

Les oligoéléments dans la nutrition du cocotier

J. M. ESCHBACH (1) et R. MANCIOT (2)

Résumé. — Un inventaire géographique des teneurs en oligoéléments, déterminées par l'I.R.H.O., a été effectué pour les éléments suivants : Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, F. Sur jeunes plantules, les études en vase de végétation ou en pépinière ont montré que le bore est indispensable à une bonne croissance, et qu'en son absence des déformations foliaires étaient à craindre sur jeunes cultures ou arbres adultes. Le fer et le manganèse peuvent devenir déficients lorsque le pH du sol est trop alcalin, mais des corrections spectaculaires de leurs carences ont pu être effectuées sur atolls de Polynésie. Il est difficile de proposer actuellement pour ces éléments un niveau critique précis, mais, dans cet article, les auteurs tentent d'indiquer ceux au-dessus desquels il n'y aurait plus de déficience à craindre. En tout état de cause, des apports préventifs de bore, de fer ou de manganèse peuvent éviter la manifestation des carences correspondantes. On n'a pas encore décelé de carence en Al, Cu, Mo et Zn sur cocotier.

Avant d'aborder l'étude consacrée au cocotier, il convient de rappeler que c'est à la suite de la création en 1959 de la Station de Rangiroa en Polynésie, sur sol calcaire d'origine madréporique, que l'I.R.H.O. a été conduit à entreprendre des recherches dans ce domaine. En effet, dès 1957, les analyses foliaires effectuées avaient montré que l'aspect chlorotique de la plupart des cocotiers était dû à des carences en fer et en manganèse.

Cet article fait donc suite à celui déjà paru sur le palmier à huile dans le numéro de juin 1980 de cette Revue. Après rappel des connaissances générales sur chaque oligoélément, on procédera à un inventaire géographique des teneurs observées dans les sols ou à la suite d'analyses foliaires (Tableau XI) et on exposera les résultats des essais effectués en vases de culture ou aux champs.

I. — ALUMINIUM

1. — Généralités.

Bien que des recherches entreprises sur la nutrition minérale des tissus végétaux aient montré l'action favorable de l'aluminium sur la croissance, le rôle utile de ce métalloïde n'est pas très bien connu dans la plante. On sait que son accumulation au niveau du système racinaire provoque une toxicité, et que cette accumulation est fonction du pH du sol. Au niveau foliaire, ce phénomène de toxicité a été souvent associé à une déficience en

phosphore et à des valeurs fortes de fer et de manganèse, celles de calcium et de magnésium restant faibles.

2. — Résultats I.R.H.O.

a) Analyse du sol.

Sur sable quaternaire de l'Afrique de l'Ouest, les quantités d'aluminium échangeable observées dans quelques analyses de sol varient de 0,01 à 0,90 méq/100 g. A Madagascar, sur sable côtier, les niveaux évoluent aussi de manière importante (0,05 à 0,76 ppm), mais dans tous les cas ces différences ne perturbent pas la croissance des plants.

b) Analyse foliaire.

Les teneurs en aluminium de la feuille sont relativement constantes notamment au Bénin, en Côte-d'Ivoire et à Madagascar (76 ppm en moyenne pour 40 analyses), mais on relève des valeurs plus faibles à Sri Lanka (24 ppm), au Vanuatu (ex-Nouvelles-Hébrides) sur sol argileux de plateau (13 ppm), et des valeurs fortes à Sumatra (127 ppm) sans conséquence apparente. On a toutefois montré à Port-Bouët en Côte-d'Ivoire que les teneurs présentaient un « gradient » foliaire et augmentaient régulièrement avec le vieillissement de la feuille de 9 ppm, pour la feuille 1, à 48 ppm pour la feuille 29.

c) Résultats expérimentaux. Aquiculture (Tabl. I).

Une première approche de l'étude de la toxicité aluminium a été faite par l'I.R.H.O. en 1980 en serre chauffée à Montpellier (France) avec des plants âgés d'un an élevés en aquiculture. La solution nutritive contenait, entre

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

(2) Département Cocotier de l'I.R.H.O. — 11, square Pétrarque, 75016 Paris (France).

TABLEAU I. — Teneurs en aluminium (*Aluminium levels*) ppm (2 plants/objet - 2 plants/treatment)

Traitement (<i>Treatment</i>) Equivalents de (of) Al en p. 100 de (of) (K + Ca + Mg + Na)	Racines (<i>Roots</i>)	2 dernières feuilles ouvertes (<i>Last 2 leaves opened</i>)	Feuille n° 5 plus âgée (<i>Leaf older</i>)	Pétiole (<i>Leaf stalk</i>) + rachis	Stipe (<i>Stem</i>)
0	22 20	3 8	63 9	0 0	0 0
12	306 246	45 10	31 28	0 23	0 0
25	360 830	3 18	27 25	0 33	0 0
50	1 060 797	6 36	36 64	6 0	0 0
100	710 1 103	12 12	33 48	8 7	0 0
200	846 1 250	50 31	64 32	30 0	1 0

autres éléments, 0,6 éq/l de K, 0,8 éq/l de Ca, 0,3 éq/l de Na et 0,4 éq/l de Mg, soit 0,21 éq/l au total. Les quantités d'aluminium ajoutées représentèrent respectivement 0, 12, 25, 50, 100 et 200 p. 100 de cette somme. A l'issue de l'essai, qui dura deux mois, aucun signe de toxicité ne fut constaté sur les plants. Les dosages d'aluminium effectués sur les différents organes des jeunes cocotiers montrent une forte accumulation du métal dans les racines, tandis que les teneurs des autres organes sont peu modifiées, ce qui signifie qu'il n'y a pas eu de migration de l'élément à l'intérieur de la plante.

Dans les conditions expérimentales, les teneurs des racines ont augmenté jusqu'à une concentration d'aluminium représentant 50 p. 100 de la somme des 4 autres cations.

Il semble que le cocotier puisse supporter de fortes concentrations d'aluminium dans la solution du sol sans que se manifestent des symptômes visuels de toxicité.

II. — BORE

1. — Généralités.

Le bore est indispensable au développement des plantes. Sa carence provoque très souvent des déformations importantes de l'appareil foliaire et l'apparition de nécroses, elle perturbe fortement la croissance et favorise l'apparition d'effets secondaires (pourriture). Au stade ultime, la plante meurt.

Ce sont toujours les tissus jeunes qui subissent ces déformations car le bore agit dans les phénomènes de translocation des sucres. Dans une expérimentation conduite par Heller [8], l'influence du bore sur le développement des tissus végétaux a été clairement démontrée. Il joue un rôle très important dans la différenciation cellulaire qui se trouve inhibée lorsque ce métalloïde est déficient.

Le bore intervient aussi dans la synthèse des acides nucléiques en favorisant leur métabolisme.

En situation de carence, les nitrates « stockés » dans les racines, les feuilles et la tige, inhiberaient la formation des amino-acides et la synthèse des protéines. L'accumulation d'auxines provoquerait l'apparition de nécroses.

2. — Inventaire géographique.

En Côte-d'Ivoire, dans les sols formés sur sables quaternaires d'origine marine, les teneurs de la feuille 14 sont en général comprises entre 8 et 15 ppm.

A Madagascar et aux Philippines les teneurs foliaires sont analogues à celles de Côte-d'Ivoire : 9 à 16 ppm.

Sur sols coralliens, dans les atolls du Pacifique, les teneurs sont plus élevées : 18 à 33 ppm [3], ainsi qu'en Papouasie et en Nouvelle-Guinée [6], mais elles dépendent essentiellement de la qualité du sol. Ainsi au Vanuatu, où l'on distingue les terres coralliennes de bord de mer, sableuses, à pH alcalin (en moyenne 7,6 à 8,0) et les sols argileux de plateau à pH plus acide (5,1 à 6,6), on constate que les niveaux de bore sont, dans les horizons superficiels, de 0,6 à 1,0 ppm dans les premiers et 1,2 à 1,4 ppm dans les seconds. Par contre dans la plante, les teneurs en bore sont inversées ; en particulier, sur variété Nain Rouge de Malaisie, les niveaux de la feuille de rang 9 sont de 22 ppm sur sol corallien et 17 ppm seulement sur sol de plateau. Chez les variétés de Grands, les valeurs varient de 8 à 12 ppm, quel que soit le type de sol et sans que les arbres extériorisent de déformations.

Ces niveaux sont souvent au-dessous des teneurs de 20 à 100 ppm considérées comme normales dans la plante. Une valeur supérieure à 200 ppm est considérée comme toxique.

3. — Résultats expérimentaux.

En aquiculture.

Comme pour le palmier, la carence en bore agit surtout sur l'élongation foliaire. Le collet a, par ailleurs, une forme caractéristique en oignon et, à 12 mois, le poids sec ne représente que 23 p. 100 de celui du témoin bien alimenté en B. La feuille 4 présente des taches et un début de nécrose, et l'élongation s'arrête dès la feuille 7. On a observé cependant que les teneurs de la feuille 4 ne sont jamais inférieures à 4,5 ppm et qu'il n'a pas été possible de déterminer le niveau au-dessus duquel le cocotier ne présente plus de symptômes carenciels.

Au champ.

En Côte-d'Ivoire, les jeunes cocotiers plantés sur des terrains ayant porté plusieurs cycles de cultures vivrières, et de caféiers, ont été affectés par des anomalies de croissance comparables à celles observées sur les palmiers carencés en bore : folioles terminales soudées, extrémités des folioles en baionnette, partie inférieure du rachis sans folioles, raccourcissement de la flèche. Les applications de bore n'ont pas permis de corriger ces symptômes malgré une augmentation des teneurs dans les feuilles [1]. Les malformations ont cependant décréu et disparu après un an, indépendamment des traitements. Les symptômes particuliers et caractéristiques de « taches blanches » observées en vase de solution nutritive, ne se retrouvent pas nettement au champ.

L'historique des recherches entreprises sur les effets du bore, repris dans une communication récente [7], indique les résultats obtenus à ce jour, notamment qu'une application de 15 g/arbre de Boracine à titre préventif dès la plantation, puis 15 g/arbre à 6 mois, empêche toute anomalie de croissance, alors que les parcelles témoins n'ayant pas reçu de bore présentent, à l'âge de 2 ans, 61 p. 100 de plants atteints.

