

Les oligoéléments dans la nutrition du palmier à huile

J.-M. ESCHBACH (1)

Résumé. — La première expérience de l'I. R. H. O. d'application d'oligoéléments aux champs avait été mise en place dès 1947 à Etoumbi (Congo) sur des arbres souffrant d'une maladie de dépérissement. Devant les résultats positifs obtenus lors de ce premier essai, l'I. R. H. O. réalisa ensuite, dans des situations très diverses, une expérimentation importante dans les oligoéléments (Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) pour déterminer leur rôle dans le cas d'anomalies de croissance, de production ou d'état sanitaire des palmiers. Le présent article fait donc l'inventaire de toutes les teneurs des sols et des feuilles qui ont été déterminées à l'occasion de ces travaux, et analyse les effets des applications d'oligoéléments sur le comportement du palmier. Les essais réalisés avec de jeunes plantules élevées en solutions nutritives montrent que tous les éléments B, Cu, Fe, Mn, Zn sont indispensables pour obtenir une croissance normale. Par contre, les résultats des essais au champ montrent que seul le bore peut devenir déficient au jeune âge pour des sols voisins de la neutralité, le cuivre étant par ailleurs connu pour être déficient sur les sols tourbeux très acides. Par contre, pour les autres éléments et même pour le manganèse et le zinc qui sont facilement absorbés par le palmier, on n'a jamais obtenu, quels que soient le type et la teneur des sols, de réponse de la part de la croissance, de la production et de l'état sanitaire. Cette absence d'effet est expliquée par le fait que le pH du sol, qui détermine la disponibilité des oligoéléments, est plus important que les teneurs et que, dans la plupart des cas, les sols cultivés en palmiers à huile ont un pH qui assure une disponibilité normale ou maximale des oligoéléments pour la plupart des plantes. Les cas de carence en bore et en cuivre apparaissent pour le palmier à des pH où ces éléments sont également déficients pour la plupart des plantes.

Dès sa création, et du fait qu'il entamait des recherches au Congo-Brazzaville et en Afrique occidentale sur des sols à dominante sableuse et chimiquement très pauvres, l'I. R. H. O. avait estimé indispensable d'accompagner les études sur les éléments majeurs par des recherches sur les oligoéléments. Ainsi, dès 1947, était mise en place sur une palmeraie d'une quinzaine d'années une expérience [3] comparant l'action d'une fumure complète NPK, associée à différents oligoéléments (bore, manganèse, cuivre, fer, zinc). Cette palmeraie était atteinte d'un dépérissement appelé « Boyomi ». Après trois ans, alors que la fumure NPK restait sans action, chacun des oligoéléments étudiés montrait une action sensible. On pensa à l'époque que cet aspect de la nutrition minérale pouvait revêtir une importance considérable, et les expériences nouvelles furent établies tant au niveau des pépinières qu'à celui des plantations.

Les déterminations des teneurs dans les feuilles furent effectuées systématiquement dans de très nombreuses situations pour tenter d'expliquer des anomalies de croissance, de production ou d'état sanitaire. L'I. R. H. O. dispose ainsi de plusieurs milliers de résultats analytiques dont il apparaît intéressant de dresser un inventaire général, tout d'abord pour le palmier ; le cocotier fera ultérieurement l'objet d'un autre article. Les teneurs (Tabl. I) citées dans cet inventaire sont relatives à des échantillons de sols ou de feuilles prélevés dans des situations diverses : expériences ou essais de fertilisation, contrôles de la nutrition minérale de plantations industrielles, manifestations d'anomalies de croissance ou d'état sanitaire.

Dans le cours de cet article, on étudiera successivement l'aluminium, le bore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène, le zinc. Pour chaque élément, après le rappel des principales généralités, on commentera successivement les teneurs des feuilles ou des sols

en fonction des situations géographiques ou des types de sols, puis les résultats des essais effectués par l'I. R. H. O. en vase de culture ou au champ.

I. — ALUMINIUM

1. — Généralités.

La solubilité de l'aluminium augmente très rapidement dans les sols acides lorsque le pH devient inférieur à 5,5. L'aluminium peut alors devenir toxique en s'accumulant dans les racines et en bloquant la croissance. La toxicité est souvent associée à une déficience en phosphore dans les plantes car les taux élevés d'Al soluble entraînent une insolubilisation du phosphore du sol. Les cas de toxicité peuvent être corrigés par une fertilisation phosphatée et un relèvement du pH du sol.

Les teneurs dans les plantes sont de l'ordre de 200 ppm.

2. — Résultats I. R. H. O.

Parmi certains sols consacrés à la culture du palmier, on relève les teneurs suivantes en Al total : 61 p. 1 000 à La Mé, en Côte-d'Ivoire, pour des sols tourbeux (pH 4,1) et 107 p. 1 000 à Tatiana, en Equateur, pour des sols formés sur des sédiments volcaniques (pH 5,2).

A Madagascar (pH 5,2), les teneurs en Al libre de sols semi-tourbeux, sont de 4 p. 1 000 et de 0,4 p. 1 000 en Al échangeable.

L'inventaire géographique montre que, pour le palmier, les teneurs de la feuille 17 seraient plus élevées pour les sols ferrallitiques très désaturés, formés sur les sables tertiaires du Cameroun et de Côte-d'Ivoire que sur tout autre type de sol. On n'observe pas de relation entre les teneurs des sols et celles des feuilles (Tabl. II).

Des prélèvements saisonniers effectués en Côte-d'Ivoire et en Equateur montrent que les teneurs foliaires peuvent varier dans le rapport 1 à 3 au cours de l'année.

(1) Département Agronomie I. R. H. O.-I. R. H. O./GERDAT, B. P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

TABLEAU I. — Inventaire géographique. Teneurs en oligoéléments des feuilles de rang 9 et 17 du palmier, en ppm, et nombre d'échantillons analysés (entre parenthèses)
(*Geographic inventory. Micronutrient contents of oil palm leaf rank 9 and 17 in ppm, and number of samples analyzed [in brackets].*)

	Al		Cu		Fe		Mn		Mo		Zn	
	R9	R17	R9	R17	R9	R17	R9	R17	R9	R17	R9	R17
AFRIQUE (AFRICA)												
Angola												
— Boa Venturala.....				9,0 (8)		103 (8)		101 (8)				15 (2)
— Cada.....				9,0 (2)		115 (2)		39 (2)				
Bénin												
— Pobé.....			6,7 (48)	8,4 (43)		154 (25)	310 (48)	379 (51)				18 (20)
Caméroun (Cameroon)												
— La Dibamba.....		96 (8)	12,0 (32)	8,6 (31)	169 (32)	126 (15)	231 (32)	307 (29)		0,17 (10)		18 (8)
— M'Bongo.....						155 (5)		370 (5)		0,30 (5)		28 (5)
— N'Kapa.....				15,3 (16)				618 (58)		0,12 (16)		41 (16)
Congo Brazzaville												
— Cie Cong. Hévéa.....				7,9 (14)				529 (14)				
— Etoumbi.....				11,1 (12)				258 (45)				
— Ouesso.....				11,0 (12)		182 (12)		755 (12)				
— Sibiti.....				9,4 (6)		116 (6)		405 (47)				
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)												
— La Mé.....		112 (109)		8,6 (284)		152 (287)		491 (287)		0,10 (48)		22 (128)
— Dabou.....		104 (40)	9,2 (40)	8,7 (124)	260 (35)	201 (105)	265 (40)	247 (215)			37 (24)	25 (64)
— Grand-Drewin.....				10,2 (41)		138 (31)		250 (41)				24 (6)
— Ehania.....		112 (3)	10,8 (21)	10,5 (13)	141 (21)	140 (13)	160 (21)	227 (13)	0,20 (2)	0,52 (3)	21 (16)	22 (7)
— Youhouli.....	< 50 (1)	< 50 (3)	12,8 (1)	11,6 (3)	82 (1)	117 (3)	89 (1)	148 (3)	0,26 (1)	0,17 (3)		
— La Toumanguié.....	265 (11)		14,1 (2)	12,3 (17)		263 (11)	254 (2)	302 (17)		0,06 (11)		
— Tombokro.....				7,4 (6)	102 (6)		350 (6)					21 (6)
— Tabou.....		60 (2)				144 (2)		341 (2)		0,25 (2)		30 (2)
Gabon												
— M'Vily.....				10,1 (6)		131 (6)		413 (6)				
Guinée Equator. (Equat. Guinée)												
— Fernando Poo.....				7,3 (2)				64 (3)				
— Rio Muni.....			14,9 (2)	14,8 (2)	207 (2)	182 (2)	727 (2)	820 (2)				
— Rio Benito.....							341 (4)					
Madagascar												
— Manakara.....		66 (6)	6,1 (4)	5,9 (10)				419 (6)				
— Sambava.....	35 (2)	18 (3)					333 (2)	617 (3)				
— Tamatave.....	63 (34)	59 (16)	8,7 (10)	7,7 (14)	136 (16)	134 (16)	458 (34)	569 (16)	0,14 (9)	0,14 (4)	19 (9)	21 (4)
Zaïre												
— Yalingumba.....			5,2 (5)		95 (5)		74 (5)					
AMÉRIQUE (AMERICA)												
Brésil (Brazil)												
— Belém.....				4,4 (12)		64 (12)		221 (12)				30 (12)
— Iguape.....			6,7 (4)	5,9 (2)	119 (4)	87 (2)	636 (4)	86 (4)			23 (4)	18 (2)
— Una.....	38 (4)	40 (2)	6,2 (4)		92 (4)			69 (2)				
Colombie (Colombia)												
— San Alberto.....	43 (4)	56 (16)	7,0 (4)	7,1 (35)		134 (56)	55 (20)	55 (85)		0,30 (17)	21 (31)	15 (53)
— Coldsas.....		37 (12)		7,6 (10)		132 (12)	51 (14)	71 (124)		0,06 (12)		24 (10)
— Risaralda.....	39 (2)	40 (33)	8,0 (2)	8,0 (33)	132 (7)	119 (33)	134 (7)	179 (33)	0,16 (2)	0,47 (33)	35 (7)	19 (33)
— Monterrey.....			5,1 (4)	6,2 (32)		112 (5)	125 (4)	247 (32)			23 (4)	22 (32)
— Bogota.....						103 (4)		174 (5)				
— Incora.....				9,1 (4)				880 (4)				
Equateur (Ecuador)												
— Santo Domingo.....		75 (6)		8,0 (6)		430 (6)		83 (16)		0,63 (6)		42 (6)
— Tatiana.....		66 (3)		6,0 (2)		189 (2)		88 (2)				19 (2)
Pérou (Peru)												
— Tocache.....	16 (8)		7,9 (8)		118 (8)		334 (21)	435 (8)	0,28 (8)		21 (8)	
Venezuela												
— Puerto Caballo.....			9,5 (4)				69 (4)					
— Las Majaguas.....				6,8 (3)		133 (3)		41 (3)				19 (3)
ASIE (ASIA)												
Indonésie (Indonesia)												
— Aek Loba.....			7,1 (5)	4,7 (17)		93 (8)	468 (2)	547 (17)	0,10 (2)	0,10 (17)	18 (2)	19 (17)
— Bangun Bandar.....		38 (4)	12,9 (1)	6,8 (9)			559 (1)	498 (8)	0,30 (1)	0,11 (4)	19 (1)	17 (4)
— Mata Pao.....		43 (6)	4,5 (1)	5,2 (13)		95 (3)	288 (1)	519 (13)	0,40 (1)	0,13 (13)	15 (1)	24 (13)
— Negri Lama.....		16 (9)		6,4 (10)		79 (7)		597 (10)		0,09 (10)		17 (10)
— Lae Butar.....			5,8 (1)	7,8 (1)			360 (1)	620 (1)	0,07 (1)	0,10 (1)	17 (1)	19 (1)
— Seumanjan.....				11,8 (4)				287 (4)		0,07 (4)		20 (4)
— Seunagan.....			12,9 (1)	10,2 (3)			278 (1)	417 (3)	0,04 (1)	0,10 (3)	16 (1)	16 (3)
— Sungei Liput.....			7,8 (1)	7,5 (8)			751 (1)	894 (8)	0,04 (1)	0,06 (8)	21 (1)	20 (8)
— Tanah Gambus.....		56 (24)	5,0 (2)	9,4 (28)		125 (24)	369 (1)	444 (28)	0,10 (1)	0,17 (28)	16 (1)	31 (28)
Malaisie (Malaysia)												
— Jendarata.....		53 (5)		8,1 (19)		83 (5)		485 (19)		0,10 (5)		9 (5)
— Sungei Bernam.....		28 (1)		9,8 (2)		85 (1)		623 (2)		0,07 (1)		11 (1)
— Ulu Bernam.....		29 (4)		8,5 (20)		70 (4)		416 (20)		0,13 (4)		14 (4)

