

Gestion de la nutrition minérale des plantations industrielles de palmiers à huile

Economies d'engrais (1)

M. OLLAGNIER (2), R. OCHS (3)

Résumé. — La crise de l'énergie et des matières premières d'origine minérale relance le problème des économies d'engrais en lui donnant une nouvelle dimension. Les circonstances actuelles ne se prêtent plus à la prodigalité qui fut souvent l'apanage d'un passé récent et qui reste encore quelquefois d'actualité. Il est donc nécessaire de développer toutes les recherches qui permettront de réduire la consommation d'engrais à l'avenir, mais il est possible dès à présent de faire des économies très sensibles grâce à une véritable gestion au plus près de la nutrition minérale des plantations. Les méthodes correspondantes sont opérationnelles. Elles sont basées sur l'association entre la rigueur expérimentale des expériences au champ et la souplesse des enquêtes de diagnostic foliaire. Il faut éviter de gérer la nutrition minérale en fonction de normes générales dont on sait maintenant qu'elles sont éminemment variables selon l'âge des cultures, la nature du sol et du climat et le potentiel qui en résulte. Il est donc indispensable d'avoir recours à des expériences de référence mises en place au cœur même des plantations industrielles. C'est la seule façon de prouver qu'un engrais est efficace et de définir les niveaux critiques qui seront utilisés pour établir les barèmes de fumure spécifiques de la région considérée. Le niveau critique de l'azote diminue avec l'âge des plantations. Celui du phosphore varie en fonction du niveau de nutrition azotée. Les niveaux critiques du potassium et du magnésium dépendent de la nature des sols, du climat et du potentiel de production. On utilise des barèmes qui modulent la dose d'engrais en fonction des teneurs foliaires observées dans chaque parcelle de plantation. Ces barèmes sont établis à partir des résultats expérimentaux de référence et sont réajustés chaque année si nécessaire. D'autres barèmes sont à l'étude, ils permettront de calculer la dose de l'année en fonction de la dose de l'année précédente en tenant compte de l'effet de cette dose sur l'évolution des teneurs.

INTRODUCTION

La crise de l'énergie et des matières premières d'origine minérale disponibles en quantité limitée, relance le problème des économies d'engrais en lui donnant une nouvelle dimension. Elle s'est d'ailleurs concrétisée par une augmentation du prix des engrais bien supérieure à celle des produits obtenus par leur application. Il ne sera jamais possible de se passer des engrais en évoluant vers une agriculture dite purement biologique, du moins en ce qui concerne les oléagineux tropicaux pérennes dont les exigences climatiques (forte pluviométrie) sont telles qu'ils sont condamnés le plus souvent à être cultivés sur des sols pauvres sur lesquels ils seraient incapables d'exprimer leur potentiel sans fertilisant. Le résultat serait d'ailleurs contraire à l'objectif puisqu'il faudrait perdre le bénéfice d'utiliser mieux l'énergie solaire. La fertilisation est l'une des rares dépenses d'énergie qui soit génératrice d'énergie aux dépens d'une source gratuite et inépuisable.

Il est certain, cependant, que les circonstances actuelles ne se prêtent plus à une prodigalité qui fut souvent l'apanage d'un passé récent. Il n'est plus possible d'admettre que les exportations minérales des cultures devraient être compensées par des apports massifs d'engrais, même sous le prétexte louable de conserver le potentiel de fertilité.

L'I.R.H.O. a d'ailleurs toujours été hostile à cette conception lorsqu'elle ne reposait pas sur des bases expé-

mentales car elle ne tient aucun compte des problèmes économiques et peut même conduire à des déséquilibres minéraux préjudiciables à la productivité.

Les activités de l'I.R.H.O. sont orientées depuis longtemps déjà vers la recherche du maximum d'économie en matière de fertilisation grâce, peut-être, à la présence de ses centres de recherche dans des régions climatiquement moins favorables, où il a fallu de tout temps faire preuve d'une grande rigueur dans les budgets d'exploitation. Les recherches méritent d'être poursuivies et développées dans ce sens et dans tous les domaines dans lesquels il est possible de faire des économies d'engrais ou encore d'améliorer leur efficacité, à savoir :

— **le choix des fertilisants** (choix entre les anions et les cations dans les sels utilisés comme engrais, utilisation des résidus de récolte et de tous les produits ou sous-produits de substitution),

— **le contrôle des pertes** (par lessivage et par fixation irréversible dans le sol en relation avec la nature des engrais et les modalités d'épandage),

— **la conservation des sols** (techniques culturales de préparation et d'entretien pour lutter contre l'appauvrissement en matière organique et l'acidification),

— **l'efficacité de l'absorption** (matériel végétal, système racinaire, microflore associée),

— **la fixation biologique de l'azote atmosphérique** (microflore associée, légumineuses de couverture, etc.),

— **la réduction des exportations minérales dans les récoltes** (matériel végétal, technologie de traitement des produits).

