, étant donné que le Caoutchouc est uniquement formé de carbone et d'hydrogène. Cette conception a fait passer au second plan (après la sélection) les études de la nutrition minérale. Mais depuis 1924, d'après les travaux d'expérience de fumure montés par CRANTHAM à Sumatra, on a trouvé que les mauvaises productions du Caoutchouc en certains sols épuisés, comme les replantations sont causées par les déséquilibres minéraux. La culture sur milieu nutritif contrôlé avec ou sans analyse minérale des tissus fut utilisée en Malaisie et en Amérique à partir de 1938. Au Viet-Nam et au Cambodge, la question de la nutrition minérale de l'Hévéa fut prise en sérieuse constatation à partir de 1949, année où l'attention des planteurs fut attirée par des baisses générales de rendement d'année en année. En 1955, COMPAGNON et BEAUFILS ont signalé l'influence positive du cuivre sur l'assimilation des éléments majeurs K et N. L'ensemble de ces faits nous a amené à l'étude de la composition minérale des feuilles de l'Hévéa pour connaître en particulier, les influences des Oligo-éléments sur la productivité.

La présence du cuivre dans le latex est un fait général et très connu. L'action stimulante du sel de cuivre sur la production de l'Hévéa est accompagnée de certaines modifications dans la composition du latex. Le résultat des essais d'injection des Oligo-éléments sur l'arbre d'Hévéa, nous fait penser à une

action marquée de certains Oligo-éléments notamment cuivre et bore sur la production du Caoutchouc. Nous donnons comme exemples le résultat des travaux d'injections ci après :

Dans le but de stimuler la production d'Hévéa par l'apport d'Oligo-éléments, COMPAGNON (32) avaient effectué en 1950 des essais d'injection d'Oligo-éléments suivants Cu, Fe, B, Mn et les résultats de ces essais sont comme suit :

- l'augmentation de production provoqué par le sulfate de cuivre varie notamment suivant le matériel végétal et probablement aussi pour un même matériel suivant les conditions du milieu. Les injections effectuées tous les 6 mois (au début de saison sèche) sur les mêmes arbres ne se sont pas montrées préjudiciables. La quantité de  $\text{CuSO}_4$  injectée varie de 2g à 12g par arbre. Dans cet écart, il n'existe pas de différences significatives pour l'augmentation de production.
- Avec le sel de fer ( $\text{FeSO}_4$ ), le résultat n'est pas négligeable, mais beaucoup moindre qu'avec le sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ).
- Avec l'acide borique, les résultats sont aussi intéressants.

L'étude de la composition minérale des feuilles a fait l'objet de nombreuses déterminations dans les divers pays producteurs du Caoutchouc naturel. Cela nous a permis de mettre en évidence la relation entre les teneurs en Oligo-éléments des tissus et la productivité du latex.

D'après les résultats d'expérience sur terrain mené par BEAUFILS, on peut dire que les nouvelles exigences alimentaires

se créent lorsqu'après un apport d'éléments compensateurs, la production s'élève. Ces nouvelles exigences peuvent être dépendantes du sol. Il y a donc intérêt à contrôler périodiquement l'état des équilibres minéraux.

On a signalé également que dans certains cas où le sol est très dégradé (terres rouges décalcifiées par exemple) le problème est plus complexe; en vue de résoudre le problème bien défini on a recours à l'étude du sol pour compléter le diagnostic physiologique.

Sur le plan pratique, les laboratoires d'analyse minérale (Labo de l'IFC, RRIM, IRCC, IRCV etc...) ont exécuté de nombreux diagnostics physiologiques pour les plantations d'Hévéa afin de les guider notamment dans leurs apports d'engrais. On cherche non seulement à assurer la meilleure nutrition minérale par apport d'engrais classiques, mais aussi à stimuler rapidement la production du Caoutchouc en injectant des Oligo-éléments nécessaires.

En 1957, l'IRCI avait signalé que la stimulation fait augmenter annuellement de 900Kg par hectare en 1956 à près de 3.500Kg par hectare en 1957, c'est grâce à des injections avec les produits à base d'Oligo-éléments tel que  $CuSO_4$  (Rapp. ann. IRCI 1957). Il existe des influences très rapides et parfois très substantielles de l'action des apports compensateurs sur la production. A titre d'exemple la Société du Caoutchouc d'Extrême Orient (Viet-Nam) après apport de 100Kg/ha de sulfate de potassium et 6Kg/ha de sulfate de cuivre, la plantation atteint

une surproduction moyenne annuelle de 71,5% (rapport ann. IRCI 1957).

On a montré que, le bore sous forme de l'acide borique, comme le cuivre sous forme de  $\text{CuSO}_4$  est susceptible de stimuler la production. L'essai fut monté dans la Société des Plantations et Pneumatiques MICHELIN au Viet-Nam et on a constaté que le bore sous forme de l'acide borique a une action directe sur l'assimilation du potasse qui favorise la production du latex (31). On a injecté sur 3 paires de jumeaux d'Avros 256 illégitimes. Trois arbres sont injectés (de 4g d'acide borique par arbre/an) tandis que les 3 autres sont gardés comme témoins. Aucun engrais n'est apporté à ces arbres. L'analyse effectuée en Juillet période de refoliation, montre que la teneur en bore est faible, la production descend, on laisse reposer les arbres. Vers la fin de la saison des pluies, la teneur en bore est forte et la production du latex augmente également (31).

Le tableau XVII ci-dessous montre l'influence du cuivre sur la productivité de l'Révéea

Tableau XVII - Bilan de rendement en Caoutchouc (exprimé en Kg/arbre/an des 7 années de double injections (2 fois/an) avec  $\text{CuSO}_4$  :

Années	Série témoins Kg/arbre/an	Série traitée avec $\text{CuSO}_4$ Kg/arbre/an	Surproduction observée en Kg/arbre/an
1950	4,40	6,36	+ 1,96
1951	5,06	6,40	+ 1,34
1952	5,76	6,28	+ 0,52
1953	4,06	5,20	+ 1,14
1954	5,33	6,43	+ 1,10
1955	5,63	6,90	+ 1,27
1956	4,22	4,81	+ 0,59

On a remarqué que les résultats sont tous positifs pour les 7 années d'essai. On peut donc supposer que le cuivre est un Oligo-élément qui peut stimuler la production du Caoutchouc.

(Rapp. ann. IRCI 1956 P.116)

De 1959 à 1963, les travaux d'expérience de l'IRCC dans le but de rechercher l'influence de l'Oligo-élément "Cu" sur la productivité de l'Hévéa, donnent des résultats suivants :

1/ Rendement moyen à l'hectare avec clone Tjrl, Saignée J/4, J/5, J/5.

Témoins non stimulés  $\longrightarrow$  1.520Kg/ha/an

Stimulés avec  $\text{CuSO}_4$   $\longrightarrow$  1.580Kg/ha/an

2/ Rendement moyen avec clone Tjrl saignée H/3, J/4

Témoins non stimulés  $\longrightarrow$  1.770Kg/ha/an

Stimulés avec  $\text{CuSO}_4$   $\longrightarrow$  2.025Kg/ha/an

(Rapp. ann. IRCC 1963 P.39)

Au Viet-Nam, dans la station expérimentale de LAIKHE en 1952, les essais de stimulation avec  $\text{CuSO}_4$  sur le clone Av 50 donne le résultat suivant :

rendement de la parcelle témoin = 1.500Kg/ha/an

rendement de la parcelle injectée = 1.500Kg/ha/an

(Rapp. ann. IRCI 1952 P.75)

En 1953, TIXIEN avait trouvé que les Oligo-éléments Cuivre et Bore ont une influence notable sur la productivité du Caoutchouc.

Cependant le Cuivre est meilleur que le Bore, car d'après le

résultat de ses travaux d'expérience il a trouvé comme suit :

- l'injection au  $\text{CuSO}_4$  donne une surproduction relative de 53,3%
- l'injection à l'acide borique donne une surproduction de 15,9%

(Rapp. ann. IRCI 1955 P.111)

A Tapao (Cambodge) nous avons noté que la stimulation avec  $\text{CuSO}_4$  pour les clones AVROS 308 et PB86 donne un bon résultat.

Avant la stimulation on a 82,0g de latex/arbre/saignée

Après la stimulation  $\text{CuSO}_4$  on a 251,0g de latex/arbre/saignée

Ces chiffres sont obtenus à partir de la moyenne des productions par arbre et par saignée sur la même parcelle contenant des AVROS 308 et PB 86 (Rapp. ann. IRCC 1963)

De ce qui précède, il est utile de penser que certains Oligo-éléments ont une influence considérable sur la productivité des cultures tropicales et en particulier sur la productivité du Caoutchouc.

## CHAPITRE TROISIEME

### MODIFICATION DU TAUX D'OLIGO-ELEMENTS

#### I - FUMURE MINERALE, APPORT AU SOL CLASSIQUE

##### A - CAS DES CULTURES TROPICALES EN GENERAL :

###### 1/ Cas général :

BERTRAND (15) a remarqué que l'effet des Oligo-éléments est en général d'autant plus grand que la quantité mise à la disposition de l'être vivant, mais au delà d'une certaine valeur un effet toxique se manifeste et efface l'effet utile. Il existe donc une concentration optimale pour obtenir l'effet maximal. On a noté que cet optimum de concentration nutritive dépend de l'effet recherché et varie avec les espèces. Par exemple il faut <sup>plus</sup> de Molybdène pour une terre acide que pour une terre alcaline (15); ce qui s'explique facilement par le peu de solubilité des sels de Molybdène en milieu acide. C'est inverse pour le Manganèse, si bien que le chaulage peut faire disparaître le symptôme de Carence en Molybdène, mais peut entraîner par contre de grave trouble pathologique par la déficience en Manganèse (15). Il existe aussi d'autres exemples qui montre pour une certaine dose d'Oligo-élément on peut corriger la déficience ou Carence chez les plantes en général. La carence en Manganèse peut être traitée par le sulfate de Manganèse de 40 à 60 livres par acre en pulvérisant 0,5 à 2% de solution de sulfate de Manganèse sur

les plantes carencées (68). La déficience en bore peut être traitée par 1<sup>re</sup> application de 15 à 30 livres (de 7,5 à 15Kg) par acre de superphosphate boraté (68).

CARTER a noté que les premières sources de bore soluble pouvant servir comme fumure minérale sont :

- le borax ( $\text{Na}_2 \text{B}_4\text{O}_7 - 10\text{H}_2\text{O}$ ) qui contient 11,3% de bore
- le borate fertilisé à haute quantité ( $\text{Na}_2 \text{B}_4\text{O}_7 - 5\text{H}_2\text{O}$ ) qui contient 14,3% de bore
- le borate fertilisé et concentré ( $\text{Na}_2 \text{B}_4\text{O}_7$ ) ou anhydre qui contient 20% de bore
- le solubore (Mixture de  $\text{Na}_2 \text{B}_2\text{O}_3 - 4\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{Na}_2 \text{B}_4\text{O}_7 - 5\text{H}_2\text{O}$ ) qui contient 20% de bore (très soluble)
- le borate de calcium : Colimanite ( $\text{B}_5 \text{O}_4 \text{Ca}_2$ ); Borocalcite ( $\text{B}_4 \text{O}_7 \text{Ca}$ ) qui contient 10% de bore.

Le tableau XVIII ci-dessous montre la possibilité de corriger la Carence en Cuivre pour les plantes en général.

(Voir tableau page 90)

Tableau XVIII - Correction de Carence en Cuivre.

(Tableau établi par WALTHAM-MASS (144) )

Type du sol	Traitement	Remarques sur les plantes	Cu en mg/Kg de m.s
Sol sableux	Contrôle	Plante anormale, Symptôme de Carence en Cu	0,9
- id -	50mg de $\text{CuSO}_4$ /2Kg de sol	Plante revient normale	3,0
Sol alluvial	Contrôle	Plante, symptôme de carence en Cu	0,7
- id -	50mg de $\text{CuSO}_4$ /2Kg du sol	Plante revient normale	1,3
Sol alluvial	Contrôle	Plante symptôme de carence en Cu	0,9
- id -	100Kg de $\text{CuSO}_4$ /ha	Plante revient normale	1,6
Sol alluvial	Contrôle	Plante symptôme de carence en Cu	< 1
- id -	100Kg de $\text{CuSO}_4$ /ha	Plante revient normale	1,2
Sol argileux	Contrôle	Plante symptôme de carence en Cu	< 6
- id -	100Kg de $\text{CuSO}_4$ /ha	Plante revient normale	6
Sol Zecland	Contrôle	Plante symptôme de carence en Cu	< 2
- id -	100Kg de $\text{CuSO}_4$ /ha	Plante revient normale	2,5

La carence en Oligo-éléments (B, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo) peut être traitée par les fumures classiques de la façon suivante (68) :

Carence en Bore, peut être traitée par l'application de 40 à 60

livres/acre du borate ( $\text{Na}_2 \text{B}_4\text{O}_7 - 10\text{H}_2\text{O}$ ) ou de superphosphate boraté. Carence en Manganèse, par application de 40 à 60 livres de sulfate de Manganèse par acre. On peut utiliser 4 types de produits à base de Manganèse qui sont :

- Sulfate de Manganèse ( $\text{MnSO}_4 - 4\text{H}_2\text{O}$ )
- Oxyde de Manganèse ( $\text{MnO}$ )
- Sulfate de Manganèse ( $\text{MnSO}_4$ )
- Sulfate de Manganèse monohydraté ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- Carence en fer peut être traitée par le complexe ferrique, chélate de fer (EDTAFE)
- Carence en Cu peut être traitée par les fongicides à base de Cu
- ----- Zn ----- pulvérisation avec 0,5 à 1,5 livres de Sulfate de zinc
- Carence en Mo peut être traitée par l'application de 2 à 4 livres de Molybdate de Sodium/acre.

## 2/ Cas de l'arachide :

Pour l'arachide, les fumures à base de Molybdène telles que "Molybdate-d'ammonium" donnent le meilleur résultat (87). L'application de 10Kg de Molybdate d'ammoniaque par hectare d'arachide peut donner un rendement de 220Kg/ha d'arachide (109).

## 3/ Cas du riz :

Pour le riz, on peut corriger la carence en zinc en appliquant à la rizière 3 à 7 livres de sulfates de zinc par acre (27). Les fumures à base de cuivre, de manganèse et du zinc

peuvent augmenter le rendement du riz (116).

#### 4/ Cas du Maïs :

Pour le maïs, les fumures à base de zinc lui conviennent très bien. Les essais sur le maïs sucré ont montré que l'application de 5,5Kg/ha de zinc peut être efficace pour 6 ou 7 cultures successives et que 27,5Kg/ha de zinc ont une action qui peut se prolonger au delà de 10 cultures successives (23).

#### 5/ Cas des Haricots :

Sur les sols déficients en Molybdène et cuivre, les meilleurs résultats ont été obtenus avec des applications de 1mg de Molybdène et 10mg de cuivre par kg de sol. Le rendement des haricots a été augmenté de 37,70%. Lorsque les éléments ont été appliqués individuellement, le cuivre s'est montré plus efficace que le Molybdène. Les traitements avec Mo et Cu augmentent les teneurs en chlorophylle et Caroténoïdes, de même que l'activité de la polyphénol-oxydase dans les feuilles. Le Molybdène améliore la teneur en azote des graines des haricots. Les fumures à base des 2 éléments Mo et Cu n'ont fait preuve d'aucune activité antagoniste (155).

#### 6/ Cas du Cotonnier :

Les fumures à base de Manganèse, du zinc et de bore améliorent le rendement du cotonnier. Ces augmentations traduisent une carence en Oligo-éléments des sols ayant servi à l'expérimentation (116). JOHAN a remarqué que si l'on applique les engrais à base de Mn au sol, le Manganèse absorbé par les racines

peut s'accumuler dans les feuilles. Mais si on applique directement aux feuilles (par pulvérisation foliaire) le Manganèse reste dans les feuilles et la translocation se fait très peu ou bien ne se fait même pas au niveau du stème et des racines (69).

#### 7/ Cas du soja :

Les fumures à base de Molybdène peuvent augmenter considérablement les récoltes de soja (68 à 250g de Mo/ha (15) ).

L'application de 11Kg/ha d'engrais à base de zinc au sol à faible teneur en azote a augmenté le rendement de 69Kg/ha de soja. On a constaté que le zinc seul donne un rendement plus élevé que l'azote sans zinc malgré que l'azote peut élever l'absorption de zinc du sol (101).

#### 8/ Discussion sur fumure :

L'emploi éventuel de l'un des Oligo-éléments essentiels, ou de plusieurs d'entre eux, pose dans la pratique des problèmes souvent délicats qui ne peuvent être résolus avec profit que si l'on tient compte des diverses notions qui viennent d'être citées.

Pratiquement, le problème peut être posé à l'origine par un défaut du rendement d'une certaine espèce végétale qui ne peut être corrigé ni par le chaulage, ni par l'apport des éléments fondamentaux N.P.K. ni par la correction d'une carence éventuelle en Mg ou en S. Dans un tel cas on doit penser, soit à des conditions toxiques, soit à une carence en Oligo-éléments. L'analyse du sol pour déterminer les quantités présentes et des

quantités assimilables des Oligo-éléments, permettra de mieux orienter le travail. Si la teneur en Oligo-élément essentiel est particulièrement basse, il y aura probabilité pour qu'une carence en cet Oligo-élément soit en cause. Dans ce cas, l'analyse de la plante et la comparaison de sa teneur en élément considéré avec les teneurs habituelles (normales) de cette plante cultivée dans de bonnes conditions, sur des sols fertiles, permettront de confirmer ou d'écarter la première conclusion.