TABLEAU II. — Teneurs en aluminium (ppm) des feuilles de palmiers pour quelques types de sols
(Al contents [ppm] of oil palm leaves in a few soil types)

Pays et localisation (Country and place)	Sols (Soils)			Teneurs foliaires (Leaf levels) rangs (ranks)	
	Origine (Origin)	pH	Al échangeable (exchangeable Al) m é/100 g	9	17
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) La Mé.....	Sables tertiaires (Tertiary sands)	4,7	0,34		112
Madagascar Tamatave	Alluvions (Alluvial soils)	5,0	7,8	63	59
Pérou (Peru) Tocache	Alluvions (Alluvial soils)	4,9	1,07	16	

3. — Conclusion.

Les résultats connus à ce jour montrent que pour le palmier à huile, et contrairement à d'autres plantes, il n'y a pas lieu de redouter de problèmes dus à un excès d'aluminium échangeable du sol qu'il faudrait combattre par un chaulage (pratique très souvent recommandée) même pour les oxysols du Brésil (Nord Para, région de Bahia).

II. — BORE

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Les teneurs en bore disponible des sols tropicaux varient de 0,1 à 2,5 ppm [10] et des déficiences sont possibles pour des teneurs inférieures à 0,3-0,5 ppm [1]. Ces déficiences peuvent apparaître aussi bien dans les sols légers, sableux et pauvres en matière organique que dans les sols acides désaturés, ou dans les sols basiques. Les cas de toxicité se rencontrent surtout sur sédiments marins. Les teneurs en bore total varient de 5 à 150 ppm [6].

b) Dans la plante.

Dans la plante, les niveaux sont considérés comme normaux lorsqu'ils varient de 20 à 100 ppm, déficients lorsqu'ils sont inférieurs à 20 ppm et toxiques lorsqu'ils sont supérieurs à 200 ppm.

Chez le palmier, l'absence de bore se traduit par une accumulation de phénols qui inhiberaient l'activité de l'acide indole-acétique oxydase. En s'accumulant l'auxine provoquerait des désordres physiologiques. Le bore jouerait aussi un rôle dans le transport des glucides, la synthèse des protéines et la phosphorylation oxydative.

Les teneurs de la feuille 17 du palmier, qui varient de 5 à 20 ppm [16], sont faibles par rapport à celles des autres plantes. En Malaisie, en particulier, elles varient de 10 à 16 ppm. Un cas de toxicité y a été observé sur de jeunes plants de 18 mois dont la teneur de la feuille 3 était supérieure à 250 ppm [15].

Toujours en Malaisie, on a mis en évidence l'influence des faibles teneurs en bore sur les attaques d'acariens en pépinière [16].

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

En Côte-d'Ivoire, les teneurs en bore soluble des sols ferrallitiques très désaturés, formés sur les sables tertiaires, varient de 0,1 à 0,5 ppm, avec une moyenne de 0,4 ppm et les teneurs foliaires des palmiers plantés sur ce type de sol varient de 10 à 14 ppm.

Les teneurs des feuilles varient autour de 12-14 ppm pour les palmiers plantés dans des conditions écologiques différentes et sur des sols d'origines aussi diverses que les sols ferrallitiques moyennement désaturés formés sur les sédiments argilo-sableux du Continental terminal du Bénin, les sols ferrallitiques très désaturés dérivés des sédiments sableux tertiaires du Cameroun et des latosols en République populaire du Congo.

En Colombie, en Equateur et au Pérou, dans des conditions écologiques particulièrement favorables, les teneurs en bore des sols alluviaux récents et des andosols sont légèrement inférieures à celles d'Afrique (0,2 à 0,3 ppm en moyenne) mais les teneurs natives des feuilles restent comparables.

b) Résultats expérimentaux.

— En aquiculture :

Les essais effectués sur de jeunes plantules élevées en condition de nutrition contrôlée ont permis de confirmer les symptômes visuels de déficience trouvés en plantation (« Little leaf » et forme en oignon) et de mettre en évidence les symptômes de toxicité (forme en poireau et forte réduction de la taille). Les plants carencés et réapprovisionnés en bore se rétablissent rapidement au bout de deux semaines.

Les teneurs de la feuille 4 de ces jeunes plantules, même en cas de carence grave, ne descendent pas en dessous de 4,5 ppm. Les teneurs normales dans les mêmes conditions étant de 5 ppm, il est impossible d'établir un niveau critique.

Des concentrations de la solution nutritive aussi élevées que 370 ppm ne produisent pas de phénomène de toxicité. Il faut pour cela atteindre des concentrations de l'ordre de 2 000 ppm.

— Au champ :

Les divers essais d'application de bore sur jeunes plants ou arbres adultes ont toujours significativement relevé les teneurs dans les feuilles mais on n'a jamais

observé d'influence des apports de bore sur la croissance des palmiers qui ne présentent pas de désordre foliaire, ni sur leur production.

Une expérience factorielle 3⁴ réalisée à San Alberto (Colombie) (Tabl. III), étudiant deux doses de borax (55 et 110 g/arbre/an) dans une situation où le niveau de production moyen était de 25,5 t de régimes/ha, n'a montré, pendant dix ans, aucune réponse des rendements malgré un effet sur les teneurs.

TABLEAU III. — Colombie — San Alberto.
Expérience (Experiment) SA-CP 2

Doses de borax (Rates of borax) g/arbre (tree).....	0	55	110
Teneurs en bore des feuilles (Bo- ron content leaf) 17 moyenne 3 ans (mean for 3 years) 1977-1979 (ppm)	13,6	24,5 **	27,9 **
Production : kg régimes/arbre (kg bunches/tree) moyenne 3 ans (mean for 3 years) 1977-1979	192	190	190

On a pu corriger de façon spectaculaire des anomalies de croissance telles que folioles en baïonnette, « Little leaf », et absence prolongée d'émissions foliaires [4, 14].

Il peut arriver que des attaques d'insectes, notamment l'*Oryctes*, entraînent des anomalies de croissance comparables mais, bien entendu, elles ne sont pas corrigées par des apports de bore.

En Indonésie, des déficiences spectaculaires en bore ont été observées dans des plantations qui ont pratiqué la méthode d'interplantation dans l'année qui suit l'élimination des vieux arbres. Cette éclaircie entraîne une croissance rapide des jeunes palmiers. Le pourcentage de palmiers affectés et l'intensité des anomalies sont beaucoup plus élevés dans les méthodes d'interplantation que pour les méthodes d'extension ou de replantation.

c) Conclusion.

Des déficiences passagères peuvent se produire en plantation au jeune âge lorsque la vitesse du développement végétatif est particulièrement importante. Il est probable que ce sont les fortes demandes du palmier à un moment donné qui déterminent les carences plutôt que les faibles teneurs du sol. Par ailleurs, compte tenu des résultats obtenus jusqu'à présent, il semble que les besoins répondent à la loi du tout ou rien, le niveau dans les feuilles ne descendant pas en dessous de 10 ppm, si bien qu'il est difficile de proposer un niveau critique. D'autre part, aucune réponse n'a été obtenue à ce jour, après apport de bore, quand les arbres ne présentent pas de désordres de croissance.

III. — CUIVRE

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Les teneurs en Cu total varient de 10 à 150 ppm [6] et celles de Cu disponible de 10 à 50 ppm [10]. Des

carences en Cu peuvent apparaître surtout sur des sols acides désaturés et aussi sur des sols calcaires ou des sols riches en matière organique (tourbe) ou en azote, phosphore et zinc.

b) Dans la plante.