En attendant le résultat de ces nouvelles recherches, les méthodes actuelles d'intervention permettent de faire d'importantes économies d'engrais grâce à une véritable gestion, au plus près, de la nutrition minérale des plantations industrielles.

(1) Communication présentée à la Conférence internationale « The oil palm in agriculture in the eighties », 17-20 juin 1981, Kuala Lumpur (Malaisie).

(2) Directeur des Recherches à l'I.R.H.O.-11, Square Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Directeur du Département Agronomie de l'I.R.H.O., I.R.H.O./G.E.R.D.A.T., B.P. 5035, 34032 Montpellier Cédex (France).

L'efficacité de ces méthodes résulte de l'association étroite entre la **rigueur** de l'expérimentation aux champs et la **souplesse** de l'enquête de diagnostic foliaire.

I. — EXPÉRIMENTATION, NIVEAUX CRITIQUES

Les expériences aux champs peuvent être implantées au sein même des plantations industrielles : à la différence du système des « monitor plots », elles sont programmées et analysées scientifiquement pour donner des résultats incontestables sur le plan statistique en permettant de séparer les effets de chaque élément et les interactions.

C'est la seule façon de prouver qu'un engrais est efficace et de calculer la dose optimale. C'est aussi la seule façon de prouver qu'un engrais est sans effet et qu'il peut être omis de la formule de fumure sans conséquence sensible sur la production.

Les expériences aux champs permettent également d'établir les niveaux foliaires de référence qui seront utilisés pour l'interprétation du contrôle de nutrition et, en particulier, les niveaux critiques en dessous desquels l'apport de l'élément correspondant sous forme d'engrais se traduit par une augmentation rentable de la production. On parle quelquefois de niveaux critiques économiques au lieu de (ou par opposition à) niveaux physiologiques critiques, ce qui ne tient pas compte de la rentabilité de l'opération. Ainsi défini, le niveau critique dépend théoriquement de l'évolution du coût des produits et des engrais, mais on constate généralement que cette incidence est relativement faible en raison de la forme des courbes de réponse. Les niveaux critiques anciens et assez « traditionnels » ont été souvent remis en question au cours de ces dernières années, suffisamment pour qu'il soit utile de faire le point dans ce domaine.

A. — Phosphore.

La plupart des auteurs, et notamment Green [1976], font référence à un niveau critique de phosphore fixe.

L'existence d'une relation linéaire très étroite entre les teneurs foliaires d'azote et de phosphore ne permet pas de porter un jugement de valeur sur les teneurs en phosphore sans faire référence aux teneurs en azote. Autrement dit, il n'existe pas un seul niveau critique mais une ligne critique fonction de teneurs en azote. L'I.R.H.O. propose le modèle de la figure 1 pour lequel on a confronté teneurs et réponses pour quelques situations représentatives.

Les résultats obtenus en Indonésie AL-CP1 s'ajustent parfaitement aux résultats moyens obtenus au Brésil dans BEL-ES1. L'absence d'effet des phosphates sur alluvions en Colombie (SA-CP2) est expliquée par la position du point correspondant sur la droite critique (1). L'expérience MT-CP1, toujours en Colombie, mais sur des sols sédimentaires, a au contraire des teneurs en phosphore situées en dessous de la droite. Elle répond à la fertilisation phosphatée mais l'effet des phosphates, à la fois sur les teneurs et sur les rendements, paraît modique : même problème en Côte-d'Ivoire (CI-CP5). Ces expériences seront modifiées pour permettre l'étude de doses plus fortes.

B. — Azote.

Les réponses à la formule azotée en **Afrique de l'Ouest** sont rares et correspondent le plus souvent à l'intervention de facteurs annexes comme l'érosion, l'hydromorphie des sols, ou encore la compétition d'adventices nuisibles comme l'*Imperata*. On observe cependant quelques réponses en jeune replantation comme à Dabou en Côte-d'Ivoire dans l'essai DA-CP18 (Tabl. I).

Il n'est pas encore possible d'en déduire un niveau critique avant de connaître l'incidence de cet effet sur la production, mais on peut supposer que ce niveau est au moins de l'ordre de 3 p. 100 sur une feuille de rang 4 avant l'entrée en production.