Le problème peut être posé également si le développement de la plante est en retard et si les symptômes visuels de carence ou de toxicité ont été reconnus. Si les signes sont caractéristiques d'une carence comme, il conviendra de doser dans la plante l'élément dont la carence a été diagnostiquée et si l'analyse confirme le diagnostic, on fera la détermination des formes assimilables de l'élément dans le sol, afin de savoir s'il s'agit d'un défaut de l'élément ou d'une carence conditionnée. Dans les deux éventualités considérées, l'opportunité d'emploi d'un Oligo-élément, à titre d'aliment de la plante, ne peut être décidée qu'à partir de la présomption qui déroule uniquement soit de l'apparition de signes visuels bien caractéristiques, soit de l'analyse du sol.

L'emploi d'un Oligo-élément est donc subordonné à la confrontation des résultats de trois méthodes (analyse du sol, analyse des plantes, symptômes visuels) d'investigation qui se

complètent mutuellement. S'il fallait donner une référence à l'une d'entre-elles, il faudrait choisir sans doute l'analyse de la plante.

L'absorption des Oligo-éléments par les racines ne dépend pas seulement de la quantité de cet élément qui est présente à l'état assimilable dans le sol, mais aussi qu'on l'a vu plus haut les conditions diverses parmi lesquelles nous citons :

- l'influence du pH
- le potentiel d'oxydo-réduction
- la nature et les proportions des matières organiques
- l'antagonisme des éléments
- l'activité microbienne
- les conditions climatiques

La nutrition en Oligo-éléments est, en somme, sous la dépendance complexe d'une série d'intégration. Ainsi c'est l'analyse de la plante qui donne les renseignements les plus valables sur l'assimilation de l'élément envisagé, dans les conditions considérées.

Lorsqu'une carence en <sup>un</sup> Oligo-élément n'est pas provoquée par sa présence en trop faible proportion, mais c'est une carence conditionnée ou secondaire, le moyen le plus économique et le plus efficace pour y remédier, sera de changer les conditions du milieu qui restreignent son absorption.

La correction des conditions du milieu défavorables à l'absorption d'un Oligo-élément est facile à réaliser lorsqu'elle

consiste, par exemple, à diminuer une fumure phosphorique trop importante (qui peut induire plusieurs carences = en Fe, en Zn, en Cu (LAVOLLAY) ) ou bien lorsqu'il suffit de neutraliser une trop grande acidité du sol (qui provoque la carence en Mo (LAVOLLAY)). Mais dans certains cas, la correction du milieu est très difficile à réaliser par exemple le cas de carence en bore résultant d'un excès de calcaire, qu'il est impossible de détruire. Dans ce cas particulier LAVOLLAY a recommandé d'augmenter autant que possible le taux des matières organiques.

De même, lorsqu'une carence en fer a pour cause un excès de Mn assimilable, l'élimination de la cause réelle de carence (excès de Mn) est difficilement obtenue. Dans de tel cas, LAVOLLAY a trouvé un procédé plus simple et plus économique c'est la pulvérisation directe sur le feuillage, une solution d'un sel d'Oligo-élément.

Ex : Solution de Sulfate de fer. On peut aussi utiliser les méthodes d'injection dans les tissus même de la plante. Il est possible d'insérer des comprimés d'un sel de l'Oligo-élément dont il manque.

En résumé, les problèmes pratiques concernant l'emploi des Oligo-éléments essentiels ne peuvent être résolus de façon rationnelle et productive que par une analyse approfondie de la situation qui doit associer de façon étroite les méthodes du physiologiste et celles du chimiste, c'est à dire l'examen de la plante et du rendement, et le résultat de l'analyse de la plante, l'analyse du sol et l'examen de ses propriétés.

B - CAS PARTICULIER DE L'HEVEA BRASILIENSIS :

En Malaisie, on a noté que pour corriger la carence en Mn chez l'Hevéa, on utilise comme fumure, le sulfate de manganèse pour la carence en cuivre, le sulfate de cuivre (35). On a remarqué également que le chaulage peut corriger la carence en Molybdène pour les plantes de couvertures telles que Puéraria, Phaséolides et Centrosema pubescens. Et l'application de la fumure phosphatée, du Manganèse et du sulfate peut causer la carence en Molybdène pour la plante d'Hevéa.

A titre d'essai, on a préconisé en Indonésie, l'apport des fumures classiques de la façon suivante (35):

- pour les sols volcaniques et latéritiques jeunes ou assez jeunes et peu dégradés on applique 1kg de  $SO_4 Am^2$  par arbre ( $Am^2$  représente le nom d'un autre métal composé avec  $SO_4$  par ex: Cu ou Mn, ou Fe etc... pour obtenir un type d'engrais composé à base de  $SO_4$ ; le  $Am^2$  sera donc remplacé par un Oligo-élément qu'on va utiliser pour corriger la carence du sol en cet élément).
- Pour les sols latéritiques assez âgés, issus du matériel volcanique ayant des teneurs honorables en potasse (pas de réaction pour engrais potassique) on applique  $\frac{3}{4}$  de Kg de  $SO_4 Am^2 + \frac{1}{4}$  de Kg de super-phosphate (formule 6 - 4 - 0)
- Pour les sols latéritiques âgés, d'origine volcanique présentant des déficiences en P et K on applique  $\frac{1}{2}$  Kg de  $SO_4 Am^2 + \frac{1}{4}$  de super-phosphate +  $\frac{1}{4}$  de KCl ou  $SO_4 K_2$  (de formule 4 - 4 - 5);

- Pour les sols latéritiques très âgés, d'origine volcanique présentant des déficiences graves en K et P on applique  $\frac{1}{4}$  de Kg de  $SO_4$  +  $\frac{1}{4}$  de Kg de superphosphate +  $\frac{1}{2}$  Kg de KCl ou  $SO_4 K_2$  (formule 2 - 4 - 10).
- Pour les sols latéritiques argileux et types de sols voisins issus de roches tertiaires on applique 1Kg de  $SO_4 Am^2$ .

D'après les rapports de l'IRCI 1952 et 1953, les fumures potassiques abaissent la teneur en Manganèse des feuilles et augmentent la teneur en cuivre. Ces rapports ont bien signalé que le seul motif de fumure composé "PK" abaisse 36% de la teneur en Manganèse et augmente 29% de la teneur en cuivre des feuillages.

Au cours de notre pratique dans la plantation d'Hévée à Tapao (Cambodge) en 1964, nous avons pu remarquer que les Hévées plantés sur sols relativement riches (terre rouge basaltique de Tapao par exemple) n'ont pas tellement besoins des fumures classiques pour les fertilisations du sol. Cependant, on a besoin également des engrais pour modifier le métabolisme de la plante. Au Cambodge malgré que les terres volcaniques sont assez riches en Oligo-élément, il existe aussi certaines plantations d'Hévée, telles que la Plantation de Méasot qui a besoin d'utiliser la fumure classique comme fertilisant du sol. L'usage des Oligo-éléments tels que le Cuivre est très important au Cambodge pour stimuler la production du latex et lutter contre certaines maladies. Dans les zones de terres rouges basaltiques, très riches en éléments minéraux en particulier Cu et Mn, il faut faire

attention sur l'excès en ces éléments fertilisants qui peut causer aussi une action néfaste à la production du latex, à la croissance et à la maladie de l'Hévéa.

On a souvent recommandé de tenir compte des antagonismes existant entre certains éléments, avant d'appliquer les engrais classiques au sol. Nous connaissons déjà l'antagonisme entre le calcium et le cuivre. Le cuivre sera épanché en même temps que l'azote et le potasse et non avec le calcium. Cette recommandation attire notre attention sur les terres rouges basaltiques du Cambodge qui sont déjà riches en éléments minéraux, mais très sensibles à des déséquilibres minéraux; d'où la nécessité d'appliquer les travaux de diagnostic physiologique pour aider les plantes à vivre dans les meilleures conditions.

#### C - SYNTHÈSE :

La modification du taux d'Oligo-éléments doit être faite d'une façon très prudente. Car l'application des fumures sans tenir compte des conditions du milieu et celles des plantes peut entraîner des conséquences néfastes. Avant d'ajouter tels ou tels éléments à la plante, il faut se demander si la plante a besoin de cet élément. On ajoute des Oligo-éléments à une plante, lorsque cette plante a besoin de ces Oligo-éléments; sinon l'effet toxique pourra se produire ou bien le déséquilibre minéral apparaîtra à cause des antagonismes entre les divers éléments.

Normalement on donne un élément à la plante lorsqu'on est sûr que la teneur de cet élément dans la plante est bien au dessous du niveau critique (teneur maximum nécessaire). C'est pour cette raison qu'il faut bien connaître les influences de l'origine du sol, du type de sol, de sa texture, de son acidité, de son comportement vis à vis des plantes. Par exemple l'application des fumures à base de Mo à l'arachide ne peut donner le meilleur rendement que lorsque l'arachide de la région considérée est vraiment besoin de Molybdène. Par exemple les fumures à base de Mn, de Zn et de B améliorent le rendement du Cotonnier lorsque ce Cotonnier pousse dans l'endroit où la carence de ces Oligo-éléments se manifeste.

Les observations sur l'Hévéa au cours de notre stage pratique à Tapao (Cambodge) montre bien que dans les terres rouges basaltiques, assez riches en Oligo-éléments, les plantes n'ont pas tellement besoins des engrais. Cependant, on utilise une certaine dose d'engrais tout simplement pour aider les plantes à modifier leur métabolisme. En effet pour l'usage des fumures minérales à base d'Oligo-élément, il est nécessaire de préconiser les travaux de diagnostic physiologique pour bien connaître le besoin de la plante en tel ou tel élément pour accroître la productivité.

## II - FORMES CHELATEES .

### A - GENERALITE :

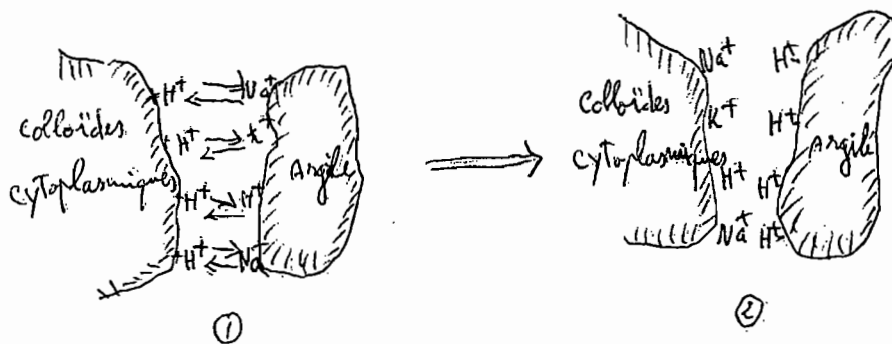
Le végétal utilise non pas des éléments à proprement parler, mais des ions; par exemple pour le potassium, ce n'est pas le métal K qui assure la nutrition de la plante, mais le cation  $K^+$  qui produit d'une association telle que :



Ceci explique que la forme la plus courante sous laquelle les éléments doivent être formés est celle du sel : par exemple phosphates, sulfates etc... ou l'acide faible : par exemple l'acide borique ( $H_3BO_3$ ). (Pour la raison du pH, cela ne peut pas être des acides forts).

Ces ions peuvent être fournis par 3 moyens :

- 1/ ils peuvent être dissous dans la solution nutritive
- 2/ ils peuvent être absorbés par des Colloïdes, c'est à dire fixés à leur surface, avec possibilité d'échange entre les ions absorbés (pénétrés superficiellement) par un Colloïde et ceux dissous dans la phase de dispersion. Les Colloïdes du sol, minéraux (argile) ou organiques (humus), jouent un rôle essentiel dans ces "échanges de bases" selon le langage des agronomes qui s'effectue conformément au Schéma ci-dessous

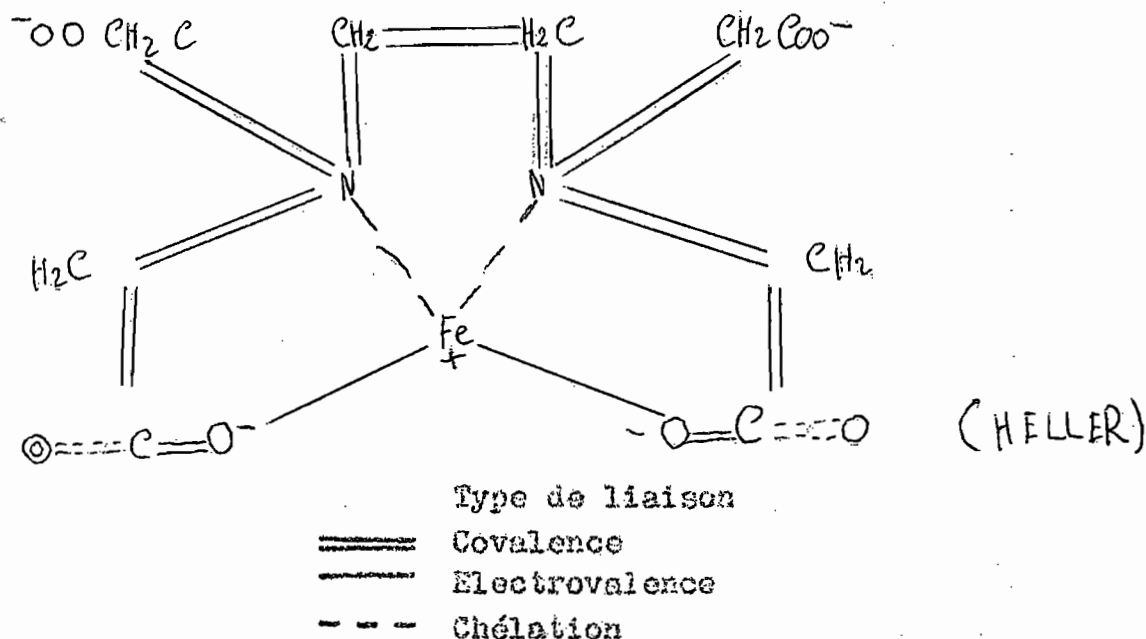


3/ Ils peuvent enfin être Chélatés (complexés ou fixés) par des chélateurs formant ainsi des chélates (1) .

Nous insistons maintenant sous la forme chélates qui est moins classique mais très intéressant à connaître.

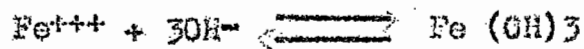
Chélate vient du mot Grec "Khêlaté" qui signifie pince. Donc chélater signifie pincer; et chélation signifie l'action de pincer ou fixer comme les pinces.

Les chélates sont donc des complexes particuliers caractérisés par la présence d'un ou de plusieurs cycles, insérant l'atome complexé dans une sorte de pince. Tandis que la chélation est une liaison entre l'hydrogène et un autre molécule. La nature de liaison qui unissent le métal chélaté à son chélateur peut être variable, mais la plus souvent est la liaison du type Hydrogène d'où le nom liaison hydrogène intramoléculaire. Il peut y avoir plusieurs cycles, et la nature des liaisons peut varier d'un cycle à l'autre. Le Schéma de HELLER (66) ci-après nous montre la forme de Chélate réalisé entre le fer et l'Acide Ethylène Diamine Tétra-Acétique (EDTA).



Le fer est relié aux atomes d'N par 2 liaisons de ché-  
lations, assimilables à des liaisons d'R. Le fer est aussi relié  
aux autres atomes d'C par des liaisons saturées (électrovalence).  
Si le fer est ferrigue, il garde une charge + non assaiilée.  
L'intérêt de cette chélation est que le métal se trouve retenu  
dans le reste de la molécule par un ensemble de liaisons. Cela  
est plus efficace qu'il s'agissait d'un sel.

La rétention est forte lorsqu'il s'agissait de cycles à  
cinq côtés et plusieurs cycles insérant le métal tel que le cas  
de l'EDTA avec le Fe. Celui-ci peut échapper aux réactions qui  
le solliciteraient s'il n'était lié que par des électrovalences  
comme dans les sels. L'exemple du fer est particulièrement ty-  
pique à cet égard.



(Cette forme n'est pas stable)

Dans ce cas, le fer précipite en quelques heures ou quelques  
jours et les expérimentateurs sont obligés de renouveler périodi-  
quement le fer du milieu de cultures lorsque le pH augmente au  
dessus de 6. Au contraire, si l'on a ajouté un chélateur (EDTA  
par exemple) les liaisons de la chélation ne peuvent pas être  
rompues par l'hydrolyse et le fer reste disponible dans le milieu  
sous forme d'une chélate, même si le pH augmente au delà de la  
neutralité.

Le fer pénètre dans la plante mieux sous forme de chélate  
que sous une autre forme et ensuite il est mis à la disposition  
des cellules.