Le cuivre est un constituant de la cytochrome oxydase, enzyme respiratoire, et de la plastocyanine, transporteur d'électrons intervenant dans la photosynthèse. Il entre aussi dans la constitution des polyphénoloxydases.

D'après Chapman [1], les teneurs dans les feuilles sont considérées comme normales lorsqu'elles varient de 5 à 20 ppm. Il y aurait déficience pour des teneurs inférieures à 4 ppm, et excès pour des teneurs supérieures à 20 ppm.

Un large inventaire [8] des teneurs des feuilles de rang 17 de palmiers plantés sur une trentaine de séries de sols minéraux de la péninsule malaise donne une fourchette de 4,6 à 7,1 ppm pour les teneurs moyennes par série de sol, les valeurs extrêmes étant 2,9 et 9,8 ppm. Cependant, d'autres auteurs donnent des fourchettes de variations différentes : 3 à 8 ppm [16] ou 6 à 15 ppm [11].

Mais il faut signaler le cas particulier des plantations réalisées sur les sols tourbeux de Malaisie, qui extériorisent des anomalies de l'appareil foliaire appelées « chlorose du milieu de la couronne » et, surtout, « jaunissement des tourbes » ; les symptômes [11] s'accompagnent d'une mauvaise croissance (raccourcissement des feuilles) et d'une perte considérable de production. Plusieurs auteurs [2, 7, 8, 12, 13] ont montré que ces troubles étaient en relation avec de très faibles teneurs en cuivre des feuilles, qui sont voisines de 2 ppm ou qui sont parfois même inférieures à cette valeur. D'autres désordres nutritionnels, tels que faibles teneurs en azote, en potassium, se manifestent également.

Les résultats d'essais récents [2, 8, 13] montrent que des applications de cuivre peuvent normaliser la situation, à condition qu'elles ne soient pas effectuées trop tardivement car la récupération de palmiers âgés de plus de six ans est difficile. La pulvérisation sur les feuilles d'une solution faiblement concentrée de sulfate de cuivre (100-200 ppm) a un effet plus rapide que l'apport, au sol, de quantités plus importantes du même sel. L'apport périodique de faibles quantités de sulfate de cuivre au sol dès la plantation empêche, d'après certains travaux [8], l'apparition des symptômes. Pour certains auteurs [13], la croissance est réduite quand la teneur de la feuille de rang 3 des jeunes palmiers est inférieure à 3 ppm.

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

Pour 46 stations (954 analyses), la teneur moyenne en cuivre est de 8,5 ppm dans la feuille 17 et les valeurs extrêmes sont respectivement 1,3 ppm (Brésil) et 21,6 ppm (Cameroun).

Malgré des différences peu marquées entre les teneurs foliaires des différentes stations, on remarque néanmoins que certaines situations se distinguent plus particulièrement comme le montre l'exemple ci-après :

Il est intéressant de noter que des symptômes iden-

Localisations	Types de sols	Teneurs foliaires en Cu (ppm)
Côte-d'Ivoire	Sols ferrallitiques très désaturés sur sédiments sableux tertiaires.....	7 à 12
Sumatra (Negri Lama)	Sols alluviaux.....	10 à 11
	Sols podzoliques.....	5 à 9
	Sols tourbeux.....	3 à 5
Brésil (Belem)	Sols ferrallitiques très désaturés sur sédiments sableux tertiaires.....	1,3 à 10,1

tiques à ceux observés en Malaisie apparaissent sur les palmiers plantés sur les tourbes de Negri Lama (Sumatra) pour des teneurs foliaires de 3 ppm mais que, en revanche, aucun symptôme n'est apparu à ce jour à Belem (Brésil) sur des plantations de 12 ans, dont certaines ont une teneur aussi faible que 1,3 ppm. De plus, on n'observe pas à Belem de différences de production quand les teneurs varient de 1,3 à 9,1 ppm.

Si aucun cas de toxicité native n'a encore été démontré, on peut cependant craindre celle-ci dans des situations très particulières. Ainsi, une étude pédologique effectuée au Panama par l'I. R. H. O. a mis en évidence des teneurs en Cu assimilable de la couche superficielle du sol supérieures à 150 ppm pour des terrains encore plantés, quelques années auparavant, en bananiers souvent traités au sulfate de cuivre contre la cercosporiose.

Dans un test de géniteurs plantés en Côte-d'Ivoire, des différences significatives de la teneur en Cu de la feuille 17 ont été mises en évidence entre croisements. Ces différences sont cependant faibles puisque les teneurs étaient respectivement 9,8 ppm et 8,6 ppm.

b) Résultats expérimentaux.

— En aquiculture :

Une carence induite sur plantules entraîne une réduction importante du poids sec (— 68 p. 100) par rapport au témoin. On n'observe cependant aucun symptôme visuel caractéristique, non plus qu'une baisse des teneurs des feuilles dont les niveaux se situent autour de 3 ppm. Le palmier semble ajuster sa croissance de façon à maintenir un taux constant en Cu dans les feuilles.

— Au champ :

Les divers essais d'application au sol effectués en Afrique n'ont jamais entraîné d'augmentation des teneurs de la croissance ou de la production. La raison de cette absence de réponse de la part des teneurs peut être que la dose annuelle la plus importante apportée a été seulement de 200 g de sulfate de cuivre par arbre.

c) Conclusion.

Jusqu'à présent, les cas de carence en cuivre n'ont été observés que sur certains types de sols bien particuliers et riches en matière organique (tourbes). Les symptômes essentiels sont : une réduction de la croissance et un jaunissement des feuilles des palmiers. Ces symptômes apparaissent pour des teneurs foliaires très faibles : 2 ou 3 ppm. La carence peut être corrigée

par pulvérisations foliaires ou par des applications de sulfate de cuivre au sol, et elle peut être prévenue par des apports périodiques de faibles quantités de cuivre dès la plantation.

IV. — FER

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Les teneurs du sol en fer total sont en général élevées et varient selon les auteurs de 1 à 10 p. 100 [9] ou de 5 p. 1 000 à 5 p. 100.

Les déficiences sont essentiellement dues à des problèmes de disponibilité. Celle-ci diminue par suite d'un mauvais drainage (passage du fer à l'état ferreux), d'une augmentation du pH ou, pour les sols acides, d'une richesse excessive en phosphore ou en certains autres métaux lourds.

b) Dans la plante.

Le fer entre dans la composition de nombreuses enzymes (cytochrome, ferredoxine) qui jouent un rôle dans les transports d'électrons au sein du métabolisme énergétique (photosynthèse, respiration). C'est aussi un constituant de la catalase, de la peroxydase et de la succinodéshydrogénase (enzyme du cycle de Krebs). Son rôle dans la synthèse chlorophyllienne est encore mal connu.

Les teneurs dans les feuilles sont considérées comme normales lorsqu'elles varient de 50 à 250 ppm, et déficientes lorsqu'elles sont inférieures à 50 ppm [1].

En Malaisie, les teneurs dans la feuille 17 du palmier varient de 40 à 150 ppm [7].

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

Les sols plantés en palmiers étant généralement acides, la disponibilité en fer est toujours assurée et les teneurs dans la feuille 17 varient de 52 ppm au Brésil (sol ferrallitique très désaturé formé sur des sédiments sableux tertiaires) à 1 348 ppm en Equateur (sol formé sur sédiments volcaniques). Sur 38 stations (752 analyses), la teneur moyenne est de 134 ppm.

Les teneurs moyennes sont voisines pour des sols aussi différents que ceux formés sur les sables tertiaires (152 ppm à La Mé, extrêmes : 90-228 ppm), ou sur le socle de Côte-d'Ivoire (144 ppm à Tabou) ou encore sur les alluvions de Colombie (134 ppm à San Alberto, extrêmes : 95-320 ppm).

Pour un même type de sol, les teneurs foliaires peuvent varier localement du simple au double sauf au Brésil où elles sont faibles. Elles peuvent également varier suivant les méthodes culturales : précédent ou fumures ;

• A La Mé en Côte-d'Ivoire et pour les sols formés sur les sables tertiaires, les teneurs en replantation (219 ppm) sont supérieures à celles des palmiers plantés après l'abattage de la forêt (175 ppm). Par contre, en zone de savane, à Dabou et sur le même type pédologique de sol, ce sont les teneurs (582 ppm) des palmiers plantés après le défrichement de la savane qui sont

largement supérieures à celles des replantations (209 ppm).

● L'application de sulfate d'ammoniaque dans une expérience de fumure en Côte-d'Ivoire a relevé faiblement (+ 8 p. 100), mais significativement, le niveau de fer des feuilles des jeunes palmiers : 98 ppm pour la plus forte dose d'azote contre 91 ppm pour le témoin sans azote.

On observe aussi des différences significatives de teneurs suivant le type de matériel végétal dans les essais comparatifs de lignées de Côte-d'Ivoire. Ainsi dans l'essai LM-GP 9, la teneur de la lignée LM 1792 est de 215 ppm, tandis que celle de la LM 1725 n'est que de 176 ppm.

b) Résultats expérimentaux.

— En aquiculture :

L'absence de fer dans la solution nutritive entraîne une réduction considérable de la croissance (— 93 p. 100 du poids sec) par rapport au témoin, et un jaunissement caractéristique des feuilles. On n'observe, par contre, aucune incidence des carences sur les teneurs foliaires.

— Au champ :

Les divers essais d'apport au sol effectués n'ont jamais eu d'effet sur les teneurs, la croissance ou la production, mais il faut remarquer que les doses appliquées, 300 g de Nutramin à 6 p. 100 de fer au maximum, étaient très faibles.

c) Conclusion.

On n'a jamais observé de cas de carence en fer sur le palmier où les teneurs de la feuille 17 étaient toujours supérieures à 50 ppm.