En l'absence de symptôme visible de carence en bore, on n'a pas pu mettre en évidence de relation entre la teneur en bore (significativement augmentée de 6,7 à 10,2 ppm par des apports de 30 g/arbre/an) et la croissance ou la production de coprah. Comme chez le palmier, la déficience en bore semble obéir à la loi du « tout ou rien ». Mais des phénomènes de toxicité peuvent toutefois apparaître, les nécroses étant proportionnelles aux doses de Boracine apportées, qui peuvent provoquer exceptionnellement la mort de jeunes plants.

Des différences de sensibilités variétales ont été également observées ; les Nains Rouges de Malaisie sont plus sensibles que les Grands, plus résistants ; les hybrides ont une réaction intermédiaire.

4. — Conclusion.

Les besoins en bore du cocotier sont du même ordre que ceux du palmier à huile. Des déficiences peuvent apparaître au jeune âge mais sont facilement corrigées par des apports de Boracine peu coûteux (2 fois 15 g/arbre/an). Bien que le niveau optimal n'ait pu être fixé avec précision, on constate qu'il doit se situer entre 5 et 15 ppm, vraisemblablement aux alentours de 10 ppm.

III. — CUIVRE

1. — Généralités.

Le cuivre fait partie des cinq oligoéléments métalliques indispensables à la plante, bien que les quantités de cuivre absorbées par la plante soient faibles (2 à 20 ppm).

Selon la littérature, il existe une concentration relative-

ment élevée de cuivre dans les chloroplastes. A cet égard, le cuivre jouerait un rôle assez semblable à celui du fer. Depuis quelques années on pense qu'il intervient dans la photosynthèse mais sa fonction n'est pas clairement définie ; la concentration de cet élément serait plus élevée dans le système racinaire que dans le reste de la plante. Certaines enzymes renfermant du cuivre joueraient un rôle de catalyseur dans des réactions d'hydroxylation. Le cuivre interviendrait dans le métabolisme, en particulier dans celui des protéines, agissant alors comme co-facteur de la synthèse d'enzymes. Il existerait peut-être un effet du cuivre sur la synthèse de l'ADN et de l'ARN, car on a observé qu'à des tissus déficients en cuivre correspondent de faibles niveaux d'ADN.

Par conséquent, le rôle du cuivre semble assez connu chez un grand nombre de plantes, mais il n'a pas encore été mis en évidence chez le cocotier.

2. — Inventaire géographique.

a) Analyse du sol.

Sur sols brun-rouge ferrallitiques des plateaux du Vanuatu, les teneurs en cuivre total avoisinent 520 à 560 ppm, ce qui est élevé par rapport aux moyennes en général connues. Mais le pH du sol est déterminant. En effet, pour des valeurs de pH comprises entre 6 et 7 le cuivre, moins solubilisé, n'entraînerait aucun risque de toxicité, alors qu'en Afrique centrale, en sols très acides, les niveaux précités seraient hautement phytotoxiques.

Dans les sables coralliens, les teneurs en cuivre sont plus faibles : de l'ordre de 75 ppm. A Madagascar, à l'exception des tourbes pures, on n'observe pas de relation nette avec le type de sol, les teneurs les plus faibles se rencontrant aussi bien sur sols coralliens que sur sables quaternaires acides (Sambava).

b) Analyse foliaire.

Chapman [10] considère que des niveaux de 5 à 20 ppm de cuivre sont normaux dans la plante.

Sur 17 stations (283 analyses), la teneur moyenne en cuivre est de 6,7 ppm dans la feuille 14 avec des extrêmes allant de 1,1 à 14 ppm. Les très faibles niveaux sont peu fréquents. Dans l'ensemble, ceux-ci restent comparables à ceux du palmier à huile et se situent, à peu près, dans la fourchette de Chapman. Pour les valeurs les plus faibles il n'a pas été observé de symptômes particuliers de chlorose ou de raccourcissement de feuilles suivis d'une perte importante de production, comme c'est le cas chez le palmier à huile planté sur sol tourbeux en Malaisie. Les moyennes observées en Amérique du Sud (Brésil essentiellement), en Asie et en Mélanésie sont assez voisines. En Afrique de l'Ouest et à Madagascar, les niveaux moyens sont presque toujours supérieurs à 4 ppm (un seul cas à 3,8), mais sont en général plus faibles que ceux observés dans les autres régions du monde.

Des mesures réalisées en Côte-d'Ivoire ont montré que les teneurs les plus fortes en cuivre se situaient dans les feuilles les plus jeunes, avec un gradient décroissant régulièrement vers les feuilles les plus âgées.

Au Vanuatu, dans le cadre d'une étude de l'évolution des niveaux des éléments en fonction de la saison (sur sol corallien évolué), on n'observe pas de variation très importante des teneurs en cuivre au cours de l'année (6 à 10 ppm sur une feuille de rang 14.)

3. — Résultats expérimentaux.

L'application du cuivre sur jeunes cocotiers sous forme de Nutramin, ou sur cocotiers adultes (50 g/arbre/an de sulfate de cuivre), n'a jamais eu d'effet sur la croissance ou la production dans l'expérimentation au champ.

Dans un essai en pépinière en Côte-d'Ivoire (Port-Bouët) le cuivre, apporté sous forme chélatée (Nutramin, Fertilon), est absorbé par les cocotiers d'un an sans effet sur la croissance (4,5 à 7,7 ppm).

Enfin, dans l'expérience PB-CC 33 de Côte-d'Ivoire, qui étudie l'effet sur la production des engrais azotés, phosphatés, potassiques et magnésiens, l'apport du sulfate d'ammoniaque augmente significativement les niveaux de cuivre dans la feuille de rang 14, qui passent de 5,1 à 6,4 ppm.

4. — Conclusion.

Bien que l'on n'ait jamais rencontré de cas de carence en cuivre chez le cocotier, la teneur optimale, difficile à préciser, doit être certainement de l'ordre de 4 à 5 ppm.

IV. FER

1. — Généralités.

C'est dans les fonctions enzymatiques que l'action du fer est la plus connue. Il intervient fréquemment dans les oxydo-réductions et, par conséquent, joue un rôle très important dans le métabolisme de la plante. Il est nécessaire à la formation de la chlorophylle. Dans les plantes vertes, la corrélation entre le niveau de fer des feuilles et la quantité de chlorophylle est bonne.

2. — Inventaire géographique.

a) Analyse du sol.

Sur des sables côtiers de l'Afrique de l'Ouest, les teneurs en fer total varient de 2 à 24 p. 1 000, celles des sables quaternaires (2 à 4 p. 1 000) étant légèrement plus faibles que celles des sables tertiaires (7 à 24 p. 1 000). A Madagascar, les valeurs obtenues sur les sols où se situe la cocoteraie fluctuent entre 15 et 38 p. 1 000.

Les niveaux les plus élevés sont enregistrés en Indonésie avec 79 à 170 p. 1 000 en fer total, les plus faibles niveaux (0,2 à 0,4 p. 1 000) dans les atolls coralliens, sauf sur les îles hautes coralliennes qui disposent d'un corail plus évolué et ont des teneurs natives en fer total équivalentes, voire supérieures, aux sols sableux de l'Afrique de l'Ouest (4 à 12 p. 1 000 au Vanuatu, et 31 à 47 p. 1 000 aux Philippines).

b) Analyse foliaire.

Des niveaux de 50 à 250 ppm dans les feuilles sont considérés comme normaux chez les plantes. Pour 23 stations (601 échantillons) la teneur moyenne est de 123 ppm.

Retrouvant l'influence très générale des pH alcalins sur la disponibilité en Fe du sol, les teneurs en fer de la feuille 14 sont en général plus faibles sur les sols calcaires d'origine corallienne que sur sols d'origine sédimentaire où elles peuvent atteindre 200 ppm (Tabl. II).

Dans des sols à pH équivalent (Bugsuk, Rangiroa, Saraoutou), les faibles valeurs trouvées à Rangiroa correspondent aux faibles teneurs en fer total du sol. Lorsque les sols présentent des quantités en fer du même ordre (7 p. 1 000) la comparaison des teneurs entre Port-Bouët et Saraoutou montre bien l'influence du pH sur les niveaux foliaires.

Au Vanuatu, où les valeurs sont faibles, on n'observe aucun gradient entre les feuilles jeunes et âgées. A l'inverse, sur sables tertiaires en Côte-d'Ivoire, la teneur en fer augmente avec le rang de la feuille. Mais il ne semble pas y avoir de variations saisonnières.