Pour le fer et le manganèse qui sont des Cations à valences multiples on a recommandé d'utiliser la forme à valence la plus élevée : par exemple  $Fe^{+++}$ . Ces préférences relèvent selon les cas soit d'une simple question de pénétration, soit d'une possibilité plus ou moins grande d'intégration dans les phénomènes métaboliques.

Il est très difficile d'établir une forme fixe pour marquer une forme utile et une forme toxique des Oligo-éléments pour les plantes car les sols possèdent un pouvoir de chélation et une action chimique autant plus accentuée que les quantités de sels mises sont plus fortes.

D'après les travaux d'expériences et d'analyse effectuées par plusieurs chercheurs tels que SORWAY (133), PREVOT (109, 110, 111) nous avons constaté que, dans certains cas, les Oligo-éléments tels que Fe, Cu, Mn, Zn ne sont pas assimilables par la plante malgré sa teneur assez élevée dans le sol. Cela nécessite l'emploi d'engrais sous forme de chélates.

Pour l'arachide, le palmier à huile et le cocotier, PREVOT (109) a recommandé d'apporter d'Oligo-éléments chélatés au maximum 300g à l'hectare s'il s'agissait du Manganèse; et 15g à l'hectare s'il s'agissait du Molybdène.

Pour le Caféier, LOUE (79) a remarqué qu'au Brésil, on a des résultats intéressants avec des applications de chélate de Fer ou de Manganèse.

SORWAY (133) attire l'attention sur la solubilité de

Manganèse dans l'eau et dans les solutions d'acides très étendues. Il a précisé que, dans certains sols, les acides formés durant la décomposition des matières organiques dissolvent le Manganèse pour le faire combiner avec eux. Ce métal qui est dans certains cas, attaqué par les acides organiques, ne peut pas être assimilable par la plante. Ce fait nous a permis de supposer que la chélate joue un rôle très important dans le cas où la plante ne peut pas absorber les matières minérales du sol et en particulier les oligo-éléments.

Pour les plantes en général, on a remarqué que les acides aminopoly-Carboxyliques : Acides éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA), Hydroxéthyl Ethylène Diamine Triacétique (HEEDTA), Diéthylène-Triamine-Penta Acétique (DEPA), forment avec les métaux des complexes utilisés pour combattre les chloroses. Ils ont donc des effets possibles d'antibiotiques agissant comme agents de chélation (51).

WALLACE (146) a constaté que la chélate de zinc répond seulement pour les plantes établies sur les sols sableux. La chélate de Zn HEEDTA décroît la teneur de Manganèse dans la plante; comme cela est très connu pour les autres agents de chélation, il est possible d'utiliser ce type de chélate pour relever la toxicité de Manganèse dans les plantes.

On a constaté également que l'application du sol, du composé chélaté de Zn et de l'EDTA au moment de la plantation

donne des résultats variables suivant la teneur en argile du sol (25). L'analyse montre que, chez les plantes cultivées sur sol sableux, les teneurs en zinc (Zn) et en cuivre (Cu) augmentent. En sols limoneux compacts, on ne constate pas d'augmentation des teneurs en Zn et en Cu des plantes, même si l'on applique jusqu'à 50ppm de zinc (25).

Dans certains cas, on a remarqué que la plante ne peut pas absorber les métaux (Oligo-éléments nécessaire à la vie des plantes par exemple) du sol malgré que ces métaux ne manquent pas dans le sol. Dans ce cas on a constaté que les séquestrants ou complexes chélatés peuvent aider la plante à absorber les éléments dont elle a besoin. Car ce chélate a la propriété d'isoler, de retenir certaines substances susceptibles de devenir nuisible. Sa principale propriété est de maintenir à l'état dissous et de rendre assimilable par les plantes au contact soit du sol ou eau soit des amino-acides des végétaux pour l'alimentation. On conçoit que cette action de chélates puisse acquérir une certaine importance en Agriculture, notamment dans l'emploi des Oligo-éléments dans le sol ou sur la plante; soit dans le but de combattre les carences minérales, soit pour accroître ou équilibrer l'alimentation végétale par les pulvérisations foliaires (95, 96). C'est ainsi qu'on a utilisé avec succès, les chélates, dans la guérison de certaines chloroses qui résistent aux traitements classiques aux sels de fer et qui ont cédé lorsque ceux-ci ont été complétés par l'addition de chélates (EDTA,

DTPA, HEEDTA etc...) qui empêche le fer de précipiter et le maintiennent à l'état assimilable même en terre calcaire et à pH élevé. Ces produits ont donné lieu à de nombreuses études aux U.S.A. où plusieurs fermes les offrent déjà aux agricultures.

Les doses de HEEDTA, DTPA utilisées dans le sol dépend du pH et du degré de chlorose (en moyenne de 60 à 80 livres par acre) (96). Ces produits redonnent aux feuilles leur couleur verte, stimulent la croissance et augmentent le taux de chlorophylle et les rendements.

On a constaté également que la chélate de fer peut aider la vaporisation foliaire pour les plantes carencées la dose de 250g à 500g de l'acide ferrique (Fe EDTA) peut dresser la chlorose provoquée par la Carence en fer chez les arbres fruitiers (19).

B - DISCUSSION ET SYNTHÈSE :

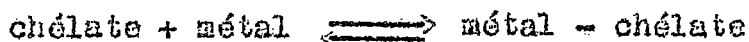
LAVOLLAY constate que le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le bore et le molybdène sont des constituants habituels du sol, mais que cependant, les plantes en certains cas ne parviennent pas à obtenir suffisamment pour assurer leur nutrition correcte. Il est très rare que le sol ne renferme pas, à l'état de combinaison très diverses, des quantités suffisantes des Oligo-éléments essentiels. La carence absolue est également rare; cependant elle peut intervenir, par exemple, sur des sols sableux très pauvres.

Très souvent, des carences apparaissent alors que le sol est relativement riche en l'élément considéré. C'est ce qui arrive dans le cas du fer ou du manganèse parce que certaines formes ou combinaisons de ces éléments ne peuvent être assimilées par les plantes. La carence qui intervient dans le cas semblable résulte de l'absence ou de l'insuffisance des formes assimilables dans le sol. A titre d'exemple LAVOLLAY a cité le cas du bioxyde de manganèse ( $MnO_2$ ) très répandu dans le sol, et pratiquement inutilisable pour la nutrition des plantes. C'est pour cette raison que la fabrication industrielle de certains complexes d'Oligo-éléments chélatés a été entreprises.

A titre exemple, on peut citer le cas de fer qui, à l'état chélaté par des substances du type EDTA (éthylène-diamine-tétraacétique acide) est utilisé avec grand profit pour apporter du fer assimilable à des sols chlorocents. LAVOLLAY a trouvé que,

l'apport de 1g de fer sous forme chélatée équivaut à l'apport de près de 500g de fer apportés à l'état de Sulfate.

D'après BOYER les chélates sont des anions organiques capables de donner avec les métaux divalents des complexes très solubles et très stables. Il en résulte que ces métaux peuvent rester en solution dans un milieu où ils précipitent; par exemple le fer ne s'insolubilise plus sous forme de phosphate ou d'hydroxyde lorsqu'il est chélaté. Les métaux ainsi complexés, ne peuvent plus être décelés et dosés par leurs réactifs spécifiques on dit qu'ils sont séquestrés. Le complexe formé est très peu dissocié. Si l'on écrit la réaction de chélation on a :



Le rapport  $\frac{[\text{métal} - \text{chélate}]}{[\text{métal}] [\text{chélate}]}$  = K s'appelle la constante d'équilibre

Comme cette constante K est très élevée on a pris l'habitude de l'exprimer par son logarithme. C'est ainsi que dans le cas de la chélate EDTA le log K prend des valeurs suivantes :

$$K = 27 \text{ pour le Fe}$$

$$K = 18,5 \text{ pour le Cu}$$

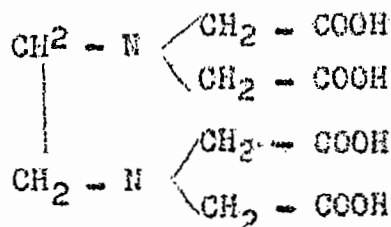
$$K = 16,1 \text{ pour le Zn}$$

Il est à noter que, plus le log K est grand, plus la chélate est stable; cet équilibre est influencé par différents facteurs en particulier le pH et la température; Ex: Fe - EDTA est plus stable en milieu acide qu'en milieu basique.

Les chélates les plus couramment étudiées sont des acides polyaminocarboxyliques.

- 1/ Les plus importants dont les noms désignés en anglais sont : EDTA (Ethylène Diamine Tétracétique Acide). Ses applications pratiques sont déjà nombreuses : c'est ainsi que la chélate de Fer Fe-EDTA qui est utilisée dans le traitement des chloroses est déjà vendue dans le commerce sous les noms les plus variés : Versène, Sequestène, Ferrosène etc...

La formule développée de EDTA est la suivante :



- 2/ HE.EDTA : Hydroxy-Ethyl-Ethylène Diamine Triacétique Acid.  
3/ D.T.P.A.: Diéthylène Triamine pentaacétique  
4/ C.D.T.A.: Cyclohexane 1-2 diamino-tétracétique Acid.  
5/ A.P.C.A.: Aromatique Polyamine Carboxylique Acid.

Nous prenons simplement un cas particulier dans lequel l'emploi des chélates présente un grand intérêt agronomique : c'est le traitement des chloroses dues à une carence ferrugineuse (problème de fertilisation).

La technique de ce traitement qui relève à la fois de la fertilisation des sols, de la physiologie végétale et de la phytopathologie, ne constitue qu'une application particulière du problème général suivant : un élément nutritif M (métal) solubilisé sous la forme "Métal-chélate", cet élément est-il réellement assimilable par la plante. En tous cas, c'est le problème de la nutrition minérale et de l'absorption racinaire qui est posé dans le cas particulier des chélates.

Nous avons vu qu'un complexe M.Chélate est en général très stable et que sa dissociation en ions est négligeable. Or la parfaite assimilabilité de ce complexe est difficile à concilier avec la conception de l'absorption des éléments à l'état ionisé. On a supposé que, au contact des racines, il pouvait y avoir échange du métal (Fe de Fe-EDTA par exemple), entre la chélate, et un récepteur spécifique présent à la surface des cellules; mais il faudrait que ce récepteur ait une affinité extrêmement grande pour le métal pour pouvoir l'enlever au chélate; d'autre part la technique des traceurs a permis à WALLACE (d'après BOYER) de montrer qu'il y a séparation du Cation et de son anion complexant seulement dans la plante, après l'absorption racinaire.

De nombreux essais ont montré que le complexe Fe-EDTA par ex: est parfaitement absorbée et transportée dans la plante et que cette technique constitue un moyen très efficace pour guérir les plantes chlorotiques. Ces essais donnent des résultats comme suit :

En sol acide, le Fe-EDTA est très efficace et il suffit de 10 à 20g par arbre pour faire disparaître la chlorose; mais en sol calcaire basique, le complexe est beaucoup moins stable et il en faut des quantités beaucoup plus fortes (100 à 300g) pour obtenir un bon résultat. On suppose que dans ce cas il y a soit hydrolyse de Fe-EDTA et insolubilisation d'hydroxyde ferrique, soit absorption de la molécule entière du complexe par l'argile du sol.

Dans le cas des sols calcaires, on a constaté que CDTA et surtout APCA sont beaucoup plus efficaces que EDTA (BOYER). Le complexe Fe-APCA est très stable il n'est pas fixé par l'argile du sol, et il guérit parfaitement la maladie. On vient de remarquer que APCA est très intéressant, car il est beaucoup moins toxique pour les plantes que les autres chélatos (BOYER).

Le taux d'application peut être accru avec la hauteur de l'arbre et il peut atteindre 1 à 2Kg pour les très grands arbres.

L'application sur le sol est préférable (pour dose de 1g/l de Fe-EDTA) car la vaporisation sur les feuilles peut être nocive.

A partir de 2,2g/l de Fe-EDTA il y a une brûlure, chute des feuilles.

Les cacaoyers chlorotiques peuvent être traité avec succès par 1 à 5g de Ferrosène par jeune plante et par 60 à 240g/arbre adulte (Boyer basé sur essai de MURRAU 1953).

La chlorose due à l'excès de cuivre dans le sol à la suite de traitement répété avec des bouillies cupriques peut être traité par ce même procédé, même dans le cas pathologique dû à la carence d'Oligo-élément autre que le fer (Zn, Cu, Mn, Mo, B).

On a signalé également que les antibiotiques (Streptomycine, terramycine) ont des effets analogues à ceux des chélates il en serait peut être de même action de certaines substances de croissance (DUPRENOY signalé par Boyer).

### III - INJECTION .

#### A - HISTORIQUE DES TRAVAUX D'INJECTIONS

D'une façon générale, la faible teneur de fer, de manganèse de zinc et de cuivre se trouvant dans la partie superficielle du sol risque de ne pas parvenir à la portée des racines des plantes. C'est pour cette raison qu'on doit intervenir pour donner à la plante des Oligo-éléments nécessaires pour sa croissance et pour sa productivité. Il existe une méthode plus directe, c'est l'injection des Oligo-éléments dans le tronc ou dans les branches de l'arbre.

COMPAGNON (32) a cité les travaux de ROACH 1945 appliqué avec succès à des arbres fruitiers en vue de remédier à des carences visibles de ceux-ci.

En 1950, COMPAGNON (32) avait trouvé que les travaux d'injection semblent favorisé la formation du Caoutchouc dans les laticifères en apportant à l'arbre des divers Oligo-éléments. Les premiers résultats de ses travaux utilisant la méthode d'injection de ROACH montrent que le sulfate de Cuivre est l'un des substances les plus actives.

B - TRAVAUX D'INJECTION POUR LES COCOTIERS .

En 1966, FREMOND (57) a trouvé que la carence en fer chez les cocotiers peut être corrigée par l'injection directe de sels de fer dans le stipe. Cela fait augmenter la production mais risque d'entraîner des brûlures des feuilles et des jeunes fleurs femelles. Il est donc préférable d'effectuer les apports en concentrant le sulfate de fer dans un trou fait dans le sol à la base du stipe.

L'injection du Manganèse dans le stipe du cocotier améliore aussi la production.

C - TRAVAUX D'INJECTION POUR STIMULER LA PRODUCTION DE CAOUTCHOUC

α / Travaux de COMPAGNON .

En 1949, COMPAGNON (32) avait appliqué la méthode de ROACH en faisant des trous de 1cm de diamètre et de 4cm de profondeur dans le tronc d'arbre à traiter (2 trous par arbre) au niveau du début et de la fin de l'encoche, en marge du panneau de saignée. Les substances utilisées sont en comprimés. COMPAGNON a fait l'expérience sur des jumeaux; pour chaque motif il effectue l'expérience sur 2,3 ou 4 paires de jumeaux, un arbre par

paire étant injecté, l'autre servant de témoin. On sait avant que la production des jumeaux choisis était bien semblable. Les sels injectés sont : le sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ), le sulfate de manganèse ( $\text{MnSO}_4$ ) le sulfate de zinc ( $\text{ZnSO}_4$ ).

Avec le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  COMPAGNON a fait 4 expériences :

- 1/ sur 4 paires de jumeaux AV 30 illégitime fin Mai 1949
- 2/ sur 4 paires de jumeaux AV 36 illégitime mi-October 1949
- 3/ sur 3 paires de jumeaux AV 36 et 102 illégitime au 1<sup>er</sup> Décembre
- 4/ sur greffe Djl mi-Janvier 1950

La dose de sulfate de Cuivre est de 12g environ par arbre soit en gros 3g de Cuivre.

Les faits observés sont les suivants :

- a/ le passage du Cuivre au latex est extrêmement rapide (augmentation de teneur de Cuivre dans le latex).
- b/ le Cuivre produit une augmentation de volume du latex écoulé.

Dans l'expérience de Décembre, les 2 premières saignées expérimentales ont fourni 370 et 610<sup>cm</sup>3 pour la série traitée, contre 240 et 310<sup>cm</sup>3 pour la série témoin.

Dans l'expérience de Janvier les 2 premières saignées ont donné 600<sup>cm</sup>3 et 1.250<sup>cm</sup>3, alors que la saignée moyenne de témoin était de 495<sup>cm</sup>3. Cette augmentation de production du Caoutchouc reste toujours très appréciable de l'ordre de 50 à 60% pour une période de 4 mois.

On a remarqué également que vers le 5<sup>e</sup> mois la production

des arbres traités se trouve égale à celle des témoins (et même légèrement inférieur) mais a de nouveau avantage au cours du mois suivant notamment en Novembre qui est le mois de plus haute production. L'arrêt de saignée pendant la saison sèche semble avoir profité aux arbres traités. On a remarqué également que les arbres traités résistent bien à la tendance au brown-bast (arrêt de saignée 10 jours en Février).

Après 3 mois d'injection, on a observé que la période la plus haute production de l'année est Octobre, Novembre et Décembre.

Pour l'expérience de Décembre, 3 arbres traités (du 1<sup>er</sup> Décembre au 13 Mars) ont fourni comme ci-dessous :

- pour un arbre traité = 5Kg668 de Caoutchouc en moyenne
- pour un arbre témoin = 3Kg432 de Caoutchouc en moyenne
- gain de 2Kg236

Il est à retenir que la production des arbres traités semble moins affectée par la saignée de l'après midi que celle de témoins.