V. — MANGANÈSE

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Dans les sols tropicaux, le manganèse peut se trouver comme le fer à des taux très élevés. Sa solubilité augmente avec l'acidité du sol et des déficiences sont possibles pour des pH supérieurs à 6,5 : les micro-organismes du sol oxydent le manganèse qui devient indisponible. Sa disponibilité diminue aussi lorsque le taux de matière organique augmente ou lorsque le drainage est mal assuré. À des pH très acides, le manganèse peut devenir toxique.

Les teneurs en manganèse total varient en moyenne de 200 à 3 000 ppm [10].

b) Dans la plante.

Le manganèse est un cofacteur de nombreuses enzymes d'oxydo-réduction. Il entre dans la composition de la nitrite-réductase. Il intervient surtout chez les plantes au niveau du photosystème II de la photosynthèse. En cas de carence manganique, la réaction de Hill est inactivée.

D'après Chapman [1], des déficiences apparaissent pour des teneurs inférieures à 20 ppm et des cas de toxicité peuvent se produire pour des teneurs supérieures à 500 ppm.

Dans la feuille 17 du palmier, les teneurs varient, suivant les auteurs, de 30 à 1 000 ppm.

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

Parmi les oligoéléments, c'est le manganèse dont les teneurs sont les plus susceptibles de variations dans les feuilles. Pour 52 stations (1 366 analyses), la teneur moyenne est de 338 ppm dans la feuille de rang 17.

Les teneurs les plus basses, c'est-à-dire inférieures à 100 ppm, se rencontrent pour des palmiers plantés sur des sols aussi différents que les sols alluviaux de San Alberto en Colombie ou les sols formés sur les sédiments volcaniques de Tatiana en Equateur. Tous ces sols ont des pH supérieurs à 6,0 (Fig. 1).

Pour les formations sédimentaires, on note de fortes variations suivant le type de sol, ainsi :

à Pobé (Bénin) :		Mn (ppm)
— sol gréseux gravillonnaire de plateau		233
— sols ferrallitiques de plateau formés sur sédiments argilo-sableux		390
— sols ferrallitiques formés sur colluvions sableuses des précédents ...		482

On note aussi des variations importantes des teneurs pour un même type de sol. En Côte-d'Ivoire, à la station de La Mé, les teneurs des palmiers plantés sur les sables tertiaires varient de 223 à 910 ppm.

Il est intéressant de constater que les teneurs en Mn des feuilles ne sont pas reliées aux teneurs en Mn total des sols.

Localisations	Sol		Feuille 17
	pH	Mn total ppm	Mn ppm
Indonésie			
— Tanah Gambus.	5,5	7 850	444
— Bangun Bandar.	5,3	4 090	498
— Aek Loba.....	4,7	1 680	547

Les teneurs de la feuille baissent donc lorsque le pH du sol augmente car le manganèse devient alors moins disponible. Ce phénomène est particulièrement marqué pour des valeurs du pH supérieures à 6 (Fig. 1).

Localisations	Sol		Feuille 17
	pH	Mn total ppm	Mn ppm
Colombie			
— San Alberto	6,3	765	55
Côte-d'Ivoire			
— Dabou	4,8	87	247
— La Mé.....	4,7	62	491

Probablement pour les mêmes raisons de variation de pH, on observe en Côte-d'Ivoire (zone de forêt de la station de La Mé) un effet du précédent cultural sur les teneurs en Mn, qui sont plus fortes en zone de replantation (846 ppm) qu'en zone d'extension (375 ppm). De même dans un essai de La Mé, l'apport de sulfate d'ammoniaque, en améliorant la croissance des jeunes arbres, augmente significativement les teneurs foliaires en Mn, qui passent de 193 ppm pour le témoin sans azote à 257 ppm pour les arbres recevant la plus forte dose d'engrais.

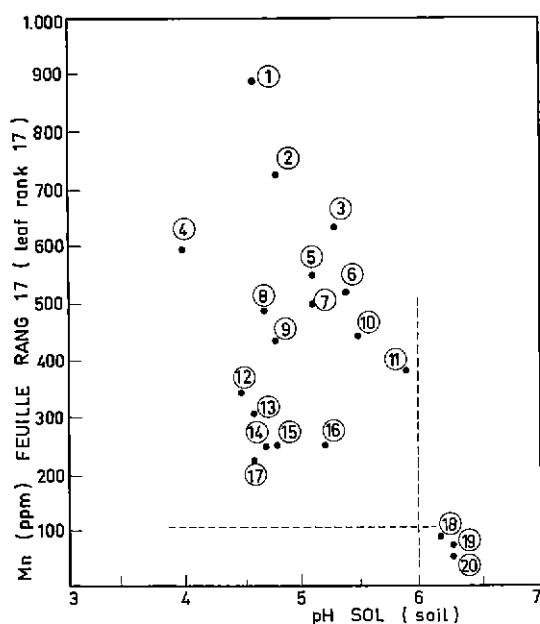


FIG. 1. — Eventail des pH de sols de 20 plantations de palmiers à huile et effet du pH sur les teneurs en manganèse dans les feuilles (Range of pH in soils of 20 oil palm plantations and effect of the pH on leaf Mn levels).

Enfin, les teneurs foliaires en Mn peuvent varier beaucoup selon l'origine du matériel végétal (espèce ou croisement). Ainsi à La Mé :

(Essai LM-ES 203)	Teneurs en Mn
<i>E. guineensis</i> (G).....	481 ppm
Hybride (G × M).....	254
<i>E. melanococca</i> (M).....	101

b) Résultats expérimentaux.

— En aquiculture :

L'hybride *E. guineensis* × *E. melanococca*, qui a des teneurs plus faibles en manganèse, semble plus sensible que *E. guineensis* à la carence manganique ; la réduction de croissance de l'hybride (— 86 p. 100) par rapport au témoin étant plus élevée que pour le *guineensis* (— 72 p. 100). Contrairement aux autres oligoéléments, les teneurs en manganèse diminuent fortement dans les feuilles en cas de carence. Les teneurs passent de 235 à 21 ppm.

— Essais au champ et conclusion :

L'I. R. H. O. avait fondé plus d'espoir en la possibilité d'obtenir des réponses avec le manganèse qu'avec tout autre oligoélément, en raison d'indications qui avaient été obtenues sur l'effet favorable de cet élément sur l'état sanitaire : Boyomi au Congo et fusariose en Côte-d'Ivoire. Ceci explique qu'un effort d'expérimentation particulier ait été réalisé sur le manganèse (Tabl. IV). Le manganèse a été étudié sous différentes formes (sulfate appliqué au sol ou en injection, minéral broyé appliqué en forte quantité, forme chélatée).

Même lorsque des effets très importants ont été observés sur les teneurs (passage d'un niveau de

a) Sols ferrallitiques très désaturés formés sur sédiments tertiaires (Very desaturated ferrallitic soils formed on tertiary sands).

Afrique (Africa)

Cameroun (Cameroon) : La Dibamba n° 13

Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) : La Mé n° 8

Dabou n° 15

Grand-Drewin n° 16

Amérique (America)

Brésil (Brazil) : Belem n° 17

b) Sols ferrallitiques moyennement désaturés formés sur sédiments du continental terminal (Moderately desaturated ferrallitic soils formed on sediments of the continental terminal).

Afrique (Africa)

Bénin : Pobé n° 11

c) Sols ferrallitiques très désaturés formés sur roches précambriennes (Very desaturated ferrallitic soils formed on pre-Cambrian rocks).

Afrique (Africa)

Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) : Tabou n° 12.

d) Sols formés sur alluvions fluviales récentes à évolution hydromorphe variable (Soils formed on recent river deposits of variable hydrogenic formation).

Amérique (America)

Colombie (Colombia) : San Alberto n° 20

Monterrey n° 14

Pérou (Peru) : Tocache n° 9

Asie (Asia)

Sumatra : Negri Lama n° 4

Malai Pao n° 6

e) Sols formés sur alluvions marines (Soils formed on tidal depositions).

Amérique (America)

Brésil (Brazil) : Iguape n° 3

Colombie (Colombia) : Turbo n° 19

Asie (Asia)

Sumatra : Sungei Liput n° 1

f) Sols podzoliques formés sur dépôts d'origine volcanique (Podzolic soils formed on deposits of volcanic origin).

Asie (Asia)

Sumatra : Aek Loba n° 5

Bangun Bandar n° 7

Tanah Gambus n° 10

g) Sols à caractères andiques formés sur dépôts d'origine volcanique (Soils of Andean character formed on volcanic deposits).

Amérique (America)

Equateur (Ecuador) : Tatiana n° 18

150 ppm dans les témoins à 500 ou même 1 000 ppm), aucun effet réellement significatif n'a pu être réellement observé sur les productions ou l'état sanitaire. Dans les sols ferrallitiques à pH 5, l'absorption par l'application au sol ne pose aucun problème.

On a donc attaché un intérêt particulier à la réalisation d'une expérience sur sols alluviaux en Colombie où les niveaux natifs dans la feuille étaient voisins de 50 ppm (SA-ES 40, Tabl. IV). Dans une première phase, pendant 4 ans, 250 g de sulfate de manganèse ont été appliqués par arbre/an, sans que l'on puisse noter d'effet significatif sur les teneurs. Pendant une autre période de 4 années une dose double appliquée à l'aisselle des feuilles a permis de porter les teneurs à 86 ppm. Cette expérience de Colombie apporte la confirmation de l'insolubilisation du manganèse à un niveau de pH de 6,5 et montre dans ce cas un moyen efficace d'apport : le dépôt à l'aisselle des feuilles.

L'absence d'augmentation de production (à un niveau de 25 t de régimes/ha/an) permet de penser que les teneurs de 50 ppm sont largement suffisantes pour le palmier à huile et qu'il faudrait sans doute, en champ, descendre au niveau des 20 ppm obtenus en aquiculture et signalés pour d'autres plantes pour obtenir une réponse de la production à l'apport de manganèse.