TABLEAU II. — Teneurs foliaires en Fe et pH du sol (*Leaf Fe levels and soil pH*)

Sol (<i>Soil</i>)	pH	Fe total du sol (<i>in soil</i>) p. 1 000	Fe (ppm)			
			R1	Feuille (<i>Leaf</i>) R4 R9		R14
Bugsuk (Philippines)	— Corail non altéré (<i>Unweathered coral</i>)	8,7	36,3	45	80	
	— Corail altéré (<i>Weathered coral</i>)	7,3	32,6		72	88
	— Sablo-argileux (<i>Sandy-clayey</i>)	6,0	22,9	57	69	
Port-Bouët (Côte-d'Ivoire) (<i>Ivory Coast</i>)	— Sables quaternaires (<i>Quaternary sands</i>)	5,4	7,0		121	157 130
Sambava (Madagascar)	— Sables quaternaires (<i>Quaternary sands</i>)	5,1	26,3	55	78	61
Rangiroa (Polynésie)	— Calcaire corallien (<i>Coral limestone</i>)	8,2	0,3	28	23	24 38
Saraoutou (Vanuatu)	— Calcaire corallien (<i>Coral limestone</i>)	7,9	7,1		74	79 80
	— Sol de plateau (<i>Plateau soil</i>)	6,5			83	91 93

TABLEAU III. — Essais d'application de fer (*Iron application trials*)

Polynésie Essais (<i>Trials</i>)	Sols (<i>Soils</i>)	Traitements (<i>Treatments</i>)	Durée (<i>Duration</i>) (ans - years)	Effets (<i>Effects</i>)		
				Teneurs (<i>Levels</i>) (—) (Fe)	Croissance poids frais (<i>Growing-fresh weight</i>)	Production en p. 100 du T
RA-CC 1	atoll	— 200 g FeSO ₄ en couronne/an (<i>in a ring/year</i>)	3	42	41	Effets très importants (<i>Very marked effects</i>) (V. Tabl. VI)
		— 20 g FeSO ₄ en injection/ an (<i>year</i>)	2	39	49*	
		— 400 g FeSO ₄ dans un trou/an (<i>in hole/year</i>)	4	51	63*	
		• sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)		(R14)		
RA-CC 2	sableux (<i>sandy</i>)	— 250 g FeSO ₄ en couronne/an (<i>in a ring/year</i>)	2	32	32	124 p. 100
		— 10 g FeSO ₄ en injection/an (<i>year</i>)	3	34	63**	
		• sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)				
RA-CC 3	corallien (<i>coral</i>)	— 5 g FeSO ₄ dans la bourre (<i>in the husk</i>)	3	20	37**	322 p. 100 400 p. 100
		— 10 g FeSO ₄			39**	
		• sur jeunes cocotiers (<i>on young coconuts</i>)			(R1)	

TABLEAU IV. — Teneurs en Mn et pH (*Mn levels and pH*)

Localisation	Type de sol (<i>Type of Soil</i>)	pH	Mn total sol (<i>in soil</i>) (ppm)	Mn ppm		
				R4	Feuille (<i>Leaf</i>) R9 R14	
Rangiroa (Polynésie)	— Calcaire corallien (<i>Coral limestone</i>)	8,2				18
Saraoutou (Vanuatu)	— Sol corallien (<i>Coral soil</i>)	7,9				16
	— Sol de plateau (<i>Plateau-soil</i>)	6,5				89
Bugsuk (Philippines)	— Corail non altéré (<i>Unweathered coral</i>)	8,1		59		
	— Corail altéré (<i>Weathered coral</i>)	7,3	600	62		96
	— Sablo-argileux (<i>Sandy-clayey</i>)	6,0		90		
Port-Bouët (Côte-d'Ivoire) (<i>Ivory Coast</i>)	— Sables quaternaires (<i>Quaternary sands</i>)	5,4	83		194	237
Sambava (Madagascar)	— Sables quaternaires (<i>Quaternary sands</i>)	5,1	1 370		328	340

3. — Résultats expérimentaux.

La déficience ferrique des cocotiers plantés sur les sols coralliens des atolls polynésiens était bien connue des populations locales qui n'hésitaient pas, avant une nouvelle plantation, à jeter de vieilles boîtes de conserve dans le fond du trou ; la transformation de l'oxyde ferrique sous forme assimilable comblait le déficit en fer du jeune plant et facilitait sa croissance. Ce procédé empirique n'est évidemment pas satisfaisant car le pH (très alcalin), associé au « manque » de sol, essentiellement constitué de blocs ou cailloux coralliens, limitait la correction de cette déficience.

Décrite depuis 1958 [2], la carence en fer du cocotier sur sols coralliens a été bien étudiée par l'I.R.H.O. sur la station de Rangiroa [4, 5]. Les symptômes visuels sont ceux d'une chlorose classique : décoloration vert pâle à jaune foncé pour l'ensemble des feuilles [7].

Dès le début des recherches on a constaté que l'application directe de sulfate de fer au sol ne permettait pas de corriger cette carence en raison de la forte concentration des sols en carbonate de calcium qui provoquait un « blocage » des ions ferriques. L'I.R.H.O. a donc été amené à utiliser une technique d'injection dans le stipe pour juger de l'efficacité de ce produit. On a ainsi relevé par ce moyen les niveaux du fer dans les feuilles et provoqué un reverdissement de l'appareil foliaire en même temps qu'une augmentation de la production. Mais il est apparu très vite que l'injection ne pouvait être vulgarisée sans risques (vulnérabilité aux coups de vent de l'arbre qui est truffé de trous après quelques années d'injection, facilité de pénétration des parasites, effet éphémère de l'injection, difficulté d'injecter les solutions ferriques dans les jeunes plants...).

Sur jeunes cocotiers, l'application de 5 à 10 g de sulfate de fer dans la bourre s'est révélée supérieure à l'application au sol ; les teneurs en fer des feuilles ont augmenté, le cocotier a reverdi et sa croissance s'est améliorée : accroissement de poids sec du plant de 400 p. 100 par rapport au témoin (résultats de l'essai RA-CC3, Tabl. III et V).

Sur arbres adultes, la localisation dans un trou à la base du stipe (400 g/arbre) est préférable à l'apport au sol en couronne car, dans ce cas, le fer n'est pas absorbé (RA-CC1, RA-CC2). Les résultats de l'essai RA-CC1 (Tabl. III et V) confirment l'augmentation du nombre de noix et du coprah/arbre avec l'apport de fer.

Sur ces types de sol, le fer est donc le premier facteur limitant et les fumures ne peuvent agir pleinement qu'une fois cette carence corrigée. L'apport de fer améliore d'ailleurs significativement la nutrition azotée (RA-CC3). Cette même expérience montre aussi que l'apport de fer peut permettre un accroissement de près de 500 p. 100 du poids sec des jeunes plants une fois corrigée la carence en azote ou en manganèse (Tabl. V).

4. — Conclusion.

C'est un problème de disponibilité en fer que rencontrent les cocotiers plantés sur des sols où le pH est élevé et les teneurs natives en fer total faibles.

On corrige facilement la carence en fer des jeunes plants en apportant chaque année, et jusqu'à 2 ans, 10 g de sulfate de fer dans la bourre.

Sur arbres adultes, l'injection est un moyen d'étude qui a permis d'estimer que le niveau critique dans la feuille 14, s'il ne peut être fixé précisément, doit être supérieur à 40 ppm et inférieur à 100 ppm. En cas de déficience, les apports de sulfate de fer sont portés à 200 g/arbre/an dans un trou pratiqué à la base du stipe. La correction de la carence ferrique est très spectaculaire sur la coloration du feuillage et la production.

V. — MANGANÈSE

1. — Généralités.

Comme le fer, le manganèse joue un rôle enzymatique dans l'activation des décarboxylases et déshydrogénases, mais le magnésium peut se substituer à lui. Par contre, dans d'autres réactions, le manganèse reste un oligoélément métallique indispensable.

Au niveau des tissus, la déficience manganique se caractérise par la réduction du volume des cellules dont les cloisons se rétrécissent. A l'inverse, les symptômes de toxicité se manifestent par des taches brunes dans les organes les plus âgés et par une distribution inégale de la chlorophylle. Cette toxicité s'accompagne souvent des symptômes typiques de la déficience ferrique.

Le manganèse migre dans le tissu des méristèmes et se localise plutôt dans les organes jeunes qui sont les plus riches.

2. — Inventaire géographique.

a) Analyse du sol.

Sur les sables pauvres du littoral de l'Afrique de l'Ouest, les teneurs varient de 0,025 à 0,130 p. 1 000. Elles sont nettement plus élevées à Madagascar (1,27 à 1,47 p. 1 000), et très élevées en Indonésie (1,8 à 15,0 p. 1 000). Aux Philippines, les niveaux évoluent de 0,50 à 0,99 p. 1 000, similaires à ceux des sols coralliens et argileux des plateaux du Vanuatu.

b) Analyse foliaire.

Dans la plante, des teneurs inférieures à 20 ppm sont considérées comme déficientes [10] ; certaines, supérieures à 500 ppm, peuvent être toxiques.

Chez le cocotier, les niveaux sont aussi variables que ceux du palmier à huile, mais sur 25 stations (670 analyses)

TABLEAU V. — Interaction fer/manganèse (Iron/Manganese interaction)

RA-CC1 Bloc I		Mn0	Mn1	Mn2	Fe (ppm)
Interaction Fe-Mn sur le nombre de noix/arbre en 1966 (on number nuts/tree in 1966)	Fe0	30,1 (100)	36,6 (122)	36,3 (121)	38
	Fe1	35,6 (118)	43,7 (145)	54,2 (180)	68**
Teneurs Mn (Levels) ppm		19	84**	114**	
RA-CC3			(5 g)	(10 g)	
Interaction Fe-Mn sur le poids frais des plants à 2 ans 1/2 (kg/arbre) (on fresh weight of plants at 2 1/2 years-kg/tree)	Fe0	31,3 (100)	35,5 (113)	29,1 (93)	28
	Fe1 (5 g)	100 (322)	120 (385)	125 (400)	37**
	Fe2 (10 g)	125 (400)	156 (500)	158 (506)	39**
Teneurs en Mn (Levels) ppm		24	92**	150**	

la valeur moyenne dans la feuille de rang 14 est de 175 ppm.

Les teneurs les plus basses se rencontrent sur les sols d'origine calcaire, formés sur corail, les plus élevées sur sables quaternaires d'Afrique. Comme le montre le tableau IV, l'influence de l'acidité du sol est particulièrement nette sur les teneurs en manganèse à Saraoutou et à Bugsuk.

En condition de bonne nutrition, la teneur en Mn augmente avec le rang de la feuille ; par contre, on ne remarque plus ce gradient lorsque celle-là est faible.

Sur sols coralliens, il n'existe pas de variations dans les teneurs en fonction de l'époque du prélèvement.

La fertilisation potassique peut dans certains cas faire baisser significativement les quantités de manganèse dans les feuilles. C'est ainsi qu'en Côte-d'Ivoire (PB-CC13), sur sables quaternaires, on a observé que des apports croissants de KCl entraînaient l'évolution suivante du manganèse :

K 0 : 237 ppm	K 2 : 202** ppm
K 1 : 216 ppm	K 3 : 191** ppm

3. — Résultats expérimentaux.

Les cas de carence en manganèse sont étroitement associés aux cas de carence en fer comme sur les sols alcalins de Polynésie.