On a constaté également que l'effet maximum est obtenu pour l'injection effectué au niveau de l'encoche.

Avec injection de  $ZnSO_4$  COMPAGNON a constaté qu'il est résistant à la maladie BROWN-BAST, mais devenu brusquement sec, 10 jours après injection. Cependant il existe très peu de différence entre la production des arbres traités et celle des témoins

Un autre inconvénient c'est que la méthode par injection est une méthode brutale qui endommage les panneaux de saignée. Il se produit verticalement de part et d'autre du trou d'injection une NECROSE qui s'étend sur quelques centimètres, mais cette NECROSE ne se propage pas.

### B/ Travaux de BEAUFILS

En 1950, le laboratoire d'anatomie et de physiologie de l'IRCI a consacré une part de son activité aux travaux d'injection de substances diverses dans les tissus du bois de l'Hévéa. Le but de ces travaux était d'étudier l'influence des différents sels minéraux ou substances organiques sur la production de l'Hévéa. Nous allons montrer comme exemple les travaux d'expérience sur les injections de sulfate de cuivre effectués par BEAUFILS(5).

Le tableau ci-après illustre les teneurs en cuivre dans certains latex après application de  $\text{CuSO}_4$  à diverses distances d'encoche.

n° 1 injection à 10<sup>cm</sup> du sol

n° 2 injection à 25<sup>cm</sup> du sol

n° 3 injection au niveau de l'encoche de saignée

n° 4 injection à 50<sup>cm</sup> au dessus de l'encoche soit à 115<sup>cm</sup> du sol

n° 5 témoin non injecté

Les résultats de ces travaux d'injection (exprimés en mg pour 100g de latex) sont donnés dans le tableau XIX ci-dessus :

Tableau XIX - Teneur de Cuivre dans le latex après diverses  
modes d'injection de  $CuSO_4$  (5)

Date d'injection	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	Observations
19 - 1 - 1950	0,36	0,48	0,44	0,48	-	
26 - 1 - 1950	0,45	0,62	0,62	0,44	0,28	
9 - 2 - 1950	0,70	0,60	0,69	0,68	-	
28 - 2 - 1950	0,71	0,72	0,83	0,65	0,24	
2 - 3 - 1950	0,45	0,47	0,52	0,43	0,28	
14 - 3 - 1950	0,35	0,33	0,46	0,34	0,26	
31 - 3 - 1950	0,34	0,36	0,41	0,36	0,21	
14 - 4 - 1950	0,32	0,35	0,44	0,37	0,20	
26 - 4 - 1950	0,28	0,28	0,29	0,28	-	
10 - 5 - 1950	0,28	0,29	0,34	0,30	0,19	
31 - 5 - 1950	0,26	0,29	0,34	0,27	0,19	

Parmi ces types d'injection, BEAUPILS (5) a trouvé que l'injection au niveau de l'encoche de la saignée est celle qui agit le plus à la fois sur la production du latex et sur la teneur en cuivre. On a noté également que les éléments trouvés comme déficients au niveau des feuillages pourront être apportés par intermédiaire du sol (apport indirecte), tandis que les éléments mis en cause par de mauvais équilibre dans le latex pourront être apportés par injection (apport directe).

On fait donc appel au principe de l'injection pour apporter directement à l'arbre des éléments qui font défaut, par exemple le cuivre parmi des Oligo-éléments. Pendant des années on a considéré l'injection au sulfate de cuivre comme une stimulation de production du latex. La stimulation a donc, pour signification l'augmentation de production provoqué par un traitement défini de l'arbre. En principe toutes expériences telle que enduit hormonal sont considérés comme des traitements découlant logiquement des travaux de diagnostic physiologique et de ses applications.

#### ∞ Travaux de DECONINCK

A partir de 1966, dans le but de vérifier si la stimulation cumulée (hormone + injection de  $\text{CuSO}_4$ ) peut constituer une technique rentable pour exploiter les bas-producteurs, et en plus pour savoir si cette technique pourrait être utilisée à l'échelle industrielle, DECONINCK (44) à l'IRCC a effectué des expériences comme ce qui suit :

L'expérience est implantée au lot 14/AB du Sud de la Plantation d'Hévéa de Prek-Kak et dont les caractéristiques sont les suivants :

- Culture 1930
- Matériel végétal Avros 50 greffé en 1931
- Densité d'origine 236 emplacement/ha (6,50m x 6,50m) portée à 354 emplacements/ha par planting intercalaire à 3<sup>m</sup>25.

- Superficie 20,77ha
- Arbres en saignée 3.464
- Arbres en saignée/ha 166 en moyenne (166,779)
- Arbres en saignée/saigneur 144 en moyenne (144,533)

On donne le nom motif, le mode spécial d'expérience à monter DECONINCK a effectué son expérience en 2 motifs (A et B) et chaque motif est constitué de 4 tâches de saignée voisines comprenant en moyenne 144 arbres par tâche.

Motif A : Stimulation cumulée (stimulation hormonale + une seule injection de 20<sup>cc</sup> de CuSO<sub>4</sub> à 25% (poids/volume) soit 5g de CuSO<sub>4</sub>/arbre). L'injection a été effectuée entre 2 saignées.

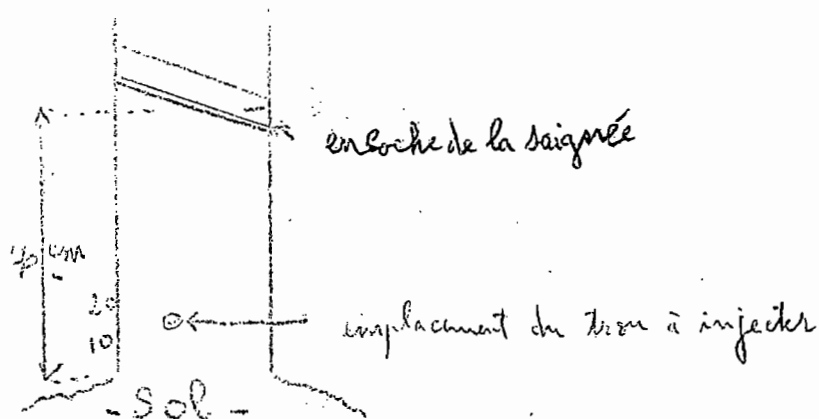
Motif B : Témoin = Stimulation hormonale.

voici la technique d'injection :

Pour les perçages des trous, on a utilisé deux perceuses électriques de 230V - 5A (12" Drill, Power Tool Division, Missouri) munies d'une mèche de 16<sup>mm</sup> de diamètre et mues par un groupe d'électrogène FIMAG Benzin Electro Aggrégat, Type BCET 1,5 - 2 monté sur une Jeep.

- Les trous sont percés au pied de l'arbre à environ 10 à 20<sup>cm</sup> du sol. Les trous sont inclinés environ 45° et ont une profondeur environ 12,5<sup>cm</sup>. La localisation des trous par rapport aux encoches est indiquée par Schéma ci-dessous :

Voir Schéma page 122



- L'injection du  $\text{CuSO}_4$  est effectuée immédiatement après le perçage et les trous sont ensuite bouchés avec un enduit de pétrolatum.

Après les contrôles par litrage par arbre et par saignée on obtient le résultat qui se résume dans le tableau XX ci-dessous

Tableau XX - Premier résultat d'expérience d'injection par

BECONINCK

Production du Caoutchouc sec en g/arbre/saignée

% = sur production du motif A en % du motif B

N° d'ordre de saignée	Motif A Stim.+inj.	Motif B Stim.-seule	% Surpro.en %	Observations
1	158,46	96,07	64,9	Surproduction maximum
2	193,10	90,27	113,9	
3	145,73	88,69	64,3	
4	121,37	91,73	32,3	
5	199,09	123,98	44,4	
6	173,22	110,13	57,3	
7	160,48	112,01	43,2	
8	169,13	105,20	60,2	
9	154,40	116,30	32,7	
10	155,37	108,57	42,1	
11	147,35	100,48	46,6	
12	183,49	124,54	47,3	
13	133,52	112,38	18,8	
14	207,65	162,34	27,9	Récolte partiellement perdue à cause de pluie
15	192,99	140,16	37,7	
16	147,95	128,20	15,4	

Tableau XX suite

17	200,39	158,13	26,7	
18	158,65	130,87	21,2	perte partielle de fond de tasse
19	133,84	126,78	5,5	perte de fond de tasse
20	185,17	151,95	21,8	

D'après ce tableau on peut penser que l'injection donne toujours la surproduction en latex.

DECONINCK (45) (46) (47) a trouvé que la réponse des injections avec 6g de solution de  $\text{CuSO}_4$  et 3g de solution de  $\text{CuSO}_4$  n'a pas une différence énorme.

LOWE (51) a trouvé que l'injection de 3g et de 6g de  $\text{CuSO}_4$  en combinaison avec la stimulation hormonale donne lieu à des différences très faibles. Cependant LOWE a utilisé la Technique d'introduction de  $\text{CuSO}_4$  en comprimé, tandis que DECONINCK, il utilise la technique d'injection de  $\text{CuSO}_4$  en solution.

Finalement DECONINCK a pu montrer qu'il est préférable d'injecter le  $\text{CuSO}_4$  sous forme de comprimés (48) et que la dose maximale d'injection  $\text{CuSO}_4$  en Solution est de 6g par arbre (49).

#### λ / Travaux de stage Pratique à Tapao (CAMBODGE) =

D'après nos travaux de stage pratique en Hévéaculture dans la plantation de Tapao au Cambodge, nous avons remarqué que

L'effet des injections de  $\text{CuSO}_4$  est resté très marqué pendant 7 mois sur les clones Avros 308, PB86 et PR107. Les essais d'injections avec d'autres sel de cuivre par exemple, acétate, nitrate, sulfate ferreux donnent une réponse moins qu'avec le sulfate de cuivre et de plus l'acétate et le nitrate de cuivre font baisser la teneur en Caoutchouc sec dans le latex (Rapp. ann. IRCC 1965).

A Tapao en 1964, nous avons constaté que les injections d'Hévée par le sulfate de cuivre provoque une augmentation importante de la production du latex. L'expérience sur le bloc 7.22 de Tapao, planté en Avros 308 sur lequel nous comparons l'effet de 2 types de stimulation :

- la stimulation normale après grattage de l'écorce correspondant à 3 mois de consommation,
- la stimulation dite à la gouge où le grattage est remplacé par un décapage à la gouge (Rapp. ann. IRCC 1965).

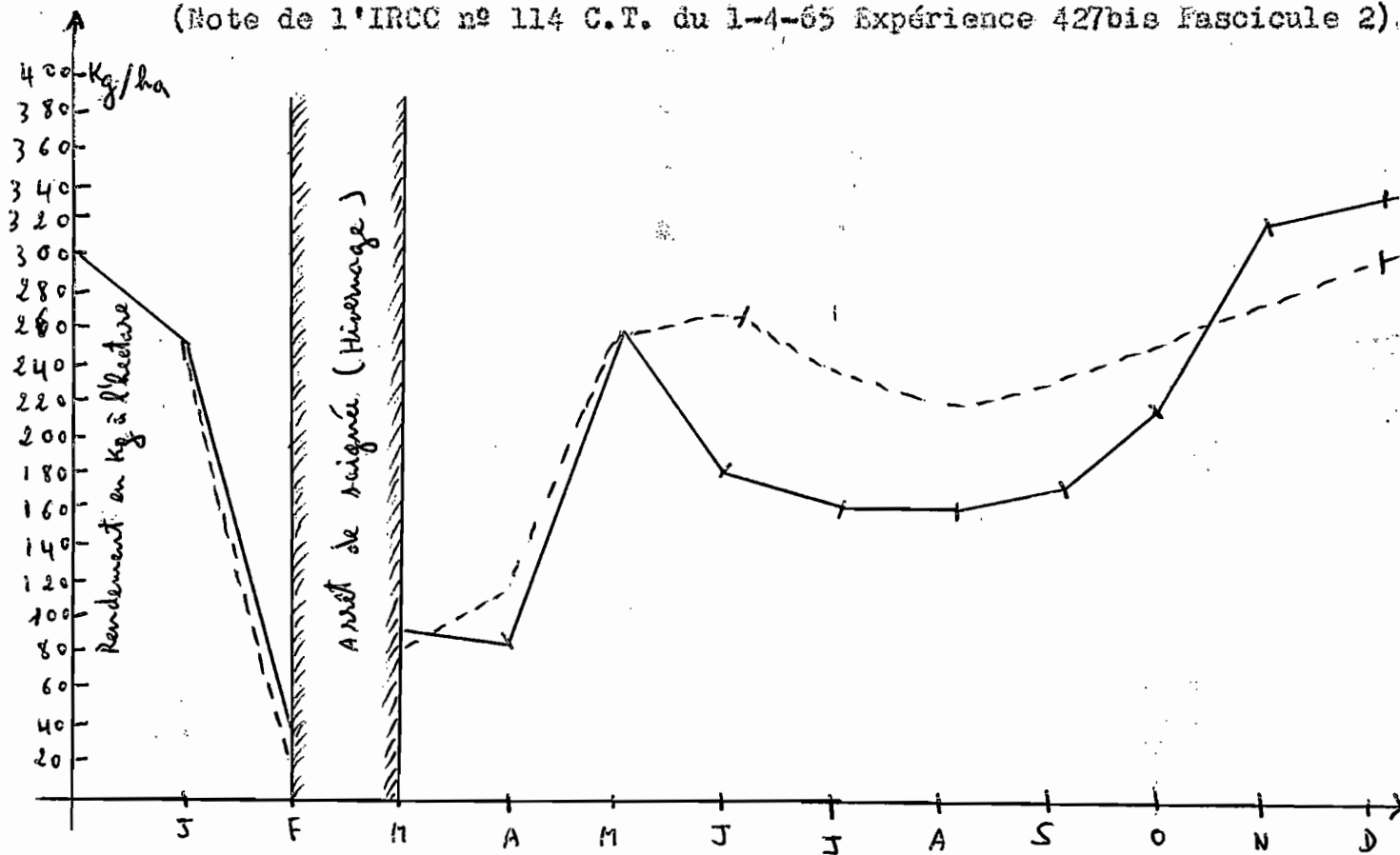
Dans le 2<sup>e</sup> cas, la stimulation est pratiquée sur 13mm environ tous les mois et la surface décapée correspond à la consommation d'écorce d'un mois. D'après ces travaux examinés en relation avec l'IRCC, nous avons noté que la stimulation "à la gouge" quoiqu'elle n'ait été faite qu'à partir de fin Mars, elle donne une production plus élevée que celle du motif ayant subi 2 stimulations annuelles, comme cela se fait dans la pratique courante dans les plantations d'Hévée au Cambodge.

Le gain est voisin de 10% avec 2.520 Kg par hectare contre 2.310Kg par hectare (Rapp. ann. IRCC 1965).

Le Schéma dans le tableau XXI ci après montre le résultat obtenu sur 2 types de stimulation au bloc 7.22 de Tapeo (culture plantée en 1944).

Tableau XXI - Graphique de variation de rendement en latex suivant le type de stimulation :

(Note de l'IRCC n° 114 C.T. du 1-4-65 Expérience 427bis Fascicule 2)



Période de l'année

Légende

- - - Stimulation après décapage à la gouge
- Stimulation après grattage

(Rapp. ann. IRCC 1964 P.37-38)

Nous avons remarqué que le clone Avros 308 supporte très bien à la stimulation et donne un meilleur résultat au point de vue augmentation du rendement en latex.

Les observations de COMEAGNON (32) disant que la période la plus haute production est de 3 mois (d'octobre à décembre) semblent justifiées avec notre remarque sur terrain à Tapao et avec le graphique de variation de rendement en latex établi par l'IRCC.

#### D/ Discussion et Synthèse

L'injection est une méthode pour fournir directement à des tissus ou à des organes présumément carencés, les éléments dont on suppose qu'ils manquent, sans passer par l'intermédiaire du sol ou du milieu de culture. Selon les cas, la réponse se manifeste par la coloration ou la croissance des feuilles.

L'injection se fait soit par solution soit par produits solides.

- Solutions : Ce sont les injections d'un ou plusieurs éléments minéraux en solution dans l'eau qui sont le plus couramment employées, quand on cherche à déterminer la nature des carences par ce genre de méthode. Toute une série de technique ont été essayées et mises au point, en particulier par le professeur ROACH et ses collaborateurs (signalé et décrit par SCHEIDECKER).

L'injection peut être pratiquée dans le limbe foliaire, entre les nervures. L'injection peut se faire aussi par le pétiole, après l'ablation de la feuille (Technique et matériel décrits par SCHEIDECKER).

Pour la préparation et la concentration des solutions, on utilise des produits chimiques très purs. La concentration et la nature des solutions dépendent de la plante étudiée. SCHEIDECKER indique les concentrations couramment utilisées par ROACH pour les espèces sur lesquelles il a travaillé :

Fe : 0,025% de sulfate de fer + 0,025% (en volume) d'acide sulfurique.

Mn : 0,025% Sulfate de Manganèse + 0,025% (en volume) d'acide sulfurique.