En Indonésie, sur les sols liparitiques de la région de Médan, pourtant plus riches en azote total que les sols vieux du continent africain, la réponse à la fertilisation

(1) Les teneurs en P observées sur les plantations de West Atjeh (Nord Sumatra) où les sols alluviaux sont riches en phosphore et où l'on n'observe pas de réponse aux applications de phosphore sont situées également sur la droite de nutrition optimale.

▼ FIG. 1. — Niveau critique du phosphore en fonction des teneurs en azote (Critical phosphorus level in function of nitrogen levels).

a) Régression des teneurs en P sur teneurs en N pour les parcelles P2 de l'expérience AL-CP1 prolongée en pointillé pour les teneurs en N supérieures à celles des limites de l'expérience.

(Regression in P levels on N levels for P2 plots of experiment AL-CP1 extended along dotted line for N levels over those of the experiment's limits).

b) Chaque point (●) se réfère à un traitement expérimental P0, P1 ou P2 avec indication du rendement correspondant en kg de régimes/arbre/an. (Each point refers to an experimental treatment P0, P1 or P2 with indication of yield corresponding to kg bunches/tree/yr).

c) Les étoiles correspondent aux teneurs foliaires des plantations de West Atjeh (The stars correspond to leaf levels of West Atjeh Plantations). (Seumanyam et Seunagan).

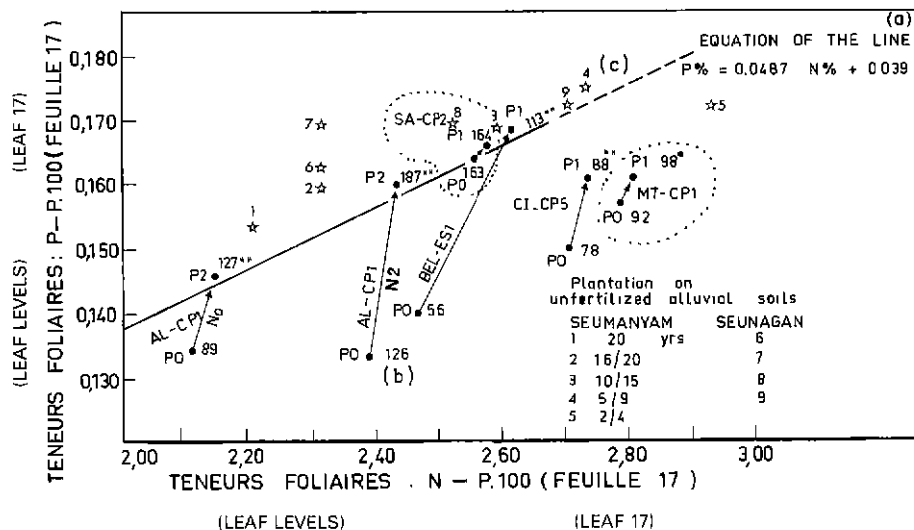


TABLEAU I. — Côte-d'Ivoire.
Effet de l'urée en jeune replantation DA-CP18
 Plantation 1978 - sols ferrallitiques
 sur sédimentaire sableux

(Ivory Coast - Effect of urea in young replantings Da-CP18.
 1978 planting - ferrallitic soils over sandy sediment)

		N0	N1
Doses d'urée (g) (Urea rates)	— Août (August) 1978	0	150
	— Août (August) 1979	0	300
Teneurs foliaires - feuille 4 (p. 100) (Leaf levels - leaf 4)	— Janv. (Jan.) 1980	2,94	3,47
Circonférence au collet (Girth) (cm)	— Fév. (Feb.) 1980	82,3	92,2
	— Juin (June) 1980	97,6	108,2

azotée est généralement importante pour des arbres âges de 15 à 20 ans, le niveau critique peut, à cet âge, être fixé à 2,4 p. 100 (feuille 17) compte tenu des résultats de l'expérience AL-CP1 (Tabl. II).

On constate en effet, que la dose de 6 kg/arbre de sulfate d'ammoniaque, introduite en 1974 pour remplacer une dose intermédiaire de 2 kg appliquée depuis 1971, n'a pas permis de produire plus que la dose de 4 kg.

Sur des arbres plus jeunes (plantation 1967) les résultats de l'expérience MP-CP1 militent en faveur d'un niveau critique plus élevé, de l'ordre de 2,60 p. 100. En effet, le rendement s'accroît encore de 132 à 144 kg/arbre/an lorsque les teneurs passent de 2,47 à 2,58 p. 100 (moyennes de 1974-1978) par rapport à un témoin sans engrais azoté qui produit 124 kg pour une teneur foliaire de 2,35 p. 100.