Significativement absorbé par la plante (Tabl. VII) le manganèse a cependant un effet moins spectaculaire que le fer. Bien qu'il puisse agir seul, son effet est beaucoup plus important une fois la carence en fer corrigée. Il augmente les croissances et le nombre de noix/arbre sur les arbres déficients (Tabl. V). Le coprah/noix n'est pas modifié. Le tableau VI montre que le rétablissement de teneurs normales en Fe, et aussi en Mn qui supprime l'état de chlorose des arbres, améliore sensiblement la nutrition azotée qui était insuffisante et accroît également leurs teneurs en phosphore et potassium. La carence en oligo-éléments est telle qu'elle constitue un facteur limitant qui inhibe l'assimilation des éléments majeurs.

TABLEAU VI. — Effets secondaires des oligoéléments sur les éléments majeurs (RA-CC 3)

(Secondary effects of micronutrients on major elements)

	Teneurs en (Levels) :		
	N	P	K
Fe0	1,62	0,153	1,18
Fe1	1,94**	0,175*	1,37**
Fe2	1,96**	0,180**	1,33**
Mn0	1,77		
Mn1	1,86*		
Mn2	1,90*		

L'expérimentation conduite sur les sols coralliens, corail peu évolué des îles basses de Polynésie et corail très décomposé des plages exondées du Vanuatu, a contribué à une meilleure connaissance de la nutrition en oligoéléments des cocotiers plantés sur ce type de sol :

— ce sont essentiellement les sols bien pourvus en carbonate de calcium qui bloque l'assimilation du manganèse (les sols de plateau du Vanuatu, au pH plus acide, ont des teneurs supérieures à 50 ppm),

— l'application, en couronne, d'engrais manganique est sans effet sur les niveaux de manganèse,

— l'injection dans le stipe produit toujours une augmentation significative du niveau du manganèse dans les feuilles,

— la concentration de sulfate de manganèse dans un trou à la base du stipe a une efficacité aussi grande que l'injection et procure une augmentation significative des teneurs en manganèse,

— au jeune âge, l'application de l'engrais manganique dans la bourre de la noix permet une bonne assimilation du manganèse.

Les résultats obtenus en Polynésie, comme au Vanuatu, montrent qu'une teneur en Mn inférieure à 30 ppm dans la feuille 4 d'un cocotier de deux ans est insuffisante. En effet, c'est pour des teneurs inférieures à 30 ppm que l'on observe des corrélations significatives entre teneurs et croissance (Tabl. VIII).

TABLEAU VIII
Corrélations teneurs en Mn/croissance au Vanuatu
(Correlations between Mn levels/growth in Vanuatu)

Age an (Year)	Rang des feuilles (Leaf rank)	Teneur moyenne en Mn (Average Mn level) (ppm)	Valeur de (Value of) r
1	1	32	0,36 IV
2	4	27	0,73*** IV
3	9	23	0,56*** NF

IV : Indice de vigueur (Vigour index)

NF : Nombre de feuilles (Number of leaves)

4. — Conclusion.

Sur cocotiers, les carences en manganèse sont presque certaines chaque fois qu'il existe une carence en fer due à l'alcalinité du sol.

Il est en fait plus facile de définir un niveau de carence (30 ppm) qu'un véritable niveau critique [5] ; on peut toutefois estimer, avec Singh et Velayutham [13], que celui-ci doit être supérieur à 70 ppm.

Des apports préventifs de 5 g de sulfate de manganèse dans la bourre sont en général réalisés conjointement avec des apports de 10 g de sulfate de fer jusqu'à deux ans. Pour les cocotiers adultes, les doses sont portées à 50 g de sulfate de manganèse et 200 g de sulfate de fer, l'application s'effectuant dans un trou à la base du stipe.

VI. — MOLYBDÈNE

1. — Généralités.

Le molybdène, qui fait partie des oligoéléments métalliques, est absorbé sous forme de molybdate ; localisé dans le phloème et le parenchyme vasculaire : sa mobilité est faible. Il intervient dans la réduction des nitrates en nitrites par l'intermédiaire de l'enzyme nitrate-réductase. L'absence de molybdène dans cette enzyme lui confère une moindre activité.

Ce sont les feuilles moyennes et âgées qui extériorisent fréquemment les symptômes de la déficience en molybdène ; souvent petites et couvertes de taches nécrotiques, les feuilles virent du vert-jaune au jaune et leurs bordures s'enroulent sur elles-mêmes.

2. — Inventaire géographique.

Dans les sols brun-rouge ferrallitiques des îles hautes du Vanuatu, les niveaux en molybdène sont de 6 à 7 ppm ; ils

TABLEAU VII. — Essais d'application de Mn (*Mn application trials*)

Pays Essais (Country-Trials)	Sols (Soils)	Traitements (Treatments)	Durée (Duration) (an-year)	Effet (Effect) Teneurs (Levels) (Mn) (+)	(-)
Bénin SP-CC 13		6 g MnSO ₄ en pépinière (<i>in nursery</i>)	1	(R1) 72	186**
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) PB-ES 142		2 g Nutramin (10 p. 100 Mn) 4 g Nutramin 2 g Fertilon (1,5 p. 100 Mn) 4 g Fertilon en pépinière (<i>in nursery</i>)	1	31 (R1)	69** 112** 86**
PB-CC 9		100 g/an MnSO ₄ sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)	6	(R14) 309	369**
PB-CC 10		6 g MnSO ₄ en pépinière (<i>in nursery</i>)	1	(R1) 137	208
Vanuatu NH-ES 1	Corallien (Coral)	10 g MnSO ₄ injection/an (<i>/year</i>) 200 g MnSO ₄ trou-sol/an (<i>hole soil/year</i>) sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)	2 2	148 96 (R14)	166 97
NH-ES 2	Corallien (Coral)	50 g MnSO ₄ au sol/an (<i>soil/year</i>) 30 g Nutramin/an (<i>/year</i>) sur cocotiers jeunes et adultes (<i>on young and adult coconuts</i>)	2 2	46 25 (R14)	42 25
NH-ES 3	Sol de plateau (soil)	250 g MnSO ₄ /an (<i>/year</i>) sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)	3	55	55
Polynésie RA-CC 1	Atoll	150 g MnSO ₄ couronne/an 300 g MnSO ₄ (<i>in ring/year</i>) 10 g MnSO ₄ injection/an 20 g MnSO ₄ (<i>injection/year</i>) 150 g MnSO ₄ trou-sol/an 300 g MnSO ₄ (<i>hole soil/year</i>) sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)	3 2 4	17 27 18	16 18 106* 168* 70* 97*
RA-CC 2	Sableux (Sandy)	250 g MnSO ₄ couronne/an (<i>in ring/year</i>) 10 g MnSO ₄ injection sur cocotiers adultes (<i>on adult coconuts</i>)	2 3	9 19	9 72*
RA-CC 3	Corallien (Coral)	5 g MnSO ₄ dans bourre 10 g MnSO ₄ (<i>in husk</i>) sur jeunes cocotiers (<i>on young coconuts</i>)	3	24	92** 150**

sont inférieurs à 5 ppm dans les rendzines des sols calcaires. On estime que des déficiences sont possibles pour des teneurs du sol inférieures à 1 ppm [10].

Le tableau XI met en évidence chez le cocotier des variations d'analyses foliaires qui vont en moyenne de 0,05 à 0,35 ppm dans la feuille de rang 14, avec des minima à 0,01 ppm. Dans la feuille 9 les valeurs sont toujours plus élevées (0,09 à 0,44 ppm).

Il n'existe pas de grandes variations en fonction du type de sol.

3. — Résultats expérimentaux.

Dans une expérimentation conduite en Côte-d'Ivoire sur pépinière, l'apport de Mo (4 g de Nutramin) augmente significativement les teneurs de la feuille 1 de 0,15 à 0,54 ppm, mais reste sans effet sur la croissance des plants.

4. — Conclusion.

On n'a jamais mis en évidence de carence en molybdène chez le cocotier et il est impossible d'établir un niveau critique.

VII. — ZINC

1. — Généralités.

La forme sous laquelle le zinc migre des racines vers l'appareil foliaire n'a pas été mise en évidence ; la mobilité du zinc n'est donc pas connue. Absorbé en grande quantité, il s'accumulerait plutôt au niveau des racines.

En tant que constituant de nombreuses déshydrogénases, le zinc intervient dans le métabolisme. Dans sa fonction enzymatique il est comparable au manganèse et au magnésium. Étroitement lié au métabolisme de l'azote, sa déficience provoquerait une diminution brutale de la teneur en ARN.

Le zinc est indispensable à la synthèse du tryptophane. Comme le tryptophane est précurseur de l'acide indolacétique, la formation de cette substance de croissance semble directement influencée par le zinc. Il jouerait également un rôle dans la formation de l'amidon. Il est parfois associé au cuivre dans certaines réactions enzymatiques.

L'interaction existant entre Zn et P, étudiée par divers

auteurs, montre que des niveaux élevés en P peuvent induire une déficience en zinc. Cette déficience empêche le développement des chloroplastes. Elle est visible sous forme de taches nécrotiques vert pâle, jaunes ou blanches des feuilles. Chez certaines plantes, elle peut s'accompagner d'une réduction du nombre de bourgeons, entraînant ainsi une baisse importante de la production.

Des phénomènes de toxicité ont déjà été observés. Cette toxicité se manifeste par une réduction du système racinaire et du système foliaire, en même temps qu'apparaissent des chloroses. Elle s'observe dans les régions riches en minerai de zinc. Certaines plantes tolérantes renfermeraient de fortes quantités de zinc (agrostis).

2. — Inventaire géographique.

Les sols brun-rouge ferrallitiques du Vanuatu sont plus riches en zinc que les sols sableux coralliens (200 à 300 ppm, contre moins de 50 ppm).

Dans la plante, des taux de 25 à 150 ppm sont considérés comme normaux [10]. Dans 9 situations d'Afrique (79 échantillons), la teneur moyenne pour le cocotier est de 19 ppm. Elle varie, pour la feuille de rang 14, de 15 ppm en Côte-d'Ivoire à 24 ppm au Bénin.

Sur certaines îles coralliennes du Pacifique Sud on a enregistré des minima de 8 ppm dans les feuilles de rang 14 et un peu plus (13 à 14 ppm) sur la feuille de rang 9.