Zn : 0,025% Sulfate de zinc + 0,025% (en volume) d'acide sulfurique.

Cu : 0,025% Sulfate de cuivre + 0,025% (en volume) d'acide sulfurique.

B : 0,1% d'acide borique + 0,025% (en volume) d'acide sulfurique

On ajoute  $SO_4H_2$  pour maintenir le sel en solution et éviter qu'il ne précipite (ce qui est nécessaire surtout dans le cas du sulfate ferreux).

- Produits solides : (c'est surtout dans un but curatif).

L'introduction de substances minérales à l'état solide dans le tronc ou les branches des arbres est utilisée dans la pratique pour remédier à certaines carences (en particulier, traitement

par  $\text{FeSO}_4$  des arbres fruitiers et traitements par  $\text{CuSO}_4$  de l'Hévéa). Les sels minéraux peuvent être sous forme de poudre ou de comprimés. La question de dose à appliquer est particulièrement délicate, car la quantité trop forte de produit peut entraîner de grave dommage pour l'arbre.

La meilleur époque pour ce genre d'opération est la fin de la période de repos végétatif, juste avant l'éclatement des bourgeons.

Il est à signaler que les injections sont surtout utilisées dans le but curatif. C'est l'injection d'une solution dans le limbe des feuilles ou dans le pétiole qui donne la réponse la plus rapide au bout de 2 jours dans certains cas. Ce qui peut permettre éventuellement un traitement curatif immédiat.

#### IV - VAPORISATION FOLIAIRE .

##### A/ GENERALITE :

Dans certains cas, le diagnostic par symptôme visuel pourra donner des erreurs à cause de l'action des insectes, de mauvaises techniques culturales, de l'action climatique etc... Ce qui nécessite le contrôle par l'application sur les feuilles de solution nutritives contenant des Oligo-éléments présumément manquants ou insuffisants. Et on observe ensuite comment la plante réagit. Dans certains cas, la plante n'arrive pas à absorber des engrais par les racines et on doit appliquer ces engrais sur les feuilles. C'est la vaporisation ou la pulvérisation foliaire. Cette méthode de fertilisation par pulvérisation bien que valable pour tous les éléments nutritifs, s'applique particulièrement à l'étude des Oligo-éléments. Les Oligo-éléments comme Fe et Mn incorporés à des sols ayant une forte puissance de fixation restent parfois entièrement sans effet sur les cultures. Ces observations sont fréquentes chez les plantes à fort développement racinaire. Il est donc inutile d'enrichir la surface du sol en éléments nutritifs lorsque ces derniers migrent peu dans les couches inférieures où se trouvent une grande partie de racines, ou bien quand ces Oligo-éléments sont bloqués par le pouvoir absorbant du sol. Ce fait est également inutile lorsque les Oligo-éléments sont appliqués dans un sol lessivé. Ce qui nécessite de recourir à la méthode de

vaporisation foliaire qui est l'application directe des Oligo-éléments sur l'appareil végétatif des plantes carencées.

B/ USAGE DES OLIGO-ELEMENTS :

1/ Fer : On a souvent remarqué que la carence en fer causée par des immobilisations du fer dans la plante ne peut pas être corrigée par l'application directe du sel ferrique au sol. Cependant, on peut améliorer cette carence par la pulvérisation foliaire avec du sulfate de fer.

PREVOT à l'INHO (112) a constaté que les teneurs du fer, de chlorophylle dans les feuilles, le degré de germination du pollen, le rendement et la croissance des cultures tropicales en général, sont directement liés avec les quantités de fer actif et total des feuilles. C'est pour cette raison que la vaporisation foliaire d'acide naphthalène acétique provoque une augmentation de la teneur en fer actif et en chlorophylle.

DENIDENKO (50) a dit que le fer du sol peut être retenu en solution alcaline ou neutre par des colloïdes protecteurs, mais les plantes des cultures tropicales ne peuvent l'absorber à cause des molécules trop grosses qui ne peuvent traverser les membranes cellulaires des plantes qui l'absorbent par les racines. Dans ce cas, l'effet de pulvérisation foliaire par des

solutions de  $Fe_2(SO_4)_3$  ou  $FeSO_4$  est préférable à celle de Citrate ou de Tétrate de fer.

En 1967, THEBANADU (135) a constaté que la carence en fer dans la plante peut être corrigée par la vaporisation foliaire de sulfate ferreux. Le fer de stade Oxyde ferrique est relativement utile à la plante. La déficience du fer dans la culture du riz fait ralentir la croissance de cette espèce.

Le complexe de fer et de zinc peut être utilisé dans la vaporisation foliaire pour remédier la carence en ces éléments : par exemple

- la pulvérisation des anions complexes Zn et Fe donne un bon succès au maïs;
- la pulvérisation des anions complexes de Zn et Fe donne un bon succès encore aux haricots et à la plante.

Pour les cultures tropicales dont la carence en fer est relevée, on peut corriger cette carence par la vaporisation foliaire avec du sulfate ferreux à 4%, de 340 litres par hectare environ (154).

En 1953, FERGOUS (53) a constaté que les ananas cultivés sur un sol où la teneur en Manganèse est très élevée (2.000 à 3.000ppm échantillon séché au four) doivent être pulvérisés 10 fois par an avec le sulfate de fer à cause de la déficience en fer. Donc la toxicité de Manganèse peut être corrigée par la

pulvérisation foliaire du fer.

En 1956, NIEGE (94) a trouvé l'importance de la vaporisation foliaire en précisant que la vaporisation foliaire a pour but de fournir aux plantes des divers éléments qui leur sont nécessaires et qu'elles ont la difficulté d'absorber par leurs racines. L'auteur confirme encore que leur absorption est subordonnée à de nombreux facteurs écologiques (température, humidité, pouvoir absorbant et retentif des terres, et aussi le pH) ou microbiennes et elle est par suite plus irrégulière.

Comme l'alimentation des végétaux par voie radiculaire présente de nombreuses inconnues, on a songé à la coupler sinon à la remplacer par la nutrition par voie foliaire, car on a constaté que les feuilles, par leurs stomates sont capables d'absorber des solutions nutritives ou autres. On a été ainsi amené à utiliser des fumures complémentaires en pulvérisation pour le traitement de certaines maladies ou de certaines carences. Mais on a constaté en outre que la capacité d'absorption varie avec le type de feuille et la nature de la plante. Par exemple, les feuilles des monocotylédones se mouillent très facilement et absorbent trois fois moins que celles des dicotylédones à cause de leur parasité moins fortes.

Les poils favorisent l'adhérence prolongée de la solution ainsi que certaines particularités anatomiques (bordés, replis) ce qui explique la plus grande capacité d'absorption

de la surface intérieure des feuilles. Après le traitement de la surface supérieure des feuilles, on a remarqué qu'il se produit une augmentation de la concentration en matière active dans les vaisseaux.

Au cours d'essai d'application aux feuilles des composés de fer, comme moyen d'intensifier la couleur verte des feuilles chlorotiques, NIEGE rappelle les travaux en Laboratoire du D<sup>r</sup> HAAS en 1949 sur les citronniers. De ces travaux on a constaté que, un composé particulier du fer (le fermate) fut appliqué sur les feuilles d'Orangers déficients en azote. L'auteur avait surpris d'avoir vu ces feuilles jaunissantes commencent à reverdir. On apprit alors que l'azote entré dans la composition du composé ferrique employé, et le rétablissement partiel des arbres carencés fut attribué à cet élément.

2/ Le Manganèse : En 1950, BARBIER (4) a constaté que la carence en Manganèse pour les cultures tropicales disparaît non pas par enfouissement de Mn dans le sol, mais par pulvérisation de  $MnSO_4$  sur les feuilles, car les sels manganés sont inactifs par oxydation.

THEBANADUS (195) a dit que la déficience en Manganèse ne dépend pas du pH du sol. Elle existe tant dans le sol alcalin que dans le sol acide. Quand le sol est pauvre en Manganèse on pratique la vaporisation sur les feuilles des plantes en utilisant le sel soluble de manganèse. Par exemple, la pulvérisation des anions complexe de Zn, Mn donne un bon succès au cotonnier

(135).

MIEGE (95) a confirmé que les pulvérisations sur les feuilles sont des méthodes utilisées comme traitement direct contre les symptômes de carence, carence en Mn par exemple.

Pour que l'alimentation par le feuillage puisse donner de bon résultat, il est nécessaire de connaître les besoins du plant, et non pas uniquement la composition chimique et physique de la terre, car les éléments que nécessitent les plantes n'ont pas forcément les mêmes que ceux qui manquent au sol.

Les travaux relatifs aux maladies de carence des arbres fruitiers ont montré les excellents effets des pulvérisations sur les feuillages de solution très diluée de sels renfermant les éléments de déficients. Leur absorption par des feuilles, à condition qu'elles soient jeunes se fait parfaitement et en un temps très court. L'auteur cite les travaux effectués par REBOUR en Algérie (95) en utilisant la solution de 0,500Kg de sulfate de Mn + 0,250Kg de chaux + 100 litres d'eau pulvérisée sur les arbres fruitiers. Une ligne de chaque espèce ou variété a été conservée comme témoin. Les observations sont comme suit: Tous les arbres traités ont reverdi 15js à 3 semaines après; ce qui permet de conclure à une action rapide et efficace de sulfate de manganèse.

Le traitement contre la carence en Mn ne pourrait être

répété que tous les 2 ans.

Après 3 ans de traitement successifs, il est possible de contrôler l'action du Mn sur le rendement (96). Avant les traitements, les arbres fortement carencés produisaient 30% de moins que les arbres normalement verts ou simplement peu carencés

Le résultat de contrôle de l'action de manganèse sur le rendement des arbres fruitiers est donné dans le tableau XXII ci-après :

Tableau XXII - Amélioration de rendement des arbres fruitiers après 3 pulvérisations foliaires de  $MnSO_4$  (96).

Etat des arbres carencés	Traitement appliqué	Avant traitement	Après traitement	Augmentation de rendement
		Récolte moyenne par arbre en Kg	Récolte moyenne par arbre en Kg	
Symptôme très apparent Témoin (sain)	$MnSO_4$	44	98	+ 122%
	-	98	95	+ 63%
Amélioration due au Manganèse ----->				+ 59%
Symptôme peu marqué Témoin (sain)	$MnSO_4$	71	121	+ 71%
	-	69	99	+ 43%
Amélioration due au Manganèse ----->				+ 28%

3/ Zinc : En 1940, WALB (143) a constaté que chez les arbres à fruits aux noyaux, la chlorose entre les nervures est plus

notable pour la déficience en zinc. Pour corriger cette carence, on pratique la vaporisation foliaire de  $ZnSO_4$  (solution de 22,500/450 hectolitres d'eau).

En 1959, SHORHOCKS (129) a remarqué que la carence aiguë en zinc due au type de sol, à la teneur très faible en zinc ou à des sols à pH élevé (niveau du phosphore très élevé, faible capacité de rétention en eau pendant la saison sèche, mauvaise aération du sol pendant la saison humide) peut être corrigée par la pulvérisation foliaire de zinc pendant sept mois.

GOLAN (50) a constaté que la pulvérisation à faible volume avec 400g d'oxyde de zinc dans une solution de 30 litres d'eau peut corriger l'influence de zinc chez les arbres à agrumes. L'emploi d'une pulvérisation combinée d'oxyde de zinc avec du zinc, semble applicable pour combattre les phytoparas. Cependant ceci n'a pas encore été prouvé de manière concluante jusqu'à ce jour.

LUBET (83bis) a trouvé que, pour le maïs, lorsque le symptôme de la carence en Zn se manifeste, un remède curatif est nécessaire. Cette remède est la pulvérisation foliaire d'une solution à base de sulfate de zinc. L'effet de la pulvérisation est visible 3 à 4 jours après le traitement.

Pour la concentration, il semble que des solutions à 2% de sulfate de Zn (pour 100 litres d'eau) peuvent être préconisées, à condition de les neutraliser avec 1% de chaux.

Les solutions pures de sulfate de zinc peuvent provoquer brûlures sur la végétation. Il convient d'éviter les traitements par fortes chaleurs.

La quantité d'eau à apporter sera fonction de la hauteur des plantes. Si 200<sup>l</sup>/ha suffisent pour des maïs de 5 à 6 feuilles, il faut 400 à 500<sup>l</sup>/ha pour des maïs de 60 à 70<sup>cm</sup> de hauteur.

La fréquence et le nombre de traitements dépendent de la gravité de la carence.

On a remarqué que en cas de carence, l'apport de Zn influe sur le rendement et la précocité. Mais sur maïs apparemment normaux, l'apport de Zn n'a aucune influence sur rendement et précocité.

4/ Cuivre : En même temps qu'il favorise la croissance et le développement des plantes, la pulvérisation foliaire de cuivre sur la plante augmente la quantité de pigments jaunes et verts des feuilles (103). La quantité relative de Carotènes et Xanthophylles dépend de la teneur en cuivre des plantes et de l'activité de la polyphénol oxydase. La vaporisation foliaire du cuivre sur la plante augmente l'absorption de cet élément par les tissus végétaux (103).

TOLLEWAAR (140) a noté que les applications mensuelles ou bimensuelles de la vaporisation foliaire du cuivre SANDOZ contre la maladie du MALAI DE SORCIERE donne une grande

efficacité. On constate en même temps qu'il existe aussi une augmentation du rendement du Cacao de plus de 80% grâce à cette vaporisation foliaire.

5/ Bore : THEBANADU (135) a dit que le bore joue un grand rôle dans la germination et la pollénisation, des différenciation des tissus, régularisation des calciums solubles. Il est donc utile d'appliquer la pulvérisation foliaire de bore.

On peut mélanger le Bore avec les insecticides pour pulvériser sur les plantes (135).

6/ Molybdène : En 1966, CILLIER (53) a observé sur le mode d'action de Mo et ses possibilités d'application. Il dit que le Mo agit sur le développement de la plante et sur la coloration du feuillage qui devient beaucoup plus foncé. Le Molybdène augmente le nombre, la taille et le poids de nodosités la teneur en N des feuilles, les rendements en gousses de l'arachide. Les quantités de Mo à utiliser sont très faibles (25g/ha de Molybdate d'ammonium, comme l'ont prouvé les essais de Louga (Sénégal) en 1963, confirmés en 1964. Par suite il peut être employé en traitement des semences par vaporisation foliaire ou poudrage et a donné dans ce cas d'intéressants résultats quand le produit se présente sous la forme commerciale "Molygro". A l'analyse, après pulvérisation, le Mo se trouve dans les feuilles d'une quantité importante lorsqu'il est apporté sous forme de Molygro à très faible dose. En plus l'emploi de Mo est économique (52).

La petite concentration de Mo dans la solution nutritive donne un bon résultat pour la pulvérisation (135).

Des pulvérisations d'une solution de 0,05% de  $(\text{NH}_4)_2 \text{MoO}_4$  ont augmenté le rendement en matière verte d'haricots sur chernozem modérément limoneux et faiblement lessivé, de 31% en moyenne sur 2 ans (132).

Des pulvérisations foliaires de Molybdène ont augmenté les rendements et la qualité de quelques légumineuses cultivées sur sols acides podzoliques. Le traitement du sol avec Mo élève la proportion des légumineuses dans l'herbage. Les teneurs en N total et protéique et souvent les teneurs en P et Ca du foin ont augmenté grâce à la pulvérisation du Molybdène (3). L'effet de la vaporisation foliaire avec le Mo persiste au moins 2 ans après traitement. Les engrais Mo sont généralement plus efficaces sur les sols plus acides 100 - 200g par hectare de Molybdate d' $\text{NH}_4$  représentent une dose tout à fait adéquate. Des quantités supérieures à 300 - 400g causent souvent une accumulation excessive dans les plantes. L'application de super enrichi en Mo est recommandée (3).

### C - DISCUSSION ET CONCLUSION SUR LA PULVERISATION FOLIAIRE

Les pulvérisations de solutions minérales sur l'ensemble des feuillages sont surtout utilisées dans des buts curatifs, mais on peut y avoir recours aussi pour le diagnostic des carences. WALLACE souligne l'intérêt de cette méthode pour confirmer dans certains cas les indications données par les symptômes visuels. Elle a le mérite d'une grande simplicité de réalisation, tout au moins en ce qui concerne le mode d'application.

La détermination des doses à employer est elle aussi d'importance capitale. SCHEIDCKER estime en général que la concentration peut aller de 0,1 à 1% pour les Oligo-éléments. Pour les plantes dont le feuillage est difficile à mouiller, on ajoute à la solution un mouillant. Dans certains cas, on diminue beaucoup de risque de brûlure du feuillage en additionnant les solutions de chaux éteinte.

Pour avoir de bonnes réponses SCHEIDCKER a recommandé d'appliquer sur les feuilles jeunes, au 1<sup>er</sup> stade de leur développement, et à des plantes assez jeunes, en période de vie active. Parfois, des plantes plus âgées peuvent réagir de manière satisfaisante, en particulier quand il s'agit de carence en Mn ou en B.

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans les opérations de pulvérisation. Il vaut mieux de les faire

à un moment où il y a <sup>peu</sup> de pluies. D'autres parts, si l'insolation est trop forte, les risques de lésions par brûlure sont accrus.