TABLEAU IV. — Essais I. R. H. O. d'application de Mn (I. R. H. O. trials of Mn application)

Pays (Country) essai (trial)	Sol (Soil)	Traitements (Treatments)	Durée (Duration) ans (years)	Teneurs foliaires (Leaf levels) (—) Mn		Effet (Effect)		
				(R17)	(—)	croissance (growth)	product. (yield)	maladies (diseases)
Bénin PO-ES 22	Colluvions sableux (Sandy colluvial soils)	300 g/arbre/an (/tree/year) Nutramin (10 p. 100 Mn)	10	(R17) 233	178	—	néant (nil)	—
Cameroun (Cameroon) LD-ES 11	Sables tertiaires (Tertiary sands)	80 g/a/an (/t/y) Nutramin	2	(R9) 136	205	néant (nil)	—	—
Congo ET-CP 2		250 g/a/an (/t/y) MnSO ⁴	5	(R17) 286	567 **	—	néant (nil)	néant (nil)
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) DA-ES 19	Sables tertiaires savane	150 g/a/an (/t/y) Nutramin	12	(R17) 279	266	—	néant (nil)	—
DA-ES 14	(Tertiary sands sa- vannah)	1 000 g/a (/t) MnSO ⁴ au sol (soil)	1	(R17) 176	215	—	—	—
DA-ES 9		500 g/a (/t) MnSO ⁴ au sol (soil)	14	265	581 **	—	néant (nil)	néant (nil)
DA-ES 12		10 g/a (/t) MnSO ⁴ injection	2	(R17) 143	188	—	—	néant (nil)
DA-ES 22		2,5 kg/a (/t) minerai (33 p. 100) au sol (ore) à l'aisselle (in axil) 2,5 kg/a (/t)	5	300 300 (R17)	325 351	—	—	—
DA-CP 17		250 g/a/an (/t/y) MnSO ⁴	10	(R17) 237	437 **	—	néant (nil)	néant (nil)
DA-CP 10		500 g/a/an (/t/y) MnSO ⁴	3	(R9) 185	1 010 **	—	—	néant (nil)
DA-CP 11		300 kg/ha 600 kg/ha 250 g/a/an (/t/y) minerai (ore) (33 p. 100) scories (slag) (5,2 p. 100) MnSO ⁴	3	240 240 (R17)	256 251 349 **	—	—	néant (nil)
DA-CP 13		250 g/a/an (/t/y) MnSO ⁴	7	(R17) 169	395 **	—	—	néant (nil)
Colombie (Colombia) SA-ES 40	Sols alluviaux (Alluvial soils)	250 g/a/an (/t/y) MnSO ⁴ au sol (soil) 500 g MnSO ⁴ à l'aisselle (in axil)	4 4	50 58 (R17)	50 86	—	néant (nil)	—
SA-ES 40 bis		1,4 kg/ha MnSO ⁴ en pulvérisation (spray)	1	(R17) 42	44	—	—	—
SA-ES 55		250 g/a (/t) MnSO ⁴ au sol (soil) 500 d° 1 000 d° 2 500 d° 5 000 d°	1	106 d° d° d° d° (R17)	149 83 83 129 138	—	—	—

VI. — MOLYBDÈNE

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Contrairement aux autres éléments, sa disponibilité croît avec le pH du sol. Des déficiences peuvent apparaître dans tous les types de sols, mais particulièrement en sols acides, sableux, lessivés ou riches en fer et en aluminium. Les cas de toxicité sont rares.

Les teneurs en Mo total des sols tropicaux varient de 0,2 à 5 ppm [5, 8] et des déficiences sont possibles pour des teneurs inférieures à 1 ppm [1].

b) Dans la plante.

On connaît depuis longtemps le rôle du molybdène dans la nutrition azotée. C'est un constituant de la nitratre réductase, enzyme clef de l'assimilation de l'azote. Les teneurs sont en général supérieures à 0,5 ppm et des déficiences ont été signalées pour des teneurs inférieures à 0,1 ppm.

Dans la feuille 17 du palmier, les teneurs varient de 0,1 à 1 ppm (16).

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

La nutrition en molybdène peut, semble-t-il, varier considérablement pour un type pédologique de sol car, par exemple, en Côte-d'Ivoire, pour cinq plantations différentes mais toutes situées sur les sables tertiaires, les teneurs foliaires extrêmes sont respectivement 0,06 et 0,52 ppm.

b) Résultats expérimentaux.

— En agriculture :

On n'a pas pu mettre en évidence de symptômes visuels de carence. Conformément aux résultats obtenus par ailleurs [5], l'absence de Mo dans la solution nutritive augmente de 45 p. 100 le poids sec des plants d'un an. On observe parallèlement chez les plants carencés une très forte diminution des teneurs foliaires (0,06 ppm, contre 1,4 ppm pour le témoin).

— Au champ :

Un apport de molybdène réalisé sur couverture de légumineuse s'est révélé sans conséquence sur les

teneurs en azote du palmier à huile. Il faut peut-être y voir un effet des pH trop acides.

VII. — ZINC

1. — Généralités.

a) Dans le sol.

Les sols tropicaux ont des teneurs en zinc disponible de l'ordre de 1 ppm [10] et des déficiences sont possibles en deçà de 0,8 ppm [1]. Les teneurs en zinc total varient de 10 à 300 ppm [6, 9].

Des carences peuvent apparaître dans les sols très acides, sableux, lessivés ou alcalins car la disponibilité de l'élément est maximale pour des pH compris entre 5,5 et 7,0. Il est chélaté dans les sols riches en matière organique. Une forte fertilisation phosphatée diminue sa disponibilité (apport secondaire de calcium).

b) Dans la plante.

Le zinc est un constituant de nombreuses déshydrogénases. Il jouerait un rôle dans la synthèse des protéines et dans le métabolisme auxinique (comme cofacteur de la tryptophane synthétase). Chez le soja, des déficiences en zinc réduisent le taux de photosynthèse et l'activité de l'anhydrase carbonique.

D'après Chapman [1], on peut considérer comme normal un taux dans les feuilles de 25 à 150 ppm. Des teneurs inférieures à 20 ppm produisent des carences, et des teneurs supérieures à 400 ppm sont toxiques.

En Malaisie [11], les teneurs dans les feuilles de palmier varient de 10 à 40 ppm.

2. — Résultats I. R. H. O.

a) Inventaire géographique.

Sur 33 stations (521 échantillons), la teneur moyenne de la feuille 17 du palmier est de 22 ppm. Les teneurs les plus faibles se rencontrent en Malaisie (9 ppm à Jendarata) et les plus élevées en Equateur (42 ppm à Santo Domingo).

On n'observe pas de variation nette des teneurs foliaires suivant le type de sol.

b) Résultats expérimentaux.

— En aquiculture :

L'absence de zinc dans la solution nutritive réduit fortement la croissance (— 73 p. 100) par rapport au

témoin mais n'a pas d'effet sur les teneurs foliaires. Le palmier semble ici obéir à la loi du tout ou rien.

— Au champ :

L'application de doses élevées de sulfate de zinc en Côte-d'Ivoire (Tabl. V) a permis de relever considérablement les teneurs, le zinc est donc très bien absorbé par le palmier. On n'a, par contre, jamais observé d'incidence sur la croissance, ni sur la production, des teneurs de 18 ppm semblent suffisantes (Tabl. V).

VIII. — CONCLUSION GÉNÉRALE

D'après ce qui précède, le comportement du palmier à huile vis-à-vis des oligoéléments semble suivre celui de nombreuses autres plantes, illustré par la figure 2.

On est amené à penser que les teneurs observées dans les feuilles sont beaucoup plus sous la dépendance du pH que sous celle de la teneur des sols. La figure 2

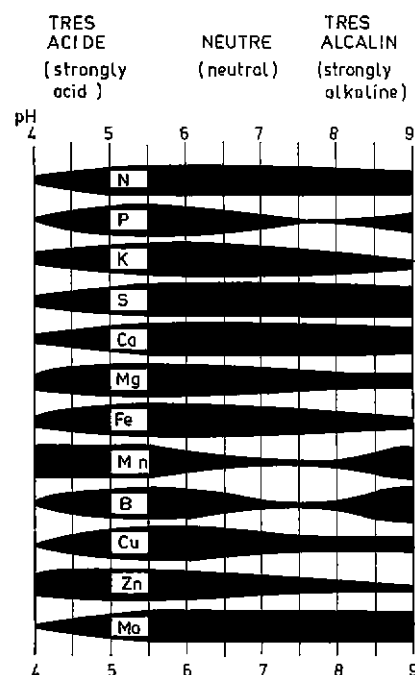


FIG. 2. — Influence du pH sur la disponibilité des éléments nutritifs dans les sols organiques ; les zones les plus larges des bandes en gris indiquent la disponibilité maximale. (Influence of pH on the availability of plant nutrients in organic soils ; widest parts of the shaded areas indicate maximum of availability) [d'après (after) Lucas, Davis, 1961].

TABLEAU V. — Essais I. R. H. O. d'application de Zn (I. R. H. O. trials of Zn application)

Pays (Country) Essais (Trials)	Sols (Soils)	Traitements (Treatments)	Durée (Duration) ans (years)	Teneurs (Contents) feuille (leaf) 17 (—) Zn	ppm	
Bénin PO-ES 22	colluvions sableux (sandy colluvials)	Nutramin (3 p. 100 Zn)	300 g/arbre/an (/tree/year)	10	18	15
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) LM-ES 39	sables tertiaires (tertiary sands) — forêt (forest)	ZnSO ⁴ sol (/soil) — d° — — d° — injection	500 g/a/an (/t/y) 1 000 g/a/an (/t/y) 50 g/a/an (/t/y)	2	70	80 380 235
DA-ES 19	— savane (savannah)	Nutramin	150 g	12	21	25
GD-ES 8	sables tertiaires (tertiary sands)	ZnSO ⁴	150 g	3	24	1 461

montre que dans la gamme habituelle des sols cultivés en palmiers, où les pH varient de 4,5 à 6,0 (Fig. 1), l'alimentation de la plupart des oligoéléments est normale ou maximale.