Un apport de N, P, ou Mg élève les teneurs en zinc, alors qu'une application d'engrais potassique les diminue significativement.

3. — Résultats expérimentaux.

Les diverses applications de sulfate de zinc effectuées sur plants de pépinière sous forme de Nutramin, ou sur arbres adultes (50 g/arbre/an de sulfate de zinc), ont parfois entraîné des augmentations des teneurs foliaires

sans avoir eu d'action sur la croissance ni sur le rendement.

Dans le cadre de l'étude de la maladie du Vanuatu, des pulvérisations de sulfate de zinc réalisées sur l'appareil foliaire des jeunes cocotiers ont provoqué un reverdissement temporaire du feuillage, sans toutefois assurer la guérison de l'arbre.

4. — Conclusion.

Les divers essais d'application de zinc n'ont pas encore eu d'effet prolongé sur cocotier.

La déficience en zinc n'a pas encore été mise franchement en évidence sur cocotier. Les niveaux dans les feuilles en cet élément semblant suffisants on peut proposer sans grand risque de fixer le niveau optimal à 15 ppm.

VIII. — FLUOR

D'après Mengel [11], les taux de fluor varient de 2 à 20 ppm dans la plante, mais certaines espèces peuvent accumuler jusqu'à 200 ppm. Des niveaux élevés en fluor sont en général toxiques.

Cette phytotoxicité a été observée sur de jeunes cocotiers en pépinière fertilisés par du superphosphate simple, chargé en fluor, fabriqué à partir de phosphates naturels du Togo [12].

Les symptômes apparaissent le long des nervures et sont constitués de taches brunes circulaires d'aspect huileux. Ces taches se rejoignent et forment des plaques brunes qui se dessèchent, mais elles n'apparaissent sur les plants qu'en présence d'un sol blanc lessivé. Sur sol sablo-argileux, on ne rencontre pratiquement pas ce type de feuilles nécrosées (Tabl. IX). Cette phytotoxicité est fonction du pH, et l'application de chaux diminue le nombre de feuilles nécrosées (Tabl. X).

Sur sol sablo-argileux les teneurs en fluor de la feuille de rang 1, faibles et comprises entre 0,5 et 2,0 ppm, réduisent

TABLEAU IX. — Phytotoxicité du fluorure de calcium selon le type de substrat
(Phytotoxicity of calcium and fluorine according to the type of substrate)

Substrat (Substrate)	pH du sol (soil)	Objet (Treatment) g/plant F (1)	Feuilles nécrosées à 6 mois (Necrosed leaves at 6 months) (p. 100)	Circonférence au collet à 6 mois (Girth at 6 months)
Sol sablo-argileux (Sandy-clayey soil)	—	A = 0,48	0	14,4
	—	B = 0,56	0	14,2
	5,6	C = 0,64	0	13,7
Sable blanc lessivé (Leached white sand)	—	A = 0,48	6	12,5
	—	B = 0,56	16	11,1
	5,8	C = 0,64	20	12,4

(1) comprend le fluor inclus dans le fluorure de calcium et le phosphate bicalcique (includes fluorine contained in calcium fluoride and bicalcic phosphate).

TABLEAU X

Substrat (Substrate)	pH du sol (Soil)	Objet (Treatment) g/Ca(OH) ₂ /plant	Feuilles nécrosées à 6 mois (Necrosed leaves at 6 months) (p. 100)	Circonférence au collet à 6 mois (Girth at 6 months)	Teneur en F rang 1 (F level, rank 1) ppm
Sol sablo-argileux (Sandy-clayey soil)	5,3	0	3	14,0	1,0
	5,8	30	1	12,4	0,5
	7,0	60	1	11,9	2,0
	7,6	90	2	11,5	0,5
Sable blanc lessivé (Leached white sand)	6,2	0	67	11,1	5,3
	6,0	30	50	11,7	5,6
	7,1	60	56	11,2	3,2
	7,9	90	44	11,7	3,2

TABLEAU XI. — Inventaire géographique. Teneurs en oligoéléments des feuilles de rangs 9 et 14 du cocotier en ppm et nombre d'échantillons analysés (entre parenthèses)

(Geographical inventory. Micronutrient levels of leaf ranks 9 and 14, in ppm, and number of samples analysed — in brackets)

Cocotier (Coconut)	Al		Cu		Fe		Mn		Mo		Zn			
	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14		
AFRIQUE														
Bénin	— Semé Podji		57 (21)	65 (4)	1,7 (6)	6,8 (56)	190 (5)	181 (17)	546 (6)	242 (56)	0,44 (2)	0,16 (21)	18 (2)	24 (23)
Comores	— Bondoni				4,6 (2)*				46 (2)*					
	— Ouallah				4,4 (2)*				62 (2)*					
	— Bouffeungue				4,8 (2)*				167(2)*					
Côte-d'Ivoire	(Ivory Coast)													
	— Assinie (R4 & R14)		72 (14)		6,8 (4)	6,7 (14)	110 (4)	163 (14)	121 (4)	69 (14)	0,35 (9)		15 (14)	
	— Grand-Drewin					5,7 (3)		98 (24)		342 (24)			22 (3)	
	— Abengourou				3,5 (1)	4,6 (1)	169 (1)	216 (1)	260 (1)	220 (1)			17 (1)	16 (1)
	— Daloa				3,3 (1)	3,8 (1)	200 (1)	160 (1)	524 (1)	378 (1)			20 (1)	16 (1)
	— Gagnoa (R4)				6,5 (1)		146 (1)		445 (1)				17 (1)	
	— Tombokro					4,1 (1)		194 (13)		459 (1)			17 (1)	
	— Port-Bouët		62 (4)	84 (19)	6,5 (13)	6,6 (55)	157 (13)	130 (55)	194 (13)	237 (55)	0,35 (9)	0,26 (24)	20 (9)	21 (24)
Madagascar	— Sambava (R4 & R14)		52 (12)	63 (3)	3,5 (12)	4,1 (3)	78 (10)	61 (3)	328 (11)	340 (3)	0,25 (6)	0,10 (3)	15 (6)	20 (3)
	— Ankivanja							121 (30)		91 (30)				
	— Divers (R4) (Miscellaneous)		58 (2)		5,6 (14)		100 (14)		264 (14)		0,09 (2)		16 (2)	
Mozambique	— Divers (Miscellaneous)						279 (42)		188 (42)					
Togo	— Divers (Miscellaneous)				5,2 (40)*		261 (12)*		216 (32)*					
AMÉRIQUE														
Brésil	— Aracaju				7,2 (2)		211 (2)	114 (11)	115 (2)					
	— Recife				6,8 (12)		101 (21)		59 (21)					
Colombie	— San Alberto							47 (11)	44 (4)					
Haiti	— Nord et Sud (North and South)						48 (3)	67 (6)	56 (3)	95 (6)				
Jamaïque	— Coconut Ind. Board						75 (6)		111 (6)					
Mexique	— Tabasco						82 (4)							
Panama	— Palenque (R4)						61 (1)		206 (1)					
	— Puerto Obaldia						95 (1)		158 (1)					
ASIE														
Sri Lanka	— Kirimetiya (R1-R6)		6 (10)	24 (6)	9,8 (10)	7,7 (10)	56 (10)	67 (10)	87 (10)	118 (10)			42 (10)	29 (10)
	— Mattegoda				22,0 (1)	3,0 (1)		95 (1)	215 (1)	281 (1)				
	— Bandiripuw					7,7 (18)		106 (18)		204 (18)				
Indonésie	— Iles Sulawesi						59 (3)*		41 (3)*					
	— Nord Sumatra (R1)		127 (2)				80 (3)		389 (2)					
	— Tanjungkarang								574 (16)*					
Malaisie	— Kuala Bernam				6,1 (14)				318 (14)					
	— Sungei Bernam				6,9 (16)				212 (16)					
Philippines	— Bugsuk (R1-R4)						70 (234)	88 (61)	35 (234)	89 (61)				
	— Cadang Cadang**				5,8 (24)*		80 (24)*		6 (24)*				11 (24)*	
	— Davao						110 (1)	86 (8)	40 (1)	62 (8)				
	— Taguanan						132 (6)		109 (6)					
	— Hacienda Paz								201 (2)*					
OCÉANIE														
Mélanésie	— Iles Salomon				9,5 (11)	9,9 (18)	97 (13)	88 (20)	72 (13)	126 (20)	0,31 (3)	0,05 (3)	11 (3)	9 (3)
	— Vanuatu		13 (11)			7,2 (56)		102 (116)		51 (116)		0,11 (12)	20 (21)	
Micronésie	— Gilbert et Ellice				4,6 (12)		41 (33)		14 (33)					
Polynésie	— Rangiroa						38 (172)		18 (172)					

* Rang de feuille non précisé dans les documents de référence (Leaf rank not specified in reference documents).

** Arbres atteints par la maladie du Cadang-cadang (Trees affected by Cadang-cadang disease).

le pourcentage de feuilles nécrosées (entre 1 et 3 p. 100).

A l'inverse, sur sable blanc lessivé, les niveaux du fluor s'élevaient de 3,2 à 5,3 ppm, ainsi que le pourcentage de feuilles nécrosées qui évolue de 44 à 67.

Cette phytotoxicité du fluor, observée en pépinière par l'application du superphosphate simple provenant de phosphates naturels du Togo, dans un sol blanc lessivé, ne se retrouve pas en plantation où les doses appliquées sont trop faibles par rapport au volume de terre mis à la disposition de l'arbre.

CONCLUSION

Il y a un peu plus de 20 ans maintenant, lorsque l'I.R.H.O. entreprenait ses premières expériences sur les oligoéléments appliqués au cocotier, l'Institut espérait que les effets sur la production pourraient être importants.

Les résultats les plus intéressants correspondent à des cas classiques de chloroses provoquées par des carences de fer et de manganèse sur les sols coralliens. Des applications de sulfate de fer et de sulfate de manganèse favorisent la croissance et la production. Malheureusement, malgré l'obtention de résultats tangibles, la vulgarisation des techniques reste difficile.