On a souvent remarqué que l'effet des pulvérisations est rapide, mais peu durable, du fait de l'obligation d'utiliser des produits très dilués. Dans le but curatif, il est parfois recommandé d'opérer en période où l'insolation est moins intense, sur les arbres dépouillés de leur feuillage. Dans ce cas on peut utiliser des solutions assez concentrées sans causer de lésions graves.

Sur les arbres fruitiers, d'excellents résultats ont été obtenus par des pulvérisations sur les écorces (SCHEIDECKER).

Cette méthode a beaucoup d'avantage car :

- 1/ On a la certitude que l'élément appliqué atteint les organes ou les tissus déficients, ce qui n'est pas toujours le cas quand on l'incorpore au sol où il peut être immobilisé, insolubilisé ou rendu inassimilable à la plante.
- 2/ On a un effet dû au traitement, alors que si on ajoute l'élément au milieu nutritif, il est possible que l'effet soient indirecte (modification du pH, assimilation d'une substance toxique, interaction avec un autre constituant du milieu).
- 3/ La réponse de la plante est rapide, une à 2 semaines parfois moins. Au point de vue application, SCHEIDECKER confirme les

bons résultats d'expérience monté par ROACH et WALLACE pour les Fe, Zn, Mn, Cu, B et Mo.

Cette forme de vaporisation foliaire est souvent recommandée lorsque la plante seule manifeste la carence en Oligo-élément car les engrais appliqués directement au sol risquent de déséquilibrer des autres éléments.

D'après nos études bibliographiques, aucune recommandation n'est donnée sur le mélange des Oligo-éléments avec les engrais complets pour activer la croissance ou le rendement des plantes. Cela nous laisse penser que le mélange sans cause des Oligo-éléments risquera d'entraîner l'excès dangereux dans un certain milieu. Nous avons remarqué aussi que les Oligo-éléments n'interviennent qu'en cas de carence révélée ou bien dans un cas tout à fait spécial pour activer le rendement.

La vaporisation foliaire des plantes avec du Fer, Zinc, Manganèse et du Cuivre est préférée que l'application au sol pour le problème de fixation. Et de plus cette pratique donne un effet plus rapide que l'apport par le sol (18).

## V - DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons entreprise dans le but de révéler l'importance des Oligo-éléments pour les cultures tropicales et en particulier pour l'Évéa permet de constater les rôles biologiques de certains Oligo-éléments et leur nécessité dans la vie des plantes.

Les principaux rôles biologiques tels que : la photosynthèse (cas du Fe et du Mn) la régularisation de l'absorption de l'azote (cas de Cu), la synthèse des auxines de l'acide indol- $\alpha$ - $\beta$ -acétique (par exemple l'insuffisance du Molybdène provoque la réduction de la grandeur des feuilles), la régularisation et l'absorption de l'eau et du calcium (par exemple le bore favorise la division cellulaire, d'où le développement rapide de la plante), la fixation de l'azote et le transport d'ion H nécessaire à la synthèse des protéines (cas du Mo), sont très importants à connaître pour pouvoir aider les plantes à bien produire.

Les études concernant les teneurs et les niveaux critiques des Oligo-éléments pour les diverses plantes tropicales justifient d'abord l'utilité de ces Oligo-éléments et ensuite la dose nécessaire pour la vitalité de chaque type de culture tropicale. La limite de la teneur utile des Oligo-éléments varie suivant le type de cultures, suivant les saisons et suivant les conditions écologiques. Il est donc très difficile et voire même impossible de fixer un chiffre exact pour chaque type

de culture. Les divers tableaux dans le chapitre "niveaux critiques des Oligo-éléments pour les diverses plantes tropicales" illustrent ces variations. Cependant les quelques chiffres donnés par les divers chercheurs pourront aussi servir comme limites probables des niveaux critiques de certains types de cultures tropicales.

L'examen d'ensemble sur la détection des carences et les symptômes visuels nous donne une idée sur la nécessité absolue de l'étude préalable et des observations sur place avant de déterminer une carence, car il risquera d'y avoir une erreur regrettable à cause des conditions très diverses pouvant modifier l'aspect visuel de la plante.

Après avoir étudié sur le sol et les Oligo-éléments dans les cultures tropicales nous avons remarqué qu'il existe une étroite corrélation entre le sol et les Oligo-éléments nécessaires à la vie des plantes. C'est une des raisons pour laquelle chaque type de plante ne peut se développer normalement que sur un type de sol qui lui convient même lorsque les autres facteurs sont favorables, les Oligo-éléments peuvent constituer en facteur limitant en entier. Par exemple, au Cambodge, le sol le plus favorable pour l'Hévéa est le sol d'origine basaltique riche en Oligo-éléments Fe, Mn, Cu etc...

Les études sur la relation entre macro et micro-élément dans la plante nous montre la nécessité d'équilibrer tous les

éléments nutritifs afin d'obtenir un bon rendement pour les cultures tropicales, car l'existence d'un élément dépend plus ou moins étroitement de la présence des autres. Pour pouvoir équilibrer ces éléments nutritifs, il faut bien connaître le métabolisme de la plante et le processus d'absorption des éléments c'est à dire le phénomène physiologique qui provoque 2 sortes d'actions; l'action parallèle et l'action antagoniste entre éléments.

La productivité dépend aussi des Oligo-éléments malgré leur petite quantité existante dans la plante. La Carence ou l'excès en un des Oligo-éléments peut favoriser l'attaque des agents pathogènes ou des maladies cryptogamiques. Les résultats d'analyse de l'Hévéa sain et de l'Hévéa malade nous donnent une idée sur la résistance d'un arbre bien équilibré en élément nutritif et surtout en Oligo-éléments. La pratique d'injection ou de pulvérisation foliaire des Oligo-éléments sur l'Hévéa malade donne de bons résultats sur la résistance aux maladies.

Cependant, pour activer la croissance ou le rendement, il n'est pas recommandé de mélanger les Oligo-éléments avec les engrais complets; car on a pensé que le mélange sans cause des Oligo-éléments risquera d'entraîner l'excès dangereux pour les plantes dans certains milieux (134). Il est utile de noter que les Oligo-éléments n'interviennent qu'en cas de carence révélée ou bien dans un cas tout à fait spécial pour activer le rendement.

En ce qui concerne la productivité du Caoutchouc, les Oligo-éléments sont un des facteurs favorisants, car on peut citer d'autres facteurs favorisants tels que : facteurs climatiques, facteurs hygrométriques, facteurs sol (propriété physique), conditions physiologiques, vitesse d'écoulement du latex, origine génétique et mode de saignée.

Toujours dans le but d'augmenter la production, la modification du taux d'Oligo-élément est très importante pour bien équilibrer les éléments nutritifs de la plante. Toutefois, pour atteindre le but, cette intervention doit être effectuée d'une façon rationnelle. C'est le cas de l'emploi des fumures classiques, le mode d'application d'engrais, la dose à utiliser etc... Par exemple, l'apport d'un Oligo-élément au sol, ne doit se faire que dans le cas où la plante et le sol en manquent. Et en plus il existe une dose optimale au dessus de laquelle un effet toxique se manifeste et efface l'effet utile. Il faut donc respecter la dose optimale pour obtenir le meilleur effet. Tout cela dépend encore du facteur sol et des autres facteurs. Ce qui nécessite une observation sérieuse avant d'apporter des engrais à la plante.

Beaucoup d'auteurs ont recommandé de tenir compte d'abord des antagonismes existant entre certains éléments, et ensuite la situation du besoin de la plante. Dans certains cas,

les Oligo-éléments ne peuvent pénétrer dans la plante que sous forme de chélates ou d'injection ou encore sous forme de vaporisation foliaire. Tout cela dépend du phénomène métabolique et biochimique.

Il apparaît que l'interprétation de nos résultats n'a pu être poussée suffisamment loin par suite de l'insuffisance de compréhension sur les autres facteurs. Il est nécessaire de prendre en considération la biochimie et le système enzymatique du latex pour mieux équilibrer la nutrition minérale de l'Hévéa en Oligo-éléments. Cependant, nous pouvons considérer l'expérimentation et les études présentées dans ce mémoire comme répondant aux buts pratiques que nous recherchons et qui sont exposés dans l'introduction.

Dans l'exposé de M. Dauphin MEUNIER à l'Académie d'Agriculture de France en 1968 (39bis) nous avons appris que la production du Caoutchouc naturel au Cambodge donne toute satisfaction.

Les rendements moyens qui étaient de 870Kg/ha en 1954 sont de 1.600Kg/ha en 1968. Certains blocs obtiennent même 2.600Kg de Caoutchouc sec à l'hectare (contre le rendement moyen de 1.000Kg par hectare en Malaisie). Ces résultats obtenus grâce à la fertilisation sont intéressants, mais d'autres progrès doivent encore être recherchés.

Le Caoutchouc produit au Cambodge est en quasi-totalité

exporté.

Malheureusement à l'heure actuelle, le prix du naturel est à la remorque des prix du synthétique.

La baisse des cours du Caoutchouc naturel met en jeu l'avenir des grandes plantations qui n'ont plus de marges bénéficiaires suffisantes pour leur permettre à la fois d'étendre les surfaces plantées, de financer la recherche et de satisfaire aux exigences sociales et fiscales du gouvernement. Pourtant le Caoutchouc est la 2ème richesse nationale du Cambodge après le riz.

Dans ces conditions, on se demande si le naturel peut-il durablement résister à la concurrence du Caoutchouc Synthétique? M. MEUNIER a répondu oui! grâce à l'amélioration de la qualité, encouragée par des mesures financières telle que

- la prime de compensation versée aux planteurs par le gouvernement,
- la mise au point des clones hauts producteurs la modification de méthode de Saignée, le nouveau procédé de stimulation, le nouveau mode de préparation du Caoutchouc naturel, et en particulier le programme rationnel de fertilisation qui sera certainement influencé par l'introduction des clones hauts producteurs qui peuvent avoir des exigences minérales plus importantes. Cela coïncide bien à notre but d'études pour faire

baisser le prix de revient en faisant augmenter le rendement à l'hectare du Caoutchouc naturel.

En terminant, nous espérons que, malgré tout, cette étude intéresse aussi bien les biochimistes et les agronomes que les planteurs qui cherchent toujours à connaître les facteurs liés à la productivité du Caoutchouc et d'autres cultures associées à l'Hévéa, dans l'espoir d'agir ultérieurement sur tel ou tel d'entre eux dans un sens favorable à l'augmentation des récoltes. Et la connaissance des Oligo-éléments dans la plante et le sol est un élément très important en Hévéaculture ainsi que dans d'autres cultures tropicales.

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

- A -

- 1 - ALSTON. A. N. et. (1965)  
DETA extractable copper and zinc contents of soil in Northern Ireland Record. Agr. Res. Min. Agr. (Northern Ireland), 14, P.49-59 d'après chem Abstr 1966, vol 65 n° 13, P.20.782.
- 2 - ANDRYUSHCHENKO. V.K. (1965)  
Uptake and distribution of manganese and molybdenum in cotton during the initial growth stages with the utilisation of various forms of nitrogen fertilizers.  
All. Union Inst. Cotton, Tashkent, Agrokhimiya 1965 P.103-107 (Russe) d'après chem Abstr 1966 n°5, P.7314.
- 2bis - ANGLADETTE. A. (1965)  
Le riz. Collection Techniques Agricoles et Productions tropicales :  
Edit. : GF RAISONNEUVE et Larose (11 Rue Victor Cousin Paris 5è) P.107-108, 331, 366-367.
- 3 - ANSPOK. P. (1961)  
Results of field trials with trace elements at collective and state farms in the Latvian SSR.  
Mikroelement Urozh, 1961, 3, P.141-158 (en Russe).  
d'après soil and fertilizers, 1962, t25, n°6, Abstr 3488.
- 4 - BARRIER. G. et ses coll. (1950)

- B -

- B -

- 4 - BARBIER. G. et ses coll. (1950)  
Carence en Mn des cultures irriguées à l'eau d'égoût. Evolution du Manganèse dans le sol.  
Ann. INRA 1950 n°5, P.550-551.
- 5 - BEAUFILS - ER et. (1951)  
Laboratoire d'anatomie et de physiologie-diagnostic foliaire.  
Expérience de fumure à Laikhi.  
Rapp. ann. I.R.C.I. , P.67-81.
- 6 - BEAUFILS - ER. (1952)  
Diagnostic foliaire - Rapport ann. I.R.C.I. , P.79-85.
- 7 - BEAUFILS - E.R. (1953)  
Diagnostic foliaire - Rapp. ann. I.R.C.I. , P.115-125.
- 8 - BEAUFILS - E.R. (1955)  
Diagnostic physiologique - expérience d'engrais.  
Rapp. ann. I.R.C.I. , P.114-143, 172-190.
- 9 - BEAUFILS - E.R. et... (1956)  
Diagnostic physiologique. Apport d'éléments compensateurs.  
Rapp. ann. I.R.C.I. , P.80-104.
- 10 - BEAUFILS - E.R. (1956)  
Recherche d'une exploitation rationnelle de l'Hévée d'après un diagnostic physiologique reposant sur l'analyse minérale de diverses parties de la plante.  
Analyse des plantes et problème des fumures minérales, édit. I.R.H.O. , P.360-376.

- 11 - BEAUFILS - E.R. ( 1956 )  
Les équilibres minéraux dans le feuillage et dans le latex de l'Hévéa brasiliensis.  
Ann. Agron. I.N.R.A. 7è année, n°2, P.205-217.
- 12 - BEAUFILS - E.R. (1957)  
Le diagnostic physiologique - ses applications.  
Rapp. ann. I.R.C.I., P.111-138.
- 13 - BEAUFILS - E.R. (1961)  
Les déséquilibres dans la composition chimique de l'Hévéa. La méthode du diagnostic physiologique.  
Thèse Ingénieur-Docteur n° 700 Paris 1961.
- 14 - BELEY - J. (1956)  
Mode de prélèvement des échantillons de feuilles de riz en vue de diagnostic foliaire.  
Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales édit. I.R.R.O., P.397-399.
- 14bis - BENES . S . (1964)  
The occurrence and migration of copper in soils from different parent rocks. Pol'nohospodarstvo 1964, 10, 837-844 (Prague)  
Soil and Fertilizers n° 57, Février 1966.
- 15 - BERTRAND - D - (1952)  
De l'emploi pratique du Molybdène comme engrais pour la culture du soja C.R. Acad. Sci. Fr. 1952, t255, n° 21, P.2814-2816; d'après Bull. Signal. C.R.R.S., 18, t24, n°1, P.244 abstr n° 4205.

- 16 - BERTRAND - D - (1965)  
Intérêt pratique des Cligo-éléments pour les productions  
indispensables aux industries agricoles.  
Industr. aliment. Agric. Fr. , 82 n° 12, P.1249-1254.
- 16bis - EHURUCHA. F.R. et DAVID . S . (1955)  
The die; back disease of Curus. Bull. Nat. Sci. India, 3, 69,  
80.  
D'après "Cléagineux" n° 1, Janvier 1962 P.10.
- 17 - BOISSON - C. ( 1966)  
Sur une maladie foliaire de l'Hévéa brasiliensis Muell. ARG.  
nouvelle en Afrique causé par le Rhizoctonia Solani Kühn.  
Rev-géné-Caout. 1966, Edit I.F.C., P. 1.494-1.496.
- 18 - BOLLE - JONES - E.W. (1954)  
Nutrition of Hévéa brasiliensis - J. RUBBE. Res. Inst. Malaya,  
14 - P. 185.
- 19 - BOULD - C (1963)  
Mineral Nutrition of plants in soils-Foliar Nutrition.  
Plant physiology édit. F.C. STEWARD academie Press Newyorkand  
London, vol. 3, P. 91-92.
- 20 - BOUTHILLON - J. (1957)  
La stimulation - Les contrôles phytosanitaires.  
Rapp. ann. I.R.C.I. 1957, P. 151-181, 181-190.
- 21 - BOUYCHOU (1959)  
Echantillonnage sur l'Hévéa - Coll. - Abidjan sur nutrition  
minérale et engrais. Edit. Centre de documentation I.F.A.C.,  
P. 61-72, 103-115, 166-170.

22 - BOUYCHOU - J.G. (1966)

Manuel du Planteur d'Hévéa - Plantation et entretien.

Rev. gén. Caout. 1966, édit. I.F.C., P.707-718, 852-860.

22bis - BOYER . S . (1959)

Bull. Pédo. ORSTOM, 1957, 7, 1, P.7-11.

23 - BROWN. AL. et ses coll. (1964)

The residual effect of zinc applied to soils.

Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 1964, t28, n°2, P.236-238.

24 - BURRELL - R.J.W. et ses coll. (1966)

Esophageal Cancer in the Bantus of the Transkei associated with mineral deficiency in garden plants - J. nat-Cancer Inst., 36, P.201-214 d'après orticul-Abstr-vol. 36 n°4, P.683.

25 - BUTLER - P.C. et... (1956)

Effect of the Zinc chelate of ethylenediaminetétraacétique acide on plant uptake of zinc and other heavy metal.

soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 1956, t20, n°3, P.348-351.

- C -

26 - CARTER - R.L. et ses coll. (1964)

Micronutrient and crop production in georgia.

georgia. Agric. Expt. Sta. Bull. 1964, n° 126, P.90.