Green [1976] citant Knecht [1974], cite un niveau critique révisé fixe. Toutefois, pour une évaluation plus fine de l'existence de déficiences azotées, il faut tenir compte de la nutrition phosphorée en plus de la nutrition azotée : le niveau critique de N n'est pas fixe, mais varie en fonction des teneurs en P (Fig. 2). Une teneur en N de 2,5 p. 100 peut conduire à une déficience (si P = 0,170 p. 100) ou à une très bonne alimentation (si P = 0,140 p. 100).

Ce modèle a été établi à partir de résultats expérimentaux obtenus dans le Nord Sumatra dans une expérience située en Aek-Loba, avec l'apport de sulfate d'ammoniaque et de phosphate tricalcique permettant d'augmenter la production de 13 tonnes de régimes/ha. Il correspond à des palmiers de 13 à 18 ans.

Il faut en deuxième lieu tenir compte de l'âge pour pro-

poser un niveau critique de l'azote. Les résultats disponibles à ce jour permettent de proposer la gamme suivante :

Age des plantations	Niveau critique N p. 100 (F. 17)
> 20 ans	2,35
16 à 20 ans	2,45
10 à 15 ans	2,55
5 à 9 ans	2,65

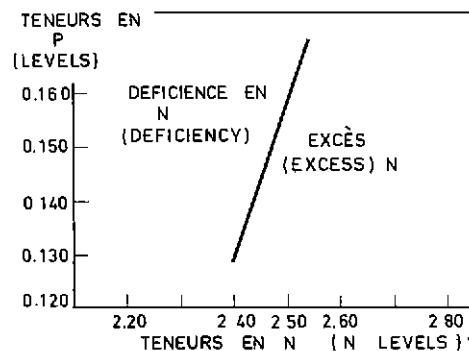


FIG. 2. — Niveau critique moyen de l'alimentation azotée - 13/18 ans
 (Average critical level of nitrogen nutrition ; 13-18 years).

Pour combiner ces deux notions : niveau d'azote fonction des teneurs en phosphore et niveau d'azote décroissant lorsque les palmiers vieillissent, on peut proposer un modèle d'interprétation et de diagnostic exprimé dans la figure 3.

La situation des plantations peut être estimée facilement par référence à une droite P, fonction de N, et par un réseau de droites parallèles N, fonction de P, la position de ces droites dépendant de l'âge des plantations.

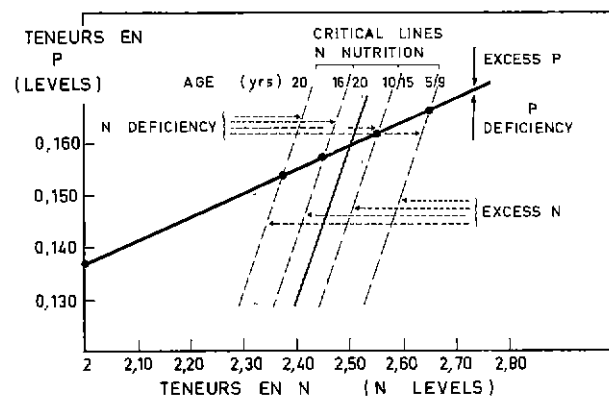


FIG. 3. — Normes critiques de l'alimentation azotée et phosphorée.
 (Critical standards for nitrogen and phosphorous nutrition).

TABLEAU II. — Indonésie - AL-CP 1 (plantation 1959) - Nutrition azotée et productions
 (Nitrogen nutrition and yield)

Traitements (Treatments) (NH ₄) ₂ SO ₄ (g/arbre/an - /tree/year)	Teneurs moyennes en N (Average contents in N) p. 100 (feuille -leaf 17/1975-1979)				Rendement moyen en kg R/a/an (Average yield in kg FFB/tree/year) 1975-1976 à 1978-1979			
	P0	P1	P2	\bar{x}	P0	P1	P2	\bar{x}
N0 0	2,11	2,11	2,15	2,12	89	108	127	108
N2 4 000	2,39	2,38	2,43	2,40**	126	158	187	158**
N1 6 000	2,37	2,48	2,47	2,44**	110	178	177	155**

(**) Significatif à (Significant at) : 1 p. 100.

N.B. — N1 croît de 2 000 à 6 000 g/arbre/an en 1974 (N1 increased from 2 000 to 6 000 g/tree/year in 1974).