L'intensification des cultures peut conduire à l'induction d'une carence lorsque la vitesse de développement végétatif devient particulièrement importante. Ceci est vrai pour le bore lorsque les réserves du sol ne sont pas suffisamment abondantes. Mais, dans l'ensemble, les oligoéléments n'ont pas d'effet très important sur le comportement du cocotier qui suit la loi générale relative à l'influence du pH sur la disponibilité dans le sol.

Il est encore difficile de proposer des niveaux critiques précis. Cependant, on peut penser que des niveaux de :

- 10 ppm pour le bore,
- 4 ppm pour le cuivre,
- 15 ppm pour le zinc,
- 40 ppm pour le fer,
- 100 ppm pour le manganèse,

représentent des niveaux pour lesquels il n'y a plus à craindre de déficiences.

Il faudrait en outre, dans l'avenir, essayer de tenir compte d'autres critères tels que la vitesse de développement végétatif, les gradients de concentration dans les organes ou encore les activités enzymatiques, pour mieux comprendre le rôle des oligoéléments dans la nutrition minérale du cocotier.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRUNIN C., COOMANS P. (1973). — La carence en bore sur jeunes cocotiers en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, 28, N° 5, p. 229-234.
- [2] FRÉMOND Y. (1958). — Le cocotier en Polynésie. *Oléagineux*, 13, N° 6, p. 501-508.
- [3] FRÉMOND Y. (1961). — Improvement of the coconut palm cultivation on tropical Pacific atolls. *Tenth Pacific Science Congress*, Honolulu.
- [4] POMIER M. (1964). — Restoration and nutrition of established coconut plantations on coral soil. *Oléagineux*, 19, N° 6, p. 615-620.
- [5] POMIER M. (1969). — Nutrition minérale des jeunes cocotiers sur sols coralliens. *Oléagineux*, 24, N° 1, p. 13-19.
- [6] SOUTHERN (1968). — The distribution of trace elements in the leaves of coconut palm, and the effect of trace element injections. *Oléagineux*, 23, N° 8-9, p. 521-527.
- [7] MANCIOT R., OLLAGNIER M. et OCHS R. (1979-1980). — Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. *Oléagineux*, 34, N° 11, p. 499-515 ; N° 12, p. 562-580 ; 35, N° 1, p. 13-27 (bilingue fr.-angl.).
- [8] HELLER R. (1975). — *Recherches sur la nutrition minérale des tissus végétaux cultivés in vitro*. Masson et Cie, ed., Paris, Fr., 233 p.
- [9] ESCHBACH J. M. (1980). — Les oligoéléments dans la nutrition du palmier à huile. *Oléagineux*, 35, N° 6, p. 281-290 (fr.-angl.).
- [10] CHAPMAN H. D. (1966). — *Diagnostic criteria for plants and soils*. Univ. California, Riverside, U.S.A., Div. Agric. Sci., 793 p.
- [11] MENGEL K., KIRKBY E. A. (1978). — *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute, Bern, Switzerland, 593 p.
- [12] BRUNIN C. et OUVRIER M. (1973). — Phytotoxicité du fluor de certains phosphates sur cocotiers en pépinières. *Oléagineux*, 28, N° 11, p. 509-512.
- [13] SINGH K. D., VELAYUTHAM M. (1980). — Nutrient indexing in coconut leaves and soils of Lakshadweep Islands : II. Micronutrient aspects. *Indian Cocon. J.*, 10, N° 9, p. 1-3.

SUMMARY

Micronutrients in coconut nutrition.

J. M. ESCHBACH and R. MANCIOT, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 6, p. 291-304.

A geographical inventory of micronutrient levels, determined by the I.R.H.O. was carried out for the following elements : Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, F. On young seedlings, studies in pot culture or in the nursery, have shown that boron is indispensable to good growth, and that when lacking, there is a risk of malformations on young crops or adult trees. Fe and Mn can become deficient when soil is too alkaline but spectacular correction of these deficiencies were achieved on the Polynesian atolls. At present it is hard to propose a precise critical level for these elements but in this article the authors try to indicate those above which no deficiencies are to be feared. In any event, preventive B, Fe or Mn applications can avoid the appearance of corresponding deficiencies. As yet, no observable deficiencies in Al, Cu, Mo and Zn have been discovered on coconut.

RESUMEN

Los oligoelementos en la nutrición del cocotero.

J. M. ESCHBACH y R. MANCIOT, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 6, p. 291-304.

Se hizo un inventario geográfico de los siguientes contenidos de oligoelementos establecidos por el I.R.H.O. : Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, F. En las plántulas jóvenes los estudios en vaso de vegetación o en el semillero han mostrado que el boro es indispensable para un buen crecimiento, y que a falta del mismo eran de temer deformaciones de las hojas en los cultivos jóvenes o en los árboles adultos. El hierro y el manganeso pueden ser deficientes cuando el pH del suelo es demasiado alcalino, pero se ha podido hacer correcciones espectaculares de sus carencias en atolones en Polinesia. Es difícil proponer ahora un nivel crítico preciso de estos elementos, pero en el presente artículo los autores procuran indicar el nivel crítico encima del cual ya no habría que temer deficiencias. De todos modos unas aportaciones preventivas de boro, hierro o manganeso pueden evitar la manifestación de las carencias correspondientes. No se han descubierto aún carencias de Al, Cu, Mo y Zn en el cocotero.

Micronutrients in coconut nutrition

J. M. ESCHBACH (1) and R. MANCIOT (2)

Before approaching the study devoted to coconut, it should be noted that the I.R.H.O. was led to undertake research in this field following the creation of the Rangiroa Station in Polynesia in 1959 on coral limestone. In effect, from 1957 on, leaf analysis showed that the chlorotic appearance of most of the coconut groves was due to iron and manganese deficiencies.

This article follows one which appeared on the oil palm in the June 1980 issue (n° 6) of this Review. After recalling generally known facts about each micronutrient, a geographical inventory will be made of the levels observed in soils or following leaf analysis (Table XI) and the results of the trials effected in pot culture or in the field will be described.

I. — ALUMINIUM

1. — General.

Although research undertaken on mineral nutrition of plant tissues has shown the positive effect of aluminium on growth, the useful role of this metalloid in the plant is not very well known. It is known that its accumulation in the root system provokes toxicity, and that this accumulation depends on soil pH. In the leaves, this toxicity has often been associated with phosphorus deficiency and with high iron and manganese values, the calcium and magnesium contents remaining low.

2. — I.R.H.O. results.

a) Soil analysis.

On quaternary sands in West Africa, the quantities of exchangeable aluminium observed in some soil analysis vary from 0.01 to 0.90 meq/100 g. In Madagascar, on coastal sands, the levels also vary considerably (0.05 to 0.76 ppm) but in all cases, these differences do not disturb plant growth.

b) Leaf analysis.

Leaf aluminium levels are relatively constant, notably in Benin, the Ivory coast and Madagascar (76 ppm on the average for 40 analyses), but lower values are noted in Sri Lanka (24 ppm) and Vanuatu (formerly New Hebrides) on clayey plateau soil (13 ppm), and high values in Sumatra (127 ppm) without apparent consequences. Nonetheless, at Port Bouet in the Ivory Coast it has been shown that the levels present a leaf « gradient » and increase regularly with ageing of the leaf from 9 ppm on leaf 1 to 48 ppm on leaf 29.

c) Experimental results — hydroponics (table I).

A first approach to the study of aluminium toxicity was made by the I.R.H.O. in 1980 in heated glasshouses at Montpellier (France) with year old plants raised in hydroponics. Among other elements, the nutrient solution contained 0.6 eq/l of K, 0.8 eq/l of Ca, 0.3 eq/l of Na and 0.4 eq/l of Mg i.e. 0.21 eq/l in all. The quantities of aluminium added represent respectively, 0, 12, 25, 50, 100 and 200 p. 100 of this amount. At the end of the 2-month trial, no sign of toxicity was observed on the plants. Aluminium analysis carried out on the various organs of young coconuts showed marked accumulation of the metal in the roots whereas the levels in the other organs are scarcely modified, indicating that the element has not migrated inside the plant.

Under experimental conditions, root levels increased up to an aluminium concentration representing 50 p. 100 of the sum of the other 4 cations.

It seems that the coconut can stand high concentrations of aluminium in the soil solution without visual symptoms of toxicity appearing.

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

(2) I.R.H.O. Coconut Department, 11, square Pétrarque, 75016 Paris (France).

II. — BORON

1. — General.

Boron is indispensable to plant development. A lack of it often provokes marked malformation of the leaf structure and appearance of necroses. It greatly disturbs growth and favours the appearance of secondary effects (rot). In the final stage, the plant dies.

The young tissues are always the ones to suffer the malformations as boron effects sugar translocation phenomena. In an experiment conducted by Heller [8] the influence of boron on the development of plant tissues was clearly shown. It plays a major role in cell differentiation, which is inhibited wherever this metalloid is deficient.

Boron also intervenes in the synthesis of nucleic acids, promoting their metabolism.

In a deficient situation, the nitrates « stored » in the roots, leaves and stem probably inhibit the formation of amino-acids and protein synthesis. The accumulation of auxins would promote the appearance of necroses.

2. — Geographical inventory.

In the Ivory Coast, on soil formed over quaternary sands of marine origin, leaf 14 levels are generally between 8 and 15 ppm.

In Madagascar and the Philippines, leaf levels are similar to those in the Ivory Coast : 9 to 16 ppm.

On coral soils in the Pacific atolls the levels are higher : 18 to 33 ppm [3], as they are in Papua-New Guinea [6], but they depend essentially on soil quality. Thus, in Vanuatu, where there is a distinction between the sandy coral soils of the seaboard with their alkaline pH (mean 7.6 to 8.0) and the plateau clay soils of more acid pH (5.1 to 6.6), boron levels in the top-soil are 0.6 to 1.0 ppm in the former, 1.2 to 1.4 ppm in the latter. On the other hand, in the plant the boron levels are reversed, particularly in the Malayan Red Dwarf variety where in rank 9 leaves they are 22 ppm on coral soils and only 17 ppm on plateau soils. In Tall varieties the values vary from 8 to 12 ppm, whatever the type of soil and without the trees showing signs of malformation.