27 - CARTER - R.L. (1965)

Results of research on the use of micro-nutrient with crop grown on georgia-Soil. The elements dealt with are boron, Copper, iron.

manganese molybdene and zinc. Georgia-Agric. Expt Sta Bull. 1965.

28 - CHAPMAN - H.D. (1960)

Bull. Res. Coun ISRAEL t84, P.105-113; d'après Soil and Fertilizers 1960 t23 n° 5 Abstr 2229.

28bis - CHARPENTIER .J.M. et MARTIN PREVEL .P. (1967)

Etude des carences minérales chez l'Avocatier.

Fruits - Vol.22 n° 5 - 1967. P.214-216; 226-229.

29 - CHENERY - (1960)

Soils and Fertilizers in Taiwan. Soc. of soil Scientists and fertilizers Technologiste of Taiwan-China - P.426 (thé).

30 - CHKOLNIK - M.J. et ses coll. (1956)

Rôle physiologique du bore chez les plantes. Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales-édit. IRMO Paris P.69-84.

31 - COCCHI - J. (1960)

Sur une corrélation entre bore et potassium observée dans les feuilles d'Hévéa - Les problèmes de la nutrition de l'Hévéa à la conférence de Kualalympur-RRIM. Part. 11, P.102 (d'après l'extrait de l'IFC).

32 - COMPAGNON - P. (1950)

Sur une possibilité d'améliorer la production de l'Hévéa brasiiliensis par l'apport d'Oligo-éléments.

Rev. gén. Caout. 1950, vol.27, P.525-526.

33 - COMPAGNON - P. (1958)

Exposé de M.COMPAGNON à l'occasion du 12è réunion du Conseil

supérieur de l'Institut Français du Caoutchouc.

Rev. gén. Caout. 1958, et 35 n°8-9, Fasc. 369-370, P.1019-1020.

34 - COMPAGNON - P. (1962)

La nutrition minérale de l'Hévéa-Rev. gén. Caout. 1962, n°  
Spéc. Conférence UNESCO Paris, P.65-91.

35 - COMPAGNON - P. (1962)

La nutrition minérale de l'Hévéa conférence internationale sur  
le Caoutchouc 11<sup>e</sup> session - Rev. gén. Caout. vol.39 n°7-8 1962  
P.1.105 - 1.131.

36 - COMPAGNON - P. (1963)

Problèmes de fumures en culture bananière. Journée d'études sur  
la nutrition minérale des plantes fruitières tropicales et sub-  
tropicales par l'Insti. Fr. de Resh. Fruit. Paris, 1964, P.7-18.

37 - COMPAGNOLLE - J. et - (1956)

La stimulation - Rapp. ann. INCI 1956 P.113-155.

37bis - CZOPF . J . (1964)

Les Oligo-éléments Mn, Mo, Cu et Co de quelques sols du Sud-Est  
de Transdanubie. Traduction de "Agrokein". Talajt. 13, 149 - 156.  
Soils and Fertilizers n° 745 Avril 1965.

- D -

38 - DARTIGUES - A et ses coll. (1963)

Premiers résultats sur l'étude de la carence en zinc dans le  
Sud-Ouest C.R. Hebd. des séances de l'acad. d'Agr. de Fr. Edit.

Acad. d'Agri. de Fr. année 1963, n° 4, P.266-276.

39 - DARTIGUES - A. (1964)

Les déficiences en zinc chez les végétaux et leurs causes.

Ann. Agron. 1964, 15 (6) P.667 - 691.

40 - D'AUZAC - J. -(1962)

Etude comparative d'Hévéa hauts et bas producteurs du point de vue minérale, organique et enzymatique - Inst. Rech. Caout.

Viet-Nam opus.

Techn. n° 56/62, P.15 et suivante.

41 - D'AUZAC J. et SANG.N.M. (1963)

Etude du dosage des Magnésium et Calcium et sur les solutions de bases échangeables provenant des sols des zones Hévéacoles du Sud-Viet-Nam.

Rapp. de Recher. Agron. 1963/1 IRCV, P.4 et 11.

42 - D'AUZAC J. (1965)

Etude de quelques réactions métaboliques liées au sein du latex de l'Hévéa brasiliensis à la biogénèse du Caoutchouc (Thèse de Docteur es sciences - Paris) P.17-24, 150-153.

43 - D'AUZAC J. (1965)

Quelques relations entre la composition, l'activité biochimique du latex et la productivité de l'Hévéa brasiliensis - Thèse Doct es science Paris, P.22 - 36 (2è thèse).

44 - DECOUINCK C. (1966)

Expérience de stimulation cumulée (2, 4, 5. T + inject. de  $\text{CuSO}_4$  sur Avros 50 Lot 14/A.B Sud Camékong - Note IRCC - 220 C.T. du

27-7-66 exp. 476, Fasc. 1, P.1-2, 4.

45 - DECONINCK G. (1966)

Note IRCC 227 C.T. du 16-8-66 exp. 476 Fasc. 2, P.1 .

46 - DECONINCK.G. (1966)

Note IRCC 221 C.T. du 28-7-66 exp. 477 Fasc. 1, P.1 - 2 .

47 - DECONINCK.G. (1966)

Note IRCC 228 C.T. du 25-8-66 exp. 477 Fasc. 2, P.1, 3, 5 .

48 - DECONINCK.G. (1967)

Expérience de stimulation cumulée (2, 4D + inj.  $\text{CuSO}_4$ ) sur vieux seedlings Note IRCC 279 C.T. du 15-5-67 exp. 480, P.1, 2, 8 .

49 - DECONINCK.G. (1967)

Exp. de stimulation cumulée (2, 4D + inj.  $\text{CuSO}_4$ ) sur vieux seedlings Bloc 9/11 B à chrap. C.C. Note IRCC 280 C.T. du 19-5-67. exp. 481, P.1-2, 7 .

50 - DEMIDENKO.T.T. (1937)

Iron in the nutrition of higher plants.

Compte-rendue (Doklady) ac Sci URSS 1937, XV, n° 5, P.267+271.

50bis - DIDIER DE SAINT AMANDE (1966)

Résistance variétale du cotonnier à la toxicité du manganèse.

Rapport de l'ORSTOM 1966 P.8 - 14, 19 - 25 .

51 - DUPRENOY.J. (1954)

Les agents de chelation et leurs usages agricoles.

J. Agric. Trop. Bot. Appl., t, n° 10, 11, 12, P.462-484 .

51bis - DROUINEAU . C , MAZOYER . R . (1962)

Contribution à l'étude de la toxicité du Cuivre dans les sols.

Ann. Agro. Paris, 13 (1), 35 - 53.

- E -

52 - ENILEEV.KH.KH. (1965)

Reponse of cotton to molybdenum-chem. abst., 1966 n°5, P.7.317.

- F -

53 - FERGUS (1953)

Remarque sur la toxicité du Manganèse dans un sol acide (en Anglais) Australian, Conf. soil.

Soil-Sci. Adelaide n° 2, 18, P.3; d'après soils and fertilizers 1954, t17, n° 6; P.497 Abstr. n° 2.408.

54 - FERRAND.M. (1954)

L'analyse des plantes et la pratique Agricole.

Coll. Analyse des plantes et problèmes engrais minéraux, édit. INHO P.81-88.

55 - FORESTIER.J. et BELEY.J. (1966)

Teneur en soufre et en Oligo-éléments des feuilles du Caféier

Robusta en Lobaye. Rev. Café - Cacao - Thé - Edit. Inst. Frs. du Café du Cacao et d'autres plantes stimulantes, n° 1 1966, P.17-25

56 - FORESTIER.J. (1966)

Aspects nouveaux de l'emploi des engrais sur caféiers Robusta en République Centrafricaine - Rev. Café - Cacao - Thé Edit. inst.

Frs. du Café du Cacao et d'autres plantes stimulantes, 1966, n°2,  
P.126 - 131.

57 - FREMOND.Y. (1966)

Le cocotier édit. G.P. Maisonneuve et Larose, P.136.

- G -

58 - GRILLIER.P. (1966)

L'arachide et le Molybdène.

C.R. Acad. Fr. 1966, t52, n°6, P.446 - 449.

59 - GILVA.RL. (1966)

Recent experiments with new fungicides for the control of blister  
blight - (Exo BASIDIUM VEXANS MASSEE on thea).

Tea quart, Ceylan 37, 7, P.121 - 7 (1966) d'après Trop. Abst.

1967 vol. 22 n° 4 PH.

60 - GOLAN.E. (1963)

La pulvérisation à faible volume utilisée comme mesure correctrice  
de l'insuffisance de zinc chez les arbres agrumes.

Fruits 1963, t18, n° 3, P.157 - 158.

60bis - GORLACH . E. (1963)

Molybdenum content of some soils in south Poland.

Roczn-glebozn, vol. 13, 213-225. D'après soils and fertilizers  
n° 1952 Août 1964.

61 - GOUBOT.A. et... (1962)

Les Oligo-éléments - Pub. Presse universitaire de France. Coll.

que sais-je P.13-33, 38-39, 95-96, 105-119.

62 - COUHY.F. (1956)

Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement. Analyse des plantes et problème des fumures minérales édit. IRMO, P.87-103.

63 - GUINARD.A. (1953)

Culture du Thé en Indochine. Inst. de Rech. sur les Cult. Trop. Nogent sur Marne.

64 - CYUROV.B. (1966)

Influence of certain micro-elements on the varied répeness Yield of hothouse tomatoes - GRADINARŠLOZAR NAUKA (Sofia) 3 (1), P.47 54, d'après chem. Abstr vol.65 n° 11, P.17.648.

- H -

65 - HARRIS.M.C. et ses coll. (1966)

Effect of imbalance of boron nutrition on the peanut (arachide). Agron. USA 1966, t58, n° 1, P.97-99.

66 - HELLER . R . (1960)

Cours de physiologie végétale - Les cours de Sorbonne. Certificat d'études supérieures de biochimie. Microbiologie - Physiologie végétale (tout le cours).

67 - HEWITT.E.J. (1963)

Essentiel Nutrient element for plants.

Plant physiologie édit. FC STEWARD Acad pren New-York and Loadon vol.3, P.231.

- J -

68 - JACOB.A. (1958)

Fertilizers use Nutrition and Manuring of Tropical crops -  
Verlagsgesellschaft für Ackerbau mbH HANNOVER Edit. (Allemagne)  
P.1-19, 57-367.

68bis - JHA . K.K. (1964)

Review of work on micronutrient Elements in Bihar.  
J. of Ind. soil sci. 1964, 12, 4, 235-241.

69 - JOHN. HE. et AMIN JV. (1967)

The influence of foliar - and Substrate application of manganese  
on cotton: Plant and soil 26, 2, P.369-79 d'après Trop. Abstr.  
1967 vol.22 n° 8, P.510 q-1585.

- K -

69A - KAKIE . T . (1961)

A Study on boron available in arable soils.  
Soil and plant Food 1961, 6, 114-119. (Mlle AUBERT ORSTOM).

69B - KANEHIRO . Y . (1964)

Status and availability of Zinc in Hawaiian soils.  
Diss. Abstr. 1964 vol.25, 2.683-2.684 d'après Soils and Ferti-  
lizers n° 2.235 Août 1965.

70 - KENWORTHY.A.L. (1960)

Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit

trees Plant Analysis and fertilizers problemes. Edit. Walter-Reuther P.28-43.

- L -

71 - LABANAUSKAS . CK . et ses coll. (1958)

Proc. Am. Soc. Hort. Sci., t71, P.285-291.

72 - LAKIZA (1966)

The effect of trace minerals on carbohydrates in leaves of grapes grown in transcarpathian region.

Bull. Sci. Cham. Abstr. 1966, P.3.883.

72bis - LAL . B ., SAHU. D., DAS. NB. (1960)

Available Zinc status of some indian soils.

Curr. Sci. (Bangabore) 1960 vol.29 P.316.

D'après soils and Fertilizers vol.24 n° 43 Février 1961

(Document N<sup>o</sup> 110 AUBERT ORSTOM).

73 - LAN.J. (1928)

Sol pour riz, Maïs, Haricots, Ananas, Caféier, Théier.

Les plantes indochinoises de grande culture (Tom.1) Edit.Biblio.

Agricole indochinoise (Hanoï) P.16, 55, 140, 197, 246, 285, 305.

74 - LAN.J. (1930)

Sol pour cocotier, arachide, sésame, ricin, canne à sucre, coton,

jute, Ramie. Les plantes indochinoises de grande culture 2<sup>ème</sup>

partie; plantes industrielles (Tome II).

Edit. Bibli. Agri. indochinoise (Hanoï) P.17, 24, 74, 80, 113-114,

126-129, 283-286, 336-340, 381-382.

75 - LANGLOIS (1966)

Etude de la réponse individuelle à la stimulation d'arbre haut et bas producteurs P.R.107 - Note IRCC 238 C.T. du 21-12-66 exp. 459 Fasc. 2, P.1, 3-4.

75A - LAVOLLAT . J . (1956)

Principes et conditions d'emploi des Oligo-éléments essentiels en agriculture.

Fruits vol.11 n° 3, 1956, P.95-104.

75B - LEVEQUE AG. et BELEY .J. (1957)

Note sur la toxicité du Fer et du Manganèse en culture hydroponique du riz (ORYZA SATIVA).

D'après document de M<sup>me</sup> DIDIER DE SAINT AMAND ORSTOM.

75C - LIU . C . WANG K.L. CHEN C.F. (1961)

Contents of micro-elements of Citrus Soils and response of micro-element fertilizers in Hwangyen districts, Chekiang Province.

Acta Pedol Sin 1961, 9, 140-156.

76 - LIVERAN (1956)

Influence de mode d'application des engrais sur leur efficacité en Culture fruitière - Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales, Edit. IRHO P.338-350.

77 - LOUE.A. (1964)

Etude de la nutrition du Café par la méthode du diagnostic foliaire Coll. Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux. Edit. IRHO, P.203-215.

78 - LOUE.A. (1959)

Les résultats obtenues et l'orientation des recherches.

Coll. Abidjan sur nutrition minérale et engrais. Edit. Centre de documentation de l'IFAC, P.13-62.

79 - LOUE.A. (1960)

Nouvelles observations sur les Oligo-éléments dans la nutrition du Cafécier-Rev. Café, Thé 1960, t4, n° 3n P.133-149.

80 - LOUE.A. (1961)

Etude des carences et de déficience minérale sur le cacaoyer IPCC. Année 61 n° 1 mois d'Avril.

81 - LOUE.J.S. (1964)

J.R.R.I.N. vol.68, P.261-268. Note IRCC 228 C.T. du 25-8-66, exp. 477, Fasc. 2, P.5.

81bis - LUKASHEV K.I. et PETUKHOVA N.N. (1963)

Migration et formes de l'accumulation de Cu dans les roches, les sols et les plantes du Sud Est de Polesie (traduction).

Dokl. Akad belorus S S R 6, 320-322.

Soils and Fertilizers n° 2206 Octobre 1963.

82 - JUSTINEC.J. et NESING.W.L. (1967)

Etude de la productivité et de quelques propriétés du latex de différentes parties du tronc de l'Hévéa-Rev. gén. Caout. n° 3, 1967, P.345-352.

83 - JUSTINEC.J. et ses coll. (1967)

La stimulation de l'Hévéa par des acides chlorophénoxyacétiques et son influence sur l'air drainée-Rev. gén. Caout. 1967 n° 5, P.635-641.

83bis - LUBET. E. (1965)

Carence en zinc sur Maïs à Mont DE-MARSAN (Landes) extrait  
tiré à part par l'ITPA en Avril 1969.

- M -

84 - MAGNITSKI. K. P. (1960)

The diagnostic of mineral nutrition of plants according to  
chemical composition of leaves. Plant analysis and fertilizers  
problems édit. Walter-Reuther, P.159-179.

85 - MAISTRE .J. (1956)

Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide.  
La carence borique et ses effets-analyse des plantes et pro-  
blèmes des fumures minérales. Edit. IRHO, P.215-223.

86 - NALAVOLTA. E. et ses coll. (1961)

On the mineral nutrition of some tropical crop. Inst. de Rech.  
des cultures Tropicales Nogent sur Marne.

87 - MARTIN et FORRIER (1965)

Arachide et Molybdène.

Rev. Oléagineux Mai 1965, Publ. IRHO, P.287.

88 - MAURICE. J. et TROCNE. S. (1965)

Observation sur le bore dans le sol et dans les plantes-Ann.  
Agron. 1965, 16 (5), P.579-593.

89 - MAURICE. J. et... (1965)

Observation sur le bore dans le sol et dans les plantes-Ann.  
Agron. 1965, 16 (5), P.287-299.

90 - MAURICE.J. et... (1965)

Observation sur le bore dans le sol et dans les plantes.  
Ann. Agron. FR 1965, t16, n° 5, P.579-593.

91 - MENHA.B.V. et ses coll. (1964)

Micronutrient studies on GUJARAT Soils and plan.  
J.Indian - Soc. sci. 12, P.329-342 d'après chem. Abstr. 1966,  
vol. 5 P.7311.

92 - MERLE (1959)

La fertilisation en cultures fruitières exotiques. Coll.  
Abidjan sur nutrition minérale et engrais. Edit. Centre de  
documentation de IFAC, P.2-12.