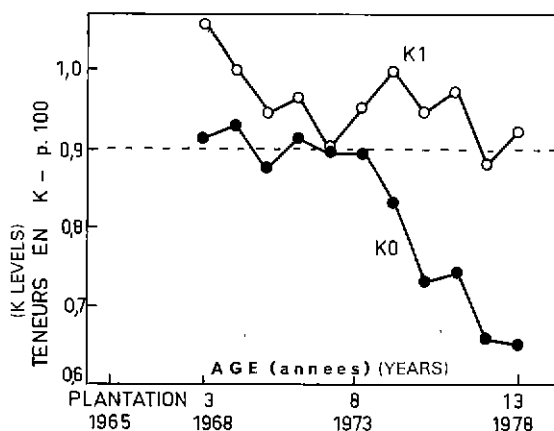
C. — Potassium.

Les sols ferrallitiques désaturés de l'Afrique de l'Ouest sont pauvres en potassium, mais ils ont l'avantage de réagir très nettement et très rapidement à la moindre sollicitation et permettent donc, avec l'aide du diagnostic foliaire, de gérer la nutrition potassique avec une grande précision et surtout une parfaite sécurité.

Le scénario de la nutrition potassique, sur ce type de sol, est illustré de façon très classique par les résultats d'une expérience de la Station de La Mé, en Côte-d'Ivoire, sur sables tertiaires (LM-CP19, plantation 1965). Dans cet essai qui a pris fin en 1978, il s'agissait de saisir avec le maximum de précision l'instant exact d'entrée en déficience potassique en comparant seulement deux traitements et en multipliant le nombre de répétitions [12]. Les teneurs foliaires de l'objet K1 ont été maintenues entre 0,9 et 1,0 p. 100 par des applications annuelles de chlorure et de sulfate de potassium peut-être excessives (3 kg/arbre/an). Les teneurs de l'objet KO sans engrais se sont maintenues au voisinage de 0,9 p. 100, jusqu'à l'âge de 8 ans puis se sont effondrées à presque 0,6 p. 100 en 5 ans (Fig. 4). Le poids moyen des régimes permet de distinguer significativement les deux traitements à partir de 1974, c'est-à-dire immédiatement après que les teneurs foliaires franchissent le seuil de 0,9 p. 100. Le rendement en kilos de régimes ne diffère que deux ans plus tard, mais si on augmente la précision de l'analyse en regroupant 4 années successives, on constate que la différence devient significative avant même que les teneurs ne franchissent la barre de 0,9 p. 100 (moyenne des campagnes 1970-71 à 1973-74). Dans l'intervalle de teneurs de 1,0 à 0,9 p. 100, la fumure potassique permet donc d'augmenter le rendement de quelque 5 p. 100, marge suffisante pour rentabiliser des doses modestes ; en dessous de 0,9 p. 100 la plus-value passe rapidement à plus 10 p. 100 et permet de rentabiliser des doses massives de l'ordre de 3 kg d'engrais/arbre/an.

Sur sol ferrallitique désaturé, la chute progressive des teneurs avec l'âge est facilement enrayerée par la fumure

FIG. 4. — Côte d'Ivoire - Evolution des teneurs en potassium et des productions LM-CP 19 (Ivory Coast - Evolution of potassium levels and yield)



Poids moyen de régimes (Average bunch weight) (kg)	K0	4,0	5,4	6,8	10,1	11,0	12,8	13,9	13,4	13,3	11,8
	K1	4,2	5,7	7,2	10,3	11,6	13,4	15,2**	15,3**	15,4**	14,7**
Kg de régimes/arbre/an (Kg bunches/tree/year)	K0	48	77	67	125	112	120	128	136	99	46
	K1	52	75	73	127	121	127	135	144	118**	63**
Poids moyen de régimes/arbre/an pour les 4 dernières années (Average kg bunches/tree/year for last four years)	K0				80	96	106	121	124	121	102
	K1				82	99	112*	128*	132*	131*	115**
	K1				103	103	106	105	106	109	113
	% of K0										

potassique qui permet d'obtenir une plus-value de rendement de l'ordre de 5 p. 100 entre 1 et 0,9 p. 100, et de plus de 10 p. 100 au-delà.

Les données du problème sont tout à fait différentes quand on passe aux sols alluviaux ou volcaniques caractérisés par une argile de nature différente et par une somme de bases échangeables plus élevée. L'évolution des teneurs foliaires en potassium dans les plantations industrielles est pourtant analogue avec une décroissance régulière avec l'âge, mais l'efficacité de la fertilisation potassique n'est pas du tout comparable ni sur les teneurs, ni sur les rendements : en Indonésie, par exemple, sur les sols liparitiques de la région de Médan, les teneurs en potassium dans l'expérience AL