These levels are often below the 20-100 ppm considered normal for the plant. A value over 200 ppm is considered toxic.

3. — Experimental results.

In hydroponics.

As in the case of oil palm, boron lack affects leaf elongation. In other respects, the collar is a characteristic onion shape, and at 12 months, dry weight is only 23 p. 100 of the control, well supplied with B. Leaf 4 presents spots, and the start of necrosis ; elongation stops by leaf 7. It has been observed, however, that levels in leaf 4 are never below 4.5 ppm and it has been impossible to determine the level above which the coconut no longer shows deficiency symptoms.

In the field.

In the Ivory Coast, young coconuts planted on land having borne several cycles of food crops and coffee bushes, developed growth anomalies comparable to those observed on boron-deficient oil palms : fused terminal leaflets, bayonette leaf, lower part of the rachis without leaflets, shortening of the spear. Boron applications were unable to correct these symptoms in spite of an increase in the leaf levels [1]. The malformations did regress and disappear after a year however, independently of treatments. The particular and characteristics symptoms of « white spots » observed in pot culture do not appear clearly in the field.

The history of research on the effects of boron reviewed in a recent paper [7] describes the results obtained to date, notably that a preventive application of 15 g/tree of Boracine at the time of planting, then 15 g/tree at 6 months, prevents any growth

anomaly, whereas the control plots which did not receive boron had 61 p. 100 affected plants at the age of 2 years.

In the absence of any visible symptoms of boron deficiency, no relation between boron levels (significantly increased from 6.7 to 10.2 ppm by application of 30 g/tree/year) and growth or copra yield could be shown. As in the case of oil palm, boron deficiency seems to follow the « all or nothing » rule. But toxicity phenomena can appear, necrosis being proportional to the rates of Boracine applied, which can in rare cases provoke the death of young plants.

Differences in varietal sensitivity were also observed ; Malayan Red Dwarfs are more sensitive than the more resistant Talls, the hybrids have an intermediate reaction.

4. — Conclusion.

Coconut boron requirements are of the same order as those of oil palm. Deficiencies can appear in young age, but are easy to correct by inexpensive Boracine application (twice 15 g/tree/year). Although the optimum level has not yet been situated precisely, it is found to be between 5 and 15 ppm, most likely around 10 ppm.

III. — COPPER

1. — General.

Copper is one of the 5 metallic micronutrients indispensable to the plant, though the quantities of copper absorbed by it are low (2-20 ppm).

According to the literature, there is a relatively high concentration of copper in the chloroplasts. In this respect, copper may play a role rather similar to that of iron. For some years now, it has been thought to enter into photosynthesis, but its function is not clearly defined ; this element may be more highly concentrated in the root system than in the rest of the plant. Some enzymes containing copper may act as catalysers in hydroxylation reactions. Copper would intervene in metabolism, notably that of proteins, then acting as a co-factor in enzyme synthesis. There may perhaps be an effect of copper on DNA and RNA synthesis, since it has been observed that tissues deficient in copper have low DNA levels.

Consequently, the role of copper seems fairly well known for many plants, but has not yet been shown for the coconut.

2. — Geographical inventory.

a) Soil analysis.

On ferrallitic red-brown plateau soils in Vanuatu, total copper levels are around 520 to 560 ppm, which is high compared to the averages generally known. But soil pH is decisive. In effect, for pH values between 6 and 7, copper is less solubilized and there is no risk of toxicity whereas in central Africa on very acid soils, the such levels would be highly phytotoxic.

On coral sands, copper levels are lower, about 75 ppm. In Madagascar, with the exception of pure peats, there is no clear relation with soil type, the lowest levels being found both on coral soils and on acid quaternary sands (Sambava).

b) Leaf analysis.

Chapman [10] considers that levels of 5-20 ppm of copper are normal in the plant.

On 17 stations (283 analyses) the average copper level is 6.7 ppm in leaf 14, with extremes of 1.1 ppm and 14 ppm. Very low levels are infrequent. On the whole they are comparable to those of the oil palm, and remain more or less within the Chapman range. For the lower values, no particular symptoms of chlorosis or shortening of the leaves followed by a major production drop, have been observed, as is the case for the oil palm on peat soil in Malaysia. The averages observed in South America (mainly Brazil) Asia and Melanesia are fairly close. In West Africa and Madagascar, the average levels are nearly always over 4 ppm (one single case at 3.8) but are generally lower than those observed in other regions of the world.

Measurements taken in the Ivory Coast have shown that the highest copper levels are found in the youngest leaves, the gradient decreasing steadily towards the older leaves.

In Vanuatu, in the framework of a study on the evolution of element levels in function of the season (on formed coral soil), no major variation in copper levels is observed during the year (6-10 ppm on leaf 14).

3. — Experimental results.

The application of copper to young coconuts in the form of Nutramin or the adult coconuts (50 g/trees/year copper sulphate) never effected either growth or yield in field experiments.

In an Ivory Coast nursery trial at Port Bouet, copper applied in a chelated form (Nutramin, Fertilon) is absorbed by one-year-old coconuts with no effect on growth (4.5-7.7 ppm).

Lastly, in experiment PB-CC 33 in the Ivory Coast, studying the effect on yield of nitrogenous, phosphated, potassic and magnesian fertilizers, application of ammonium sulphate significantly increases copper levels in rank 14 leaves from 5.1 to 6.4 ppm.

4. — Conclusion

Though no copper deficiencies have been found in the coconut, the optimum level, hard to pin down, must certainly be around 4-5 ppm.

IV. — IRON

1. — General.

The action of iron is best known in the enzymatic functions. It often intervenes in oxidoreduction and consequently plays a major part in plant metabolism. It is necessary to the formation of chlorophyll. In green plants, there is a good correlation between leaf iron level and the quantity of chlorophyll.

2. — Geographic inventory.

a) Soil analysis.

On West African coastal sands, total iron levels range from 2-24 p. 1000, being slightly lower on quaternary (2-4 p. 1000) than on tertiary sands (7-24 p. 1000). In Madagascar, values on soils under coconut fluctuate between 15 and 38 p. 1000.

The highest levels occur in Indonesia with 79 to 170 p. 1000 total iron, the lowest ones (0.2-0.4 p. 1000) on coral atolls, save for the high coral islands, which have more formed coral with native total iron contents equivalent or even superior to sandy West African soils (4-12 p. 1000 at Vanuatu and 31-47 p. 1000 in the Philippines).

b) Leaf analysis.

Levels from 50-250 ppm in the leaves are considered normal in plants. For 23 stations (601 samples) the average level is 123 ppm.

The very widespread influence of alkaline pH on the availability of soil Fe again occurs, iron levels in leaf 14 usually being lower on calcareous soils of coral origin than on sedimentary soils, where they can reach 200 ppm (Table II).

On soils with equivalent pH (Bugsuk-Rangiroa-Saraoutou), the low values found at Rangiroa correspond to low total iron levels in the soil. When the soils have about the same iron contents (7 p. 1000), a comparison between Port Bouet and Saraoutou clearly shows the influence of pH on leaf levels.

In Vanuatu where the values are low, no gradient between young and old leaves is observed. Inversely, on tertiary sands in the Ivory Coast, Fe level increases with leaf rank. But there seem to be no seasonal variations.

3. — Experimental results.

Iron deficiency on coconuts planted on coral soils in the Polynesian atolls was well known to the local populations, who, before starting a new plantation, used to throw old tin cans into the hole ; the transformation of ferric oxyde into assimilable form made up the iron deficit of the young plant and promoted growth. The rule-of-thumb method is obviously unsatisfactory, as the very alkaline pH associated with the « lack » of soil, mainly composed of coral blocks or pebbles, restricted the correction of this deficiency.

Described since 1958 [2], coconut iron deficiency on coral soils was carefully studied by the IRHO on the Rangiroa Station [4, 5]. The visual symptoms are those of standard chlorosis : pale green to dark yellow discoloration of all leaves [7].

As soon as research started, it was noted that direct application of iron sulphate to the soil did not correct this deficiency, because of the high concentration of calcium carbonate in the soil which « blocked » the ferric ions. The IRHO was thus led to resort to injection into the stems to judge the efficiency of the product. In this way, the iron level was raised in the leaves ; the foliage turned green again and yield increased simultaneously. But it quickly appeared that injections could not be commonly used without

risks (vulnerability of the tree to gusts of wind, as it is full of holes after a few years' injections, easy penetration of parasites, short-lived effect of injection, difficulty of injecting ferric solutions into young plants...).

On young coconuts, the application of 5 to 10 g iron sulphate in the husk turned out to be better than a soil dressing; leaf iron levels increased, the palm turned green again and growth improved: increase of dry weight by 400 p. 100 compared to the control (results of trial RA CC3, Tables III and V).

On adult trees, placing in a hole at the foot of the stem (400 g/tree) is preferable to application to the soil in a ring, as in that case the iron is not absorbed (RA-CC1, RA-CC2). The results of trial RA-CC1 (Tables III and V) confirm the increase in number of nuts and copra/tree with iron application.

On these types of soil, iron is thus the prime limiting factor and fertilizer cannot be fully effective until this deficiency has been corrected. Moreover, iron application significantly improves nitrogen nutrition (RA-CC3). This same experiment also shows that iron dressings can increase young plants' dry weight by almost 500 p. 100 once nitrogen or manganese deficiencies have been corrected (Table V).

4. — Conclusion.

Coconuts planted on soils with high pH and low native total iron levels encounter an iron availability problem.

Iron deficiency in young plants can easily be corrected by applying 10 g iron sulphate per year in the husk up to 2 years of age.

On adult trees, injection is a means of study which enabled it to be determined that the critical level in leaf 14 must be over 40 ppm and under 100 ppm, though it can not be fixed precisely. In case of deficiency, iron sulphate applications are raised to 200 g/tree/year in a hole at the foot of the stem. Correction of iron deficiency has a spectacular effect on leaf colouring and on yield.

V. — MANGANESE

1. — General.

Like iron, manganese plays an enzymatic role in the activation of decarboxylases and dehydrogenases, but magnesium can replace it. On the other hand, in other reactions, manganese remains the indispensable metallic micronutrient.