93 - MENIER.D. (1966)

Les plantations françaises d'Hévéa au Cambodge.  
C.R. Hebd. des Séances de l'Acad. d'Agric. de France: Edit. Acad  
d'Agr. de Fr. n° 2 P.160-170.

94 - MIEGE.E. (1956)

La fumure et le traitement des plantes par pulvérisation  
foliaire. J.Agric. Trop. Bot. appl. 1956, t3, n° 1-2, P.1-31.

95 - MIEGE.E. (1956)

Fumure et traitement des plantes par pulvérisation foliaire  
(suite). J.Agric. Trop. Bot. appl. 1956 t3-4, P.163-199.

96 - MIEGE.E. (1956)

La fumure et le traitement des plantes par pulvérisation fo-  
liaire chelation et sequestration, l'informat. Maroc-Casablanca  
n° 78 17-12-1956 J.Agric. Trop. Bot. appl. 1956, t3 n° 3-4,  
P.191-194.

- 97 - MIKKELSEN.D.S. (1956)  
Response of rice to iron Compounds on alkali soils.  
Inst. Rice Comm. Newsletter 14, 4, P.1-4 d'après Trop. Abstr.  
vol. 21 n° 11, P.702.
- 98 - MILLIKAN.C.R. (1965)  
Effects of Chelation and of various Cations on the mobility  
of foliaire applied Zn in Australian.  
J.Biol. Sci. 18 (5) P.953-957 d'après Chem. Abstr. 1966 n° 5  
P.7316.
- 99 - MIYASAKA S et ses coll. (1964)  
Adubacac da Soja (La fumure du soja) Action N.P.K.S. et des  
Oligo-éléments sur sol botucatu avec végétation de savane -  
Bragantia, Brasil 1964, t23, n° 7 P.65-71, d'après trop. Abstr  
Nether 1966, t21 n° 1 P.28 Abstr. n° 93.
- 99A - MOGHE V.D. et MATHUR G.M. (1966)  
Status of boron in some arid soils of western rafas than.  
Soil Sci. and plant Nutrition, 12, n° 3 Mai 1966, 11-14.
- N -
- 99B - RAIR G.G.K, MEENA BV (1969)  
Status of zinc in soils of western India.  
Soil Sci. 1959, 87, 155-159 (AUBERT ORSTOM).
- 100 - NELSON.L.C. et ses coll. (1956)  
Copper requirements and deficiency symptoms of a member of  
field and vegetable Crops. Soil Sci. Soci. Amer. Proc., 20

n° 1, P.69-72.

101 - NELSON.C.E. et... (1962)

Yields and plant responses of six soybean varieties to nitrogen and zinc fertilization.

Wash agric. Exp. Sta-Bull 1962, P.12; d'après soil and fertilizers 1963, t26, N2, P.141. Abstr. n° 1037.

- 0 -

102 - OLLAGNIER.N. et PREVOT (1956)

Composition du diagnostic et de l'analyse des sols pour la détermination du besoin en engrais. Analyse des plantes et problème des fumures minérales. Edit. IRHO, P.262-270.

- P -

103 - PEIVE.Y.V. et... (1961)

Effect of Copper on the carotenoid content of plants.

Fiziol-Rast, 1961, t8, n° 4, P.449-453.

104 - PEJVE.J.A. (1960)

Effect du traitement des graines avant les semis par un mélange d'Oligo-éléments (en Russe).

Latv P.S.R., Zinat-Vestis 1960, n° 7, P.139-145; d'après Bull-signal. CNRS. 1961, (18) t22, n°3, P.167.

104A - PEYVE YV. , IVANOVA N.N. , KARELINA LV. (1959)

Die Bor - Gehalte in den Böden Lettlands.

Latvia SSR (Riga) 1959; 34-47 (Résumé de M<sup>lle</sup> AUBERT ORSTOM).

104B - PINTA M. et OLLAT C. (1961)

Recherches physico-chimique des éléments Traces dans les sols Tropicaux. Geochimica et cosmochimica acta vol.25 n° 1 P.14-25.

104C - PINTA M. (1962)

Recherche et Dosage des éléments traces.

Spectrophotométrie d'absorption, Spectrophotométrie d'émission polarographique.

Edit. DONOD Paris 1962 P.13-15, 127-133.

105 - POLIFIÈRE J.P. (1963)

Modes d'expression des déséquilibres minéraux chez l'Hévéa et observation sur les traitements-Rev. gén. Caoutchouc - 40, P.1329-1338.

106 - POLINIÈRE J.P. et... (1964)

Bilan des mouvements en éléments minéraux sur cultures d'Hévéa au Viet-Nam (avec les tableaux). Rev. gén. Caout. vol.41 n°11 1964, P.1665-1672.

107 - PIZER N.H. et ses coll. (1966)

Investigations into copper deficiency in crops in East Anglia- J. Agric. Sci. G.S., vol. 66, n° 3, P.303-314.

108 - FRANORAH J.C. et... (1956)

L'alimentation minérale des organes d'après l'analyse des feuilles. Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales Edit. IRHO P.3, P.322-337.

109 - PREVOT P. (1954)

Diagnostic foliaire du palmier à huile et de l'arachide.

Coll. sur analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux

Edit: IRHO, P.239-263.

110 - PREVOT.P. (1956)

Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales. Edit. IRHO, P.177-194.

111 - PREVOT.P. (1957)

Les Oligo-éléments chez les végétaux.

Rev. Oléagineuse, Edit. IRHO, Mai 1957, P.141-144.

112 - PREVOT.P. (1959)

La méthodologie des recherches sur la nutrition à l'IRHO.

Coll. ABIDJAN sur nutrition minérale et engrais. Edit. centre de documentation de l'IFAC, P.115-122.

113 - PREVOT.P. (1959)

Oléagineuse tropicaux et Oligo-éléments.

Rev. Oléagineux 1959 n° 6, P.371-375.

114 - PREVOT.P. (1960)

Law of minimum and Balanced Mineral nutrition.

Plant analysis and fertilizers problems, Edit. Walter. Reuther, P.257-277.

115 - PY.C. (1963)

Recherche sur la fumure de l'ananas-Journées d'étude sur la nutrition minérale des plantes fruitières tropicales. Edit. Fr de Recher. Fruit. Outre-Mer, 1964, P.19-36.

- R -

116 - RANEJA.P.C. et... (1959)

Crop response to micro-nutrients under indian condition ind.

J. Agric. 1959, t3, n° 4, P.254-263; d'après coton et fibres  
Tropicales 1960, t15, n° 2 P.111.

117 - RAMBEAUX.J. (1963)

Terre rouge basaltique et nutrition de l'Kévée dans les condi-  
tions écologiques du Cambodge. Opuscule de l'IRCC n° 2/63.

117A - REDDY . CR . (1964)

Le molybdène dans les sols de l'Inde de l'Ouest (en Anglais)  
India J. Agric. Sci. 1964, 54, 219-233. Soils and fertilizers  
68 Février 1966.

118 - RICHARD.H. (1959)

Amendements, engrais Oligo-élément; les Oligo-éléments. Pro-  
ductivité de la terre, Edit. FLAMMARION 26 Rue Racine Paris,  
P.7, 15.

119 - RICHARD.L. (1959)

Méthode des Recherches et difficultés rencontrées-coll. Abidjan  
sur nutrition minérale et engrais, Edit. Centre de documenta-  
tion de l'IFAC P.121 et suivante.

120 - RICHARD.L. (1960)

Inter. dépendance des éléments de la nutrition minérale, métho-  
de d'étude des fumures. Plant analysis and Fertilizers-problems  
edit. walter-Deuther P.278-296.

121 - RAPPORT Ann. de l'IRHO (1957)

Teneur en Oligo-éléments, P.30 (pour cocotier)

122 - RAPP. Ann. IRCC (1951)

123 - Rapp. Ann. de l'IRHO (1959)

Oligo-éléments. Fumures minérales, P.20-22.

124 - Rapp. Ann. IRCC (1956)

- 125 - Rapp. Ann. IRCI (1959)  
P.3-35, 147-172.
- 126 - Rapp. Ann. IRCC (1952)
- 127 - Rapp. Ann. IRCC (1964)  
Stimulation, P.37-40; composition minérale des tissus P.37-40,  
61 - 65.
- 128 - Rapp. Ann. de Mauritius Sugar (1967)  
Industry research institute (1962)  
sur teneur des Oligo-éléments dans la canne à sucre-(document  
Nogent sur Marne).
- 128A - MODINA . EM . (1965)  
Teneur et répartition du zinc dans les sols châtains de la  
région de Stavropol Srudÿ stavropol'sel'khoz Inst. 14, 65-67.  
Soils and Fertilizers n° 1631 Juin 1967.
- 3 -
- 128B - SCHEIDBECKER .D. (1959)  
Méthode d'études des besoins minéraux des plantes. Edit.  
ORSTOM 1959 P.66-67 (Niveaux critiques); 125-132 (Injection);  
132-136 (vaporisation foliaire); P.109, 113-115 (Symptôme de  
carence et de toxicité, traduction article sur étude des symp-  
tômes visibles de carence ou de toxicité écrit en Anglais par  
WALLACE en 1945 sous le titre de "the diagnosis of mineral de  
ficiencies in plant bay visual symptôms).
- 129 - SCHROCK.H. (1959)  
Acute zinc deficiency observed in cacao on certain soil types

in Netherlands New GUINEA (Nlle Guiné Hollandaise).

Netherlands J. Agric. Sci. 1959, t7 n° 4, P.309-316.

130 - SHORROCKS V.M. (1964)

Mineral deficiency in Hevea and associated cover Plants.

Pub. Rubber Reseach Institute of Malaya (RRIM) P.3-6, 9-10,  
36-55.

131 - SHORROCKS V.M. (1966)

Leaf analysis as a guide to the nutrition of Hevea brasiliensis  
variation in leaf nutrient composition with age of leaf and  
with time J.Rubbe Res Inst. Malaya 19, 1, P.1-8 d'après Trop.  
Abstracts vol.21 n° 2, P.118.

132 - SIL'CHENKO.N.F. (1963)

Use of super phosphate and molybdénum in cultivating legume  
crop Vestv S.KH.Nauké 1963, n° 7, P.36-40; d'après soils and  
fertilizers 1965 t26, n° 6, P.425 Abstr. n° 3505.

132A - SINGH . S ., SINGH B. (1966)

Etudes sur les Oligo-éléments de quelques sols alcalins et de  
même type en UTTAR - PRADESH (en Anglais).

J. of ind. Soc. Soil Sci. Mars 1966, 14, 1, 19-23.

133 - SONNAY.P. (1913)

Arachide hypogée - Le manganèse dans les légumineuses -

Les plantes tropicales alimentaires et industrielle de la

famille de légumineuses. Biblic. d'après Coloniale - Augustin

CHALLAMEL edit. P.60-72, 245-249.

133A - SKOL'NIK . M . Ja. (1962)

Le rôle physiologique des micro-éléments chez les végétaux.

D'après revue "Oléagineux" n° 1 Janvier 1962 P.1-14  
(Tableau des enzymes SKOL'NIK et STANKEY).

133B - STANCHEV.L., CYUMOV.K. (1962)

Zinc as a trace element in the principal types and subtype of Bulgarian soils.

"Fushkarov 4, 133-144 d'après soils and Fertilizers n° 1646  
Août 1963.

133C - STANKEY . R . (1965)

Relation of micronutrients to developpement of micro organisms.  
Soils Sci., 79, 1, 1-15. D'après "Oléagineux" n° 1 Janvier  
1962 article de SKOL'NIK. (rôle des Oligo-éléments cité par  
SKOL'NIK).

133D - STRAHOV .T.D. et JAROSENIKO T Ja (1952)

Rôle des micro-éléments dans l'augmentation de la résistance  
des plantes aux maladies. Coll. "les micro-éléments dans la  
vie des plantes et des animaux" 603-612. D'après "Oléagineux"  
n° 1 Janvier 1962 P.10.

134 - TAVERNIER.J. et ses coll. (1949)

C.R. Acad. Agric. de France 1949, n° 7, P.275.

135 - TERRERANADU.R.W. (1967)

Micronutrients for plant growth.

World Crops, England 1967, t19, n° 1, P.57-60.

136 - THELLIER.L.H. (1960)

Alimentation foliaire en bore de Raphanus sativus.

Plant analysis and fertilizers problems éd. walter. Reuther,  
P.297-300.

137 - TIXIER.M. (1952)

Laboratoire d'analyse et de physiologie. Rapport ann. IRCI, P.

P.72-78, 86-95 TIXIER.M. et Mme CHAMPAGNE (1953)

Rapp. Ann. ISCV 1953, P.103-114.

138 - TIXIER et BIZALION (1953)

Rapp. Ann. IRCI, P.126-137.

139 - TOLHURST.J.A.E. (1962)

The tea quarterly - the J. of the tea Reseach Insti. of Ceylan

140 - TOLLENAAR.D. (1959)

Inerzased cacao production by foliar copper applications as  
an affect additional to witches' broom disease control Trop.  
Agric. 1959, t36 n° 3, P.177-188.

141 - TOLLENAAR.D. (1966)

Borom deficiency in cacao, banas and other crops on volcanic  
soils of Ecuador - Netherl. J.Agric. sci. 14 n° 2, P.138-151.

141A - TROBISH . S . (1962)

The molybdenum Status of soils in thuringia.

Deutsch Akad. Landw. Tagungsber vol. 56, P.55-64.

D'après Soil and Fertilizers n° 686 Avril 1964.

142 - TROCNE.S. (1954)

Quelques exemples de contribution de l'analyse des plantes ou  
diagnostic des insuffisances de production des cultures. Coll.  
Analyse des plantes et des problèmes des engrais minéraux Edit.  
INHO, P.111-120.

142A - TRUOG . E . (1946)

Proc. Soil Sci. Soc. Am. 1946, vol.11. Cité par LAVOLLAY puis

par cours d'Agriculture générale de M. GAUTIER .P. professeur  
de l'I.T.P.A. P.75.

- W -

143 - WALSER.J.C. (1948)

Zinc deficiency in deciduous trees.

J.Dept. Agric. Viet. 1948, t46, p.320; d'après Hortico. Abstr.  
1949; t19 n° 1, p.25.

144 - WALTHAM:MASS. (1950)

Trace elements in plant physiologie. Pub. the Chronica. Bota-  
nica company (U.S.A.) P.7-8, 19, 34, 41-45, 53-56, 63-93,  
116-117, 136.

145 - WALLACE.A. et ses coll. (1955)

Comportement des Agents de chelation dans les plantes (en  
Anglais) Proc. Am. Soc. Hort. Sci., t65, p.9-16.

146 - WALLACE.A. et... (1959)

Responses of plants to zinc and manganese chelates.

Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1959, t23, n° 1, p.79.

147 - WALLACE.T. (1954)

The application of trace element to crop. Coll. Analyse des  
plantes et problèmes des engrais minéraux - Edit. IRMO, p.22-26

148 - WALLACE.T. (1956)

Methode of diagnostic the mineral Status of plants.

Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales. Edit.  
IRMO Paris p.15-22.

149 - WATSON.G.A. et... (1966)

Effect of fertilizers on seed production by Bevea brasiliensis

- J. Rubber Res. Inst. Malaya, 19, 1, P.22-31 d'après trop.  
Abstracts vol. 21 n° 2 P.119.
- 150 - WEIR, R.G. (1967)  
Molybdenum deficiency in maize-Agr. gaz NWS Wales 77, 10, P.578  
82, zinc deficiency corrected in North West maize Crop;  
d'après Trop. Abstr. vol.22, n° 4, P.215 abstr. q-646.
- 151 - WEIR, R.G. (1967)  
Zinc deficiency corrected in North West. maize crops. Agri.  
gaz.N.W.S. Wales 77, 10, P.620-2, 1960. D'après trop. Abstr.  
1967 vol.22, n° 4 P.215 Abstr. q-647.
- 152 - WEST, S.H. et... (1965)  
Physiological and biochemical fonction of micro-elements.  
Proceed the soil and crop Society of Florida t25, P.85-95.
- 153 - WILSON, J.P. (1966)  
Zinc deficiency on the Shallow Soils of Nive-ii-effects of  
zinc sulfate on the yield and nutrient composition of Crota-  
laria and sweet Corn. New zealand-J-Agr.Res.9 (3) P.748-770.  
Chem. Abstr. 1966 P.20-739.
- 154 - WIEHL, L.V. (1959)  
Foliar and soil application of iron compounds control iron  
chlorosis on grain sorghum.  
Agron. J. 1959; t51, n° 8, P.474-478.

- Y -

- 154A - YAMAMOTO . A . AOZAI . M . (1965)  
The behaviour of molybdenum in soils and plants.  
J. Sci. Soil TOKYO 34, 174-176, d'après Soils and Fertilizers  
n° 2502 Octobre 1964 (pour niveau critique chez le riz).

- Z -

- 155 - ZHIZNEVSKAYA.G. (1961)  
The effective ness of Concurrent application of molybdenum and  
copper Under agricultural crops.  
Mikro element UROZH... 1961, 3, P.77-104; d'après soils and  
fertilizers 1962, t25, n° 6, Abstr. n° 3470.