Les cas notoires de déficience en oligoéléments : cuivre, bore, dans les sols tourbeux acides (pH 3 à 3,5)

ou de bore accompagnée de teneurs faibles en manganèse dans les sols voisins de la neutralité (alluvions récentes de Colombie), entrent parfaitement dans le schéma général de la figure 2. Ces remarques expliquent que les expériences conduites avec les oligoéléments ont donné très peu de résultats positifs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHAPMAN H. D. (1966). — *Diagnostic criteria for plants and soils*. Univ. California, 793 p.
- [2] CHEONG S. P., NG Siew Kee (1977). — Copper deficiency of oil palm on peat. In : *International Developments in Oil Palm*, the Inc. Soc. of Planter, Kuala Lumpur, p. 362-370.
- [3] FERRAND M., BACHY A., OLLAGNIER M. (1951). — Les oligoéléments dans la fumure du palmier à huile au Moyen-Congo. *Oléagineux*, 6, n° 11, p. 629-636.
- [4] FERWERDA J. D. (1954). — Boron deficiency in oil palms in the Kasai region of the Belgian Congo. *Nature*, 173, p. 1097.
- [5] FORDE L. M. St. (1968). — The trace element nutrition of oil palm seedlings. *J. Niger. Inst. Oil Palm Res.*, 5, p. 77-88.
- [6] KALPAGE F. S. C. P. (1974). — *Tropical soils*. Mac Millan Press, London.
- [7] KANAPATHY J. A. (1974). — Available micronutrient in some peninsular Malaysian soils as indicated by the oil palm. *Malay. Agric. J.*, 49, p. 357-364.
- [8] KANAPATHY J. A. (1976). — Fertiliser requirements of peat soils. *Malay. Agric. J.*, 50, p. 292-313.
- [9] KRAUSKOPF K. B. (1972). — Geochemistry of micronutrients. In : *Micronutrients in agriculture*, Soil Sci. Soc. of Am., U. S. A., 666 p.
- [10] MALAVOLTA E. et al. (1962). — *On the mineral nutrition of some tropical Crops*. Int. Potash. Inst., Berne.
- [11] NG Siew Kee, CHEAH T. E., THAMBOO S. (1969). — Nutrients contents of oil palms in Malaya. IV. Micronutrients in leaflets. *Malay. Agric. J.*, 47, p. 41-52.
- [12] NG Siew Kee, TAN Y. P. (1974). — Nutritional complexes of oil palm planted on peat soil in Malaysia. I. Foliar symptoms, nutrient composition and yield. *Oléagineux*, 29, p. 1-14.
- [13] NG Siew Kee, TAN Y. P., CHAN E., CHEONG S. P. (1974). — Nutritional complexes of oil palms planted on peat soil in Malaysia. II. — Preliminary results of copper sulphate treatments. *Oléagineux*, 29, p. 445-456.
- [14] OLLAGNIER M., VALVERDE G. (1968). — Contribution à l'étude de la carence en bore du palmier à huile. *Oléagineux*, 23, p. 359-366.
- [15] RAJARATNAM J. A. (1973). — Boron toxicity in oil palms. *Malay. Agric. J.*, 2, p. 95.
- [16] RAJARATNAM J. A. (1976). — Micronutrients. In : *Oil Palm Research*, R. H. V. Corley (Ed.), Elsevier, Amsterdam (Holland).

RESUMEN

Los oligoelementos en la nutrición de la palma de aceite.

J. M. ESCHBACH, *Oléagineux*, 1980, 35, N° 6, p. 281-294.

A partir de 1947 se implantó en Etoumbi (Congo) en árboles que padecían una enfermedad de marchitamiento, la primera experiencia del I. R. H. O. de aplicación de oligoelementos en los campos. Ante los resultados positivos obtenidos con motivo de este primer ensayo, el I. R. H. O. realizó después en situaciones muy diferentes, una experimentación importante en los oligoelementos (Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) para establecer su función en caso de anomalías de crecimiento, de producción o de estado de sanidad de las palmas. O sea que en el presente artículo se hace el inventario de todos los contenidos de los suelos y de las hojas que se establecieron con motivo de estos trabajos, analizando los efectos de las aplicaciones de oligoelementos en el comportamiento de la palma. Los ensayos realizados con plántulas jóvenes criadas en soluciones nutritivas demuestran que todos los elementos B, Cu, Fe, Mn, Zn son indispensables para obtener un crecimiento normal. En cambio, los resultados de los ensayos de campo muestran que sólo el boro puede llegar a ser deficiente en la edad temprana para suelos próximos a la neutralidad, siendo por otra parte un hecho conocido el que el cobre está con deficiencia en los suelos turbosos muy ácidos. En cambio, para los demás elementos y hasta para el manganeso y el cinc fácilmente absorbidos por la palma, nunca se obtuvo una respuesta para el crecimiento, la producción y el estado de sanidad, cualquiera que sea el tipo y el contenido de los suelos. Se explica esta falta de efecto por el hecho de que el pH del suelo, que rige la disponibilidad de los oligoelementos, es más importantes que los contenidos, y de que las más veces los suelos en que se cultiva la palma aceitera tienen un pH que permite una disponibilidad normal o máxima de los oligoelementos para la mayoría de las plantas. Los casos de carencia de boro y de cobre se manifiestan, para la palma aceitera, en pH en que estos elementos están con deficiencia también para la mayoría de las plantas.

SUMMARY

Micronutrients in oil palm nutrition.

J. M. ESCHBACH, *Oléagineux*, 1980, 35, N° 6, p. 281-294.

The first I. R. H. O. trials of micronutrient applications in the field was set up as early as 1947 at Etoumbi, Congo, on trees suffering from a wilting disease. Because of the positive results which emerged from this first trial, the I. R. H. O. later conducted extensive experimentation on micronutrients (Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) in very diverse situations in order to find out their role in abnormalities in the growth, yield and health of oil palm. This article lists all the soil and leaf contents which have been determined in the course of this research and analyses the effects of micronutrient applications on the performance of the palms. The tests carried out on seedlings raised in nutrient solutions show that B, Cu, Fe, Mn and Zn are all indispensable to normal growth. On the other hand, field trials prove that only boron can become deficient in the early years on soils close to neutral; in other respects, copper is known to be deficient in very acid peats. However, for the other elements, even manganese zinc which are easily absorbed by the oil palm, there has never been any response in growth, yield or health, whatever the soil type and contents. This lack of effect is explained by the fact that the pH of the soil, which governs the availability of the micronutrients, is more important than the contents, and that in most cases the soils grown to oil palm have a pH ensuring normal or maximum availability of micronutrients to most plants. For the oil palm, boron and copper deficiencies appear at pHs at which these elements are also deficient for most plants.

Micronutrients in oil palm nutrition

J.-M. ESCHBACH (1)

At the time of its foundation and because it was starting research in the Congo-Brazzaville and West Africa on predominantly sandy and chemically impoverished soils, the I. R. H. O. thought it essential to accompany the study of major elements with research into micronutrients, and to this end an experiment was set up in 1947 [3] in a palm plantation about 15 years old, to compare the action of a complete NPK manuring associated with different micronutrients (boron, manganese, copper, iron, zinc). This plantation was affected by a wilt called « Boyomi ». Three years later, although the NPK manuring had no effect, each of the micronutrients studied had provoked an appreciable response. At the time it was thought that this aspect of mineral nutrition might be of considerable importance, and new experiments were started, both in nurseries and in plantation.

Determinations of leaf contents were carried out systematically in many different situations to try and explain anomalies in growth, yield or health. As a consequence, the I. R. H. O. has several thousand analytic results of which it appeared interesting to make an overall inventory, for the oil palm first of all ; the coconut will be the subject of a later article. The element levels given in this inventory (Table I) concern samples of soils or leaves taken in various situations : fertilizer trials, mineral nutrition checks in commercial plantations, abnormalities in growth or phytosanitary condition.

In the course of this article we will deal successively with aluminium, boron, copper, iron, manganese, molybdenum and zinc. After a few general remarks about each element, we will discuss the leaf or soil contents in function of the geographic situation or the type of soil, then the results of trials carried out by the I. R. H. O. in pot culture or in the field.

I. — ALUMINIUM

1. — General.

The solubility of aluminium increases very quickly in acid soils when the pH drops below 5.5. Aluminium can then become toxic by accumulating in the roots and blocking growth. Toxicity is often associated with phosphorus deficiency in the plants, as high soluble Al levels cause insolubilisation of soil phosphorus. Cases of toxicity can be corrected by phosphate manuring and the raising of the soil pH.

The level in the plant is about 200 ppm.

2. — I. R. H. O. results.

In certain soils devoted to oil palm growing, the following level of total Al is found : 61 p. 1 000 at La Me (Ivory Coast) in peat soils (pH 4.1) and 107 p. 1 000 at Tatiana (Ecuador) in soils formed on volcanic sediments (pH 5.2).

In Madagascar (pH 5.2) the free Al level in halfbog soils is 4. p. 1 000, that of exchangeable Al 0.4 p. 1 000.

The geographical inventory shows that in the oil palm the contents of leaf 17 are higher in heavily desaturated ferrallitic soils formed on the tertiary sands of Cameroon and the Ivory Coast than in any other type of soil. No relationship is found between the soil and leaf contents (Table II).

Seasonal samples taken in the Ivory Coast and Ecuador show that the leaf contents may vary in the proportion of 1 to 3 in the course of the year.

3. — Conclusion.

The results to date show that with the oil palm, unlike other plants, there is no need to fear problems due to excess exchangeable aluminium in the soil, which has to be combatted by liming (a practice very often recommended) even on the oxysols of Brazil (North Para, Bahia region).

II. — BORON

1. — General.

a) In the soil.

The available boron levels in tropical soils range from 0.1 to 2.5 ppm [10], and deficiencies are possible when they are below 0.3-0.5 ppm [1]. Such deficiencies are as likely to appear in light, sandy soils poor in organic matter as in desaturated acid or alkaline soils. Cases of toxicity occur mainly on marine sediments. Total boron contents vary from 5 to 150 ppm [6].

b) In the plant.

In plants, the level is considered normal between 20 and 100 ppm, deficient below 20 ppm and toxic above 200 ppm.

In the oil palm, the absence of boron leads to an accumulation of phenols which would inhibit the activity of indole-3-yl-acetic acid-oxidase. The build-up of auxin would cause physiological disorders. Boron may also play a part in the transport of glucides, protein synthesis and oxidative phosphorylation.

The contents of leaf 17 on the oil palm, which vary from 5 to 20 ppm [16] are low compared to those of other plants. In Malaysia, in particular, they range from 10 to 16 ppm. One case of toxicity was observed on 18-month-old plants in which the content of leaf 3 was above 250 ppm [15].

Again in Malaysia, the influence of low boron levels on mite attacks has been brought out [16].

2. — I. R. H. O. results.

a) Geographic inventory.

In the Ivory Coast, the soluble boron content of highly desaturated ferrallitic soils formed on tertiary sands is from 0.1 to 0.5 ppm, with a mean of 0.4 ppm, and the leaf levels of palms planted on this type of soil are from 10-14 ppm.

The leaf contents are around 12-14 ppm for palms planted in different environmental conditions and on soils of such diverse origins as moderately desaturated laterites formed on sandy-clay sediments of the Benin Continental Terminal, the very desaturated laterites derived from sandy tertiary sediments in Cameroon and the latosols of the People's Republic of Congo.

In Colombia, Ecuador and Peru, in particularly favourable ecological conditions, the boron contents of the recent alluvial soils and andosols are slightly lower than those of Africa (about 0.2-0.3 ppm), but the native levels in the leaves are still comparable.

b) Experimental results.

— In hydroponics :

Trials carried out on seedlings raised in controlled nutrient conditions have confirmed the visual deficiency symptoms found in the field (little leaf and onion-shape) and have shown the toxicity symptoms (leek-shape and severe stunting). Deficient plants fed anew with boron quickly recover at the end of a fortnight.

Even when the deficiency is severe, the contents of leaf 4 of these seedlings does not fall below 4.5 ppm. As the normal level in the same conditions is 5 ppm, it is impossible to fix a critical level.

Concentrations as high as 370 ppm in the nutrient solution provoke no signs of toxicity ; the concentration has to be about 2 000 ppm for them to appear.

— In the field :

The various trials of boron application to young plants or adult palms have always raised the leaf contents significantly but no effect has ever been observed on the growth of palms with no signs of leaf disorders or on their yield.

A 3rd factorial experiment conducted at San Alberto, Colombia (Table III) studying two rates of borax, 55 and 110 g/

(1) Agronomy Department of I. R. H. O.-I. R. H. O./GERDAT, B. P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

tree/year in a situation where the mean production was 25.5 tons bunches/ha, produced no response in ten years despite an effect on contents.

It was possible to correct growth abnormalities such as hook leaf, little leaf and the prolonged absence of leaf emission in a spectacular way [4, 14].

Insect attacks, particularly those of *Oryctes*, can cause comparable growth anomalies, but these, of course, are not corrected by boron application.

In Indonesia, striking boron deficiencies have been seen in plantations where interplanting is practised in the year following the removal of the old trees. This thinning out leads to very rapid growth of the young trees. The percentage of palms affected and the degree of abnormality are much greater in interplanting than in extension or replanting.

c) Conclusion.

Passing deficiencies may occur in young plantings when vegetative development is especially rapid. It is probable that it is the heavy demand by the palm at a given moment which causes the deficiency rather than the low soil contents. In other respects, in view of the results obtained up to now it seems that the needs obey the rule of « all or nothing », the leaf content not falling below 10 ppm. Consequently, it is difficult to propose a critical level. Furthermore, no response to boron dressing has been obtained to this day when the trees suffer from no growth abnormalities.

III. — COPPER

1. — General.

a) In the soil.

The total Cu levels vary from 10 to 150 ppm [6] and those of available Cu from 10 to 50 ppm [10]. Deficiencies may appear, mainly on desaturated acid soils but also in calcareous soils or those rich in organic matter (peat) or in nitrogen, phosphorus or zinc.

b) In the plant.

Copper is a constituent of cytochrome-oxidase, a respiratory enzyme, and of plastocyanin, an electron carrier entering into photosynthesis. It is also a component of the polyphenol-oxidases.

According to Chapman [1], the leaf contents are considered normal when they are between 5 and 20 ppm; below 4 ppm there is a deficiency, above 20 ppm an excess.

A large inventory [8] of the contents of leaf 17 on palms planted on about 30 soil series in Peninsular Malaysia gives a range of 4.6 to 7.1 ppm for the mean contents per soil series, the upper and lower limits being 2.9 and 9.8 ppm. However, other authors give different variations, 3-8 ppm [16] or 6-15 ppm [11].

But we must mention the special case of plantations on the peat soils of Malaysia, in which appear leaf development abnormalities known as « mid-crown chlorosis » and above all « peat yellows » the symptoms [11] are accompanied by poor growth (shortening of the leaves) and considerable yield losses. Several authors [2, 7, 8, 12, 13] have shown that these troubles are related to very low Cu levels in the leaves, close to 2 ppm and sometimes even lower. Other nutrient shortcomings such as low N and K contents also manifest themselves.

Recent experimental results [2, 8, 13] prove that Cu applications can restore the situation to normal on condition that they are not given too late, as it is difficult for palms more than 6 years old to recover. Spraying the leaves with a low concentration of copper sulphate (100-200 ppm) has a quicker effect than larger applications of the same salt to the soil. According to certain works [8] the periodic application of small quantities of copper sulphate to the soil from the time of planting stops the symptoms appearing. Certain authors [13] consider that growth is reduced when the content in leaf 3 on young palms is under 3 ppm.

2. — I. R. H. O. results.

a) Geographic inventory.

For 46 stations (954 analyses) the mean Cu level is 8.5 ppm in leaf 17, and the limits are 1.3 ppm (Brazil) and 21.6 ppm (Cameroon).

In spite of the small differences in leaf levels between the stations, it is found nevertheless that certain situations stand out more particularly, as the following example shows :

It is interesting to note that identical symptoms to those observed in Malaysia appear on palms planted on peats at Negri Lama (Sumatra) where the leaf contents are 3 ppm, but

that no symptom has manifested itself up to now at Belem (Brazil) on 12-year-old plantings of which some have contents as low as 1.3 ppm. Moreover, there are no differences in production at Belem, although the contents range from 1.3 to 9.1 ppm.

While no case of natural toxicity has yet been proved, it is nonetheless to be feared in certain very specific situations. Thus, a soil survey carried out in Panama by the I. R. H. O.

Localisation	Type of soil	Leaf levels in Cu (ppm)
Ivory Coast	Very desaturated ferrallitic soils on tertiary sandy sediments	7-12
Sumatra (Negri Lama)	Alluvial soils	10-11
	Podzolic soils	5-9
	Peats	3-5
Brazil (Belem)	Very desaturated ferrallitic soils on tertiary sandy sediments	1.3-10.1

revealed assimilable Cu contents in the topsoil exceeding 150 ppm in land still planted a few years previously with bananas which were frequently treated with copper sulphate against *Cercospora* leaf spot.

In a progeny test planted in the Ivory Coast, there were found to be significant differences in Cu content of leaf 17 between crosses, but they were quite small, as the levels were 9.8 and 8.6 ppm respectively.

b) Experimental results.

— In hydroponics :

An induced deficiency in seedlings leads to a large reduction in dry weight (— 68 p. 100) compared to the control. However, no characteristic visual symptom is to be seen, any more than a drop in the leaf contents, which are around 3 ppm. The palm seems to adjust its growth so as to maintain a constant level of Cu in the leaves.

— In the field :

The various tests of application to the soil carried out in Africa have never led to any increase in contents, growth or yield. The absence of effect on contents may be due to the fact that the largest annual quantity applied was only 200 g of copper sulphate per tree.

c) Conclusion.

Up to now, copper deficiency has only been seen on certain specific types of soil rich in organic matter (peats). The main symptoms are : reduction in growth and yellowing of the palm leaves, and they appear when leaf contents are very low, 2 or 3 ppm. The deficiency can be corrected by leaf sprays or by applying copper sulphate to the soil, and it can be prevented by periodic dressings of small quantities of the same salt from the time of planting.

IV. — IRON

1. — General.

a) In the soil.

Total iron levels in the soil are usually high and vary, according to the authors, from 1-10 p. 100 [9] or from 5 p. 100 to 5 p. 100.

Deficiencies are mainly due to the problem of availability, which is diminished by bad drainage (change from iron to the ferrous state), an increase in the pH or, in acid soils, by an excess of phosphorus or certain other heavy metals.

b) In the plant.

Iron is a constituent of many enzymes (cytochrome, ferredoxine) which have a role in electron transfer, within the energy metabolism (photosynthesis, respiration). It is also a component of catalase, peroxidase and succinodeshydrogenase (enzyme of the Krebs cycle). Its role in chlorophyll synthesis is not yet well known.

Leaf contents are considered normal when they are between 50 and 250 ppm and deficient if they are under 50 ppm [1].

In Malaysia, leaf 17 contents on the oil palm range from 40 to 150 ppm [7].

2. — I. R. H. O. results.

a) Geographic inventory.

As soils planted to oil palm are usually acid, iron availability is always assured and the level in leaf 17 varies from 52 ppm in Brazil (very desaturated ferrallitic soil formed over tertiary sandy sediments) to 1 348 ppm in Ecuador (soil formed over volcanic sediments). Out of 38 stations (752 analyses), the mean level is 134 ppm.

The average contents are similar for soils as different as those formed on tertiary sands (152 ppm at La Me, limits 90 and 228 ppm) or on the base rock (144 ppm at Tabou) in the Ivory Coast, or on the alluvial soils of Colombia (134 ppm at San Alberto, limits 95 and 320 ppm).

On the same type of soil, the leaf levels can vary in the proportion of 1 : 2, except in Brazil, where they are low. They can also vary according to the method of cultivation : former crop or manurings :

- At La Me, Ivory Coast and on soils formed over tertiary sands, the contents in replantings (219 ppm) are higher than those (175 ppm) of palms planted after forest clearance. On the contrary, in the savannah zone at Dabou, and on the same type of soil, it is the contents of palms planted after savannah clearance (582 ppm) which are much higher than those of the replantings (209 ppm).

- The application of ammonium sulphate in a fertilizer experiment in the Ivory Coast raised the iron level slightly (+ 8 p. 100) but significantly in the leaves of young palms : 98 ppm for the highest N rate against 91 ppm for the control without N.

Significant differences are also observed according to the type of material in the comparative trials of lines in the Ivory Coast. Thus, in trial LM-GP 9, the level in line LM 1792 is 215 ppm, whereas that of LM 1725 is only 176 ppm.

b) Experimental results.

— In hydroponics :

The absence of iron in the nutrient solution reduces growth considerably (— 93 p. 100 of dry weight) compared to the control, and provokes characteristic yellowing of the leaves. On the other hand, there is no effect of the deficiency on leaf contents.

— In the field :

The different trials of soil application have never had any effect on contents, growth or yield, but it must be said that the rates applied, 300 g of Nutramin at 6 p. 100 iron maximum, were very small.

c) Conclusion.

No case of iron deficiency has every been observed on oil palm, in which the contents of leaf 17 are always in excess of 50 ppm.

V. — MANGANESE

1. — General.

a) In the soil.

In tropical soils manganese, like iron, can be found in very large quantities. Its solubility increases with the acidity of the soil and deficiencies are possible when the pH exceeds 6.5 : the micro-organisms in the soil oxidize the manganese, which becomes unavailable. Its availability also diminishes with high soil organic content or when drainage is poor. At very acid pHs manganese can become toxic.

Total manganese levels vary from 200 to 3 000 ppm on an average [10].

b) In the plant.

Manganese is a co-factor in numerous oxidoreduction enzymes. It is a constituent of nitrite-reductase. In plants, it acts mainly at the level of photosystem II of photosynthesis. When there is a deficiency, the Hill reaction is inactivated.

According to Chapman [1] deficiencies appear when the content is below 20 ppm and toxicity can occur when they exceed 500 ppm.

In leaf 17 of the oil palm, the levels vary, according to the authors, from 30 to 1 000 ppm.

2. — I. R. H. O. results.

a) Geographic inventory.

Amongst the micronutrients it is the manganese contents

which are most likely to vary in the leaves. For 52 stations (1366 analyses) the mean level is 338 ppm in leaf 17.

The lowest contents, i. e. below 100 ppm, are found in palms planted on soils as different as the alluvials of San Alberto in Colombia or those formed over volcanic sediments at Tatiana in Ecuador. All these soils have a pH higher than 6.0 (Fig. 1).

In sedimentary formations, there are wide variations according to the type of soil :

Pobe, Benin :	(ppm) Mn
— gravelly sandstone plateau soil.	233
— ferrallitic plateau soils formed over clayey-sand sediments.	390
— ferrallitic soils formed over sandy colluvions of the above.	482

The contents also vary considerably in the same type of soil. In the Ivory Coast, at the La Me station, the contents in palms planted on tertiary sands range from 223 to 910 ppm.

It is interesting to note that the Mn levels in the leaves are not related to the total Mn content of the soil.

Localisation	Soil		Leaf 17
	pH	Total Mn ppm	Mn ppm
Indonesia			
— Tanah Gambus.	5.5	7 850	444
— Bangun Bandar.	5.3	4 090	498
— Aek Loba.	4.7	1 680	547

Thus, leaf Mn falls as the pH of the soil increases, as manganese becomes less available. This is particularly marked when the pH is over 6 (Fig. 1).

Localisation	Soil		Leaf 17
	pH	Total Mn ppm	Mn ppm
Colombia			
— San Alberto.	6.3	765	55
Ivory Coast			
— Dabou	4.8	87	247
— La Me.	4.7	62	491

Probably for the same reason, i. e. the variation in the pH, we note in the Ivory Coast (forest zone of the La Me station) an effect of the preceding crop on the Mn levels, which are higher in replantings (846 ppm) than in extensions (375 ppm). In the same way, in a trial at La Me, ammonium sulphate applications both improve the growth of the young palms and significantly increase leaf Mn, which rises from 193 ppm in the control without N to 257 ppm in trees getting the highest fertilizer rate.

Finally the Mn contents in the leaves can be very different according to the origin of the planting material (species or cross). Thus, at La Me .

(Trial LM-ES 203)	Mn contents
<i>E. guineensis</i> (G).	481 ppm
Hybrid (G × M).	254
<i>E. melanococca</i> (M).	101

b) Experimental results.

— In hydroponics :

The hybrid *E. guineensis* × *E. melanococca*, which has lower Mn levels, seems to be more sensitive than *E. guineensis* to manganese deficiency. The reduction in growth of the hybrid (— 86 p. 100) compared to the control is greater than for *guineensis* (— 72 p. 100). Contrary to the other micronutrients, the Mn contents drop considerably in the leaves when there is a deficiency, falling from 235 ppm to 21 ppm.

— *Field trials and conclusion :*

The I. R. H. O. had founded more hopes on the possibility of obtaining responses with manganese than with any other micronutrient because results tended to indicate a favourable effect of this element on plant health: Boyomi in the Congo and *Fusarium* wilt in the Ivory Coast. This explains why a special experimental effort was devoted to manganese (Table IV); it was studied under different forms (sulphate applied to the soil or injected, crushed ore applied in large quantities, chelate form).

Even when there was a very large effect on contents (from 150 ppm in the control to 500 or even 1 000 ppm), no really significant effect on yield or phytosanitary condition was observed. In ferrallitic soils with a pH of 5, absorption through soil application poses no problems.

Attention was therefore focussed on conducting an experiment on alluvial soils in Colombia, where the native leaf levels were close to 50 ppm (SA-ES 40, Table IV). In the first four-year period a dressing of 250 g manganese sulphate/tree/year was given, without any significant effect on the contents being noted. In a second 4-year period, double the rate applied in the leaf axils raised the levels to 86 ppm. This Colombian experiment confirms the insolubilisation of Mn when the pH reaches 6.5 and shows that when this happens there is an effective means of application: in the leaf axils.

The fact that there is no increase in yield (when it is 25 tons/bunches/ha/year) suggests that 50 ppm is amply sufficient for the oil palm, and no doubt it would be necessary to come down to the 20 ppm obtained in hydroponics and mentioned for other plants before there would be a yield response to manganese applications.

VI. — MOLYBDENUM**1. — General.****a) In the soil.**

Unlike the other elements, its availability increases with soil pH. Deficiencies may appear in all types of soils, but particularly in acid soils or those which are sandy, leached or rich in iron and aluminium. Toxicity is rare.

The Mo levels in tropical soils are from 0.2 to 5 ppm [5, 8] and deficiencies are possible below 1 ppm [1].

b) In the plant.

The role of molybdenum in nitrogen nutrition has long been known. It is a constituent of nitrate reductase, the key enzyme for nitrogen assimilation. The contents are usually above 0.5 ppm, and deficiencies have been reported for values below 0.1 ppm.

In leaf 17 of the oil palm, the levels are from 0.1 to 1 ppm [16].

2. — I. R. H. O. results.**a) Geographic inventory.**

It seems that Mo nutrition can vary considerably in the same type of soil; for example, in the Ivory Coast, for five different plantations but all situated on tertiary sands, the lowest and highest leaf levels are 0.06 and 0.52 ppm.

b) Experimental results.— *In hydroponics :*

It was not possible to bring out visual symptoms of deficiency. In confirmation of results obtained elsewhere [5], the absence of Mo in the nutrient solution increases the dry weight of year-old plants by 45 p. 100. At the same time there is a sharp drop in the leaf levels in deficient plants (0.06 ppm against 1.4 ppm for the control).

— *In the field :*

A molybdenum application on the legume cover had no effect on the N levels of the oil palm. This may be due to over-acid pHs.

VII. — ZINC**1. — General.****a) In the soil.**

Tropical soils have available zinc levels of about 1 ppm [10] and deficiencies are possible below 0.8 ppm [1]. Total zinc contents are between 10 and 300 ppm [6, 9].

Deficiencies can appear in very acid, sandy, leached or alkaline soils, as availability of the element is maximum for pHs between 5.5 and 7.0. It is chelated in humus-rich soils. Heavy phosphate fertilization reduces its availability (secondary calcium application).

b) In the plant.

Zinc is a constituent of numerous deshydrogenases. It may play a part in protein synthesis and auxin metabolism (as a co-factor of tryptophane synthetase). In soya, zinc deficiency reduces the photosynthesis rate and the activity of carbonic anhydrase.

According to Chapman [1], a leaf level of anything from 25 to 150 ppm can be considered normal. Below 20 ppm deficiencies appear, above 400 ppm the level is toxic.

In Malaysia [11] leaf levels in the oil palm are 10-40 ppm.

2. — I. R. H. O. results.**a) Geographic inventory.**

On 33 stations (521 samples) the mean level of leaf 17 is 22 ppm. The lowest contents are found in Malaysia (9 ppm at Jenderata) and the highest in Ecuador (42 ppm at Santo Domingo).

There is no marked variation in leaf contents in function of the type of soil.

b) Experimental results.— *In hydroponics :*

If zinc is absent from the nutrient solution growth is severely reduced (— 73 p. 100) compared to the control, but there is no effect on the leaf levels. The oil palm seems here to follow the « all or nothing » rule.

— *In the field :*

The application of high rates of zinc sulphate in the Ivory Coast (Table V) raised the contents considerably; zinc is therefore very well absorbed by the oil palm. On the other hand, no effect on growth or yield has ever been seen; 18 ppm seems an adequate content (Table V).

VIII. — GENERAL CONCLUSION

It appears from the foregoing that the oil palm's performance in respect to the micronutrients follows that of many other plants, as illustrated by figure 2.

One is inclined to think that the leaf levels observed are governed much more by the pH than by the soil contents. Figure 2 shows that in the range of soils habitually planted to oil palm and in which the pH is from 4.5 to 6.0 (Fig. 1), nutrition in most micronutrients is normal or maximum.

The well-known micronutrient deficiencies - copper and boron in acid peats (pH 3-3.5), or boron associated with low manganese levels in soils close to neutral (recent alluvial soils in Colombia) fit perfectly well into the framework of figure 2. These remarks explain that experiments conducted with micronutrients have given very few positive results.