In the tissues, manganese deficiency is characterised by a drop in the volume of the cells, whose septums shrink. Inversely, toxicity symptoms take the form of brown spots on the oldest organs, and of uneven chlorophyll distribution. This toxicity is often accompanied by typical symptoms of iron deficiency.

Manganese migrates in the meristem tissue and is mainly localised in the young organs, which are the richest.

2. — Geographical inventory.

a) Soil analysis.

On the poor sands of the West African coast, levels vary from 0.025 to 0.130 p. 1000. They are much higher in Madagascar (1.27 to 1.47 p. 1000) and very high in Indonesia (1.8 to 15.0 p. 1000). In the Philippines, levels range from 0.50 to 0.99 p. 1000 similar to those on the coral and clayey soils of the Vanuatu plateaux.

b) Leaf analysis.

In the plant, levels below 20 ppm are considered deficient [10]; some, over 500 ppm, can be toxic.

In the coconut, levels are as variable as in the oil palm, but on 25 stations (670 analyses) the average value in the leaf 14 is 175 ppm.

The lowest levels are found on soils of calcareous origin formed over coral, the highest on the African quaternary sands. As Table IV shows, the influence of soil acidity on manganese levels is particularly clear at Sarautou and Bugsuk.

Under good nutrient conditions, Mn level increases with leaf rank; on the other hand, this gradient no longer appears when nutrition is poor.

On coral soils, the levels do not vary in function of sampling period.

In some cases potassic manuring can reduce manganese levels in the leaves significantly. Thus, in the Ivory Coast (PB CC 13), on quaternary sands, it was observed that increasing KCl applications led to the following evolution of manganese:

K 0 : 237 p.p.m.	K 2 : 202** p.p.m.
K 1 : 216 p.p.m.	K 3 : 191** p.p.m.

3. — Experimental results.

Manganese and iron deficiency cases are closely associated, as on the alkaline soils of Polynesia.

Absorbed in significant amounts by the plant (Table VII), manganese nonetheless has a less outstanding action than iron. Though it can act alone, its effect is much more marked once the iron deficiency has been corrected. It increases growth and the number of nuts/tree on deficient trees (Table V). Copra/nut is not modified. Table VI shows that the return to normal Fe and Mn levels, which puts an end to chlorosis, appreciably improves nitrogen nutrition, previously insufficient, and also increases phosphorus and potassium levels. The micronutrient deficiency is such that it is a limiting factor inhibiting the assimilation of major elements.

Experiments carried out on coral soils — barely formed coral of the low Polynesian islands and very decomposed coral of the emergent beaches of Vanuatu — contributed to better knowledge of micronutrient nutrition of coconuts planted on this type of soil:

— it is mainly the soils well supplied with calcium carbonate which block manganese assimilation (the Vanuatu plateau soils, with more acid pH, have levels over 50 ppm);

— application of manganese fertilizer in a ring does not affect Mn levels;

— injection into the stem always produces a significant rise in leaf Mn;

— concentration of manganese sulphate in a hole at the foot of the stem is as efficient as injection, and produces a significant increase in Mn levels;

— in young trees, the application of manganese fertilizer into the husk of the nut enables good Mn assimilation.

The results obtained both in Polynesia and in Vanuatu show that a Mn level under 30 ppm in leaf 4 of a 2-year old coconut is insufficient. In effect, significant correlations between levels and growth (Table VIII) are observed where levels are under 30 ppm.

4. — Conclusion.

On coconuts, manganese deficiencies are almost certain each time there is an iron deficiency due to soil alkalinity.

In fact, it is easier to define a deficiency level (30 ppm) than a true critical level [5]. However, it can be considered, as Singh and Velayutham [13], do that is should be over 70 ppm.

Preventive applications of 5 g manganese sulphate in the husk are generally made jointly with 10 g iron sulphate, up to the age of two years. For adult coconuts, the rates are raised to 50 g manganese sulphate and 200 g iron sulphate, in a hole at the foot of the stem.

VI. — MOLYBDENUM

1. — General.

Molybdenum, which is one of the metallic micronutrients, is absorbed in the form of molybdate. Localised in the phloem and the vascular parenchyma, it is not very mobile. It enters into the reduction of nitrates into nitrites through the intermediary of the nitrate-reductase enzyme. The absence of molybdenum in this enzyme means that it is less active.

It is the middle-aged and old leaves which often show symptoms of molybdenum deficiency; frequently small and covered with necrotic spots, the leaves turn from green-yellow to yellow and the edges roll up.

2. — Geographical inventory.

In the brown-red ferrallitic soils of the high Vanuatu islands, molybdenum levels are 6-7 ppm; they are under 5 ppm in the rendzinas of calcareous soils. Deficiencies are considered possible where soil levels are under 1 ppm [10].

Table XI shows variations in leaf analyses on the coconut ranging on average from 0.05 to 0.35 ppm in leaf 14 with minima at 0.01 ppm. In leaf 9, the values are always higher (0.09 to 0.44 ppm).

There are no great variations in function of soil type.

3. — Experimental results.

In a nursery experiment conducted in the Ivory Coast application of Mo (4 g Nutramin) significantly increases leaf 1 levels from 0.15 to 0.54 ppm but remains without effect on plant growth.

4. — Conclusion.

Coconuts have never been shown to be molybdenum-deficient and a critical level is impossible to establish.

VII. — ZINC

1. — General.

The form under which zinc migrates from the roots to the foliage has not been shown, consequently its mobility is still unknown. Absorbed in large quantities, it accumulates more in the roots.

As a component of many dehydrogenases, zinc intervenes in metabolism. In its enzymatic function, it is comparable to manganese and magnesium. Closely linked to nitrogen metabolism, its deficiency may lead to a sharp drop in RNA levels.

Zinc is indispensable to tryptophan synthesis. As tryptophan is the precursor of indolacetic acid, the formation of this growth substance seems directly influenced by zinc. It also would seem to play a role in starch formation. It is sometimes associated with copper in certain enzymatic reaction.

The interaction between Zn and P, studied by various authors, shows that high P levels can induce a zinc deficiency. This prevents the development of chloroplasts. It is visible in the form of pale green, yellow or white necrotic spots on the leaves. On some plants, this can be accompanied by reduction in the number of buds, leading to a sharp drop in production.

Toxicity phenomena have already been observed in the form of a reduction in the root and leaf systems, while chloroses appear. It is seen in regions rich in zinc ore. Some tolerant plants can contain large quantities of zinc (agrostis).

2. — Geographical inventory.

The brown-red ferallitic soils of Vanuatu are richer in zinc than the sandy coral soils (200-300 ppm against less than 50 ppm).

In the plant, rates from 25-150 ppm are considered normal [10]. In 9 situations in Africa (79 samples) the average level for the coconut is 19 ppm. It varies on leaf 14 from 15 ppm in the Ivory Coast to 24 ppm in Benin.

On some coral islands of the South Pacific, minima of 8 ppm have been recorded on leaf 14, a little higher on leaf 9 (13 to 14 ppm).

N, P or Mg applications raise zinc levels, whereas potash dressing reduces them significantly.

3. — Experimental results.

The various applications of zinc sulphate given to nursery plants in the form of Nutramin or to adult trees (50 g tree/year of zinc sulphate) sometimes led to increases in leaf levels without any action on growth or yield.

In the framework of the study of Vanuatu disease, spraying the foliage of young coconuts with zinc sulphate turned the leaves green again temporarily, but without curing the tree.

4. — Conclusion.

Various zinc application trials have not yet had any prolonged effect on coconut.

Zinc deficiency has still not been clearly demonstrated on coconut. Leaf levels of the element seem sufficient, so there seems little risk in fixing the optimum level at 15 ppm.

VIII. — FLUORINE

According to Mengel [11], fluorine rates vary from 2 to 20 ppm in the plant, but some species can accumulate up to 200 ppm. High fluorine levels are generally toxic.

This phytotoxicity was observed on young coconuts in the nursery fertilized with single super phosphate containing fluorine, made from natural Togolese phosphates [12].

The symptoms appear along the veins and consist of round oily-looking brown spots. These join up and form brown patches which dry out, but they appear on the plants only on leached white soil. On sandy-clay soil, this type of leaf necrosis is hardly ever found (Table IX).

This phytotoxicity is a function of pH. Application of lime lowers the number of necrosed leaves (Table X).

On sandy-clay soil, low fluorine levels of 0.5 to 2 ppm on rank 1 leaves, reduce the percentage of necrosed leaves (between 1 and 3 p. 100).

Inversely, on leached white sand, fluorine levels reach 3.2-5.3 ppm and the percentage of necrosed leaves varies from 44 to 67.

This phytotoxicity of fluorine observed in nurseries after the application of single superphosphate from natural Togolese phosphates on a leached white soil, does not occur on plantations, where the rates applied are too low compared to the volume of earth available to the tree.

CONCLUSION

Just over 20 years ago, when the IRHO began its first experiments on micronutrients applied to the coconut, the Institute hoped that effect on production would be very significant.

The most interesting results are obtained in standard cases of chlorosis provoked by iron and manganese deficiencies on coral soils. Iron and manganese sulphate applications promote growth and yield. Unfortunately, although there have been tangible results, extension of the techniques is difficult.

Intensification of crops can induce a deficiency when vegetative development is particularly rapid. This is true for boron, when soil reserves are insufficient. But on the whole, micronutrients have only a slight effect on coconut performance, which follows the general rule regarding the influence of the pH on availability in the soil.

It is still difficult to propose precise critical levels. However, it can be thought that :

- 10 ppm Boron,
- 4 ppm Copper,
- 15 ppm Zinc,
- 40 ppm Iron,
- 100 ppm Manganese,

are levels at which deficiencies need no longer be feared.

Moreover, an attempt should be made in future to take other criteria into account, such as speed of vegetative development, gradients of concentration in the organs, and enzymatic activity, to understand the role of micronutrients in coconut mineral nutrition better.

Société Tropicale d'Engrais et de Produits Chimiques



Engrais complexes SIVENG
Tous engrais simples et amendements
Pesticides (RHONE POULENC agrochimie)
Aliments du bétail
Produits chimiques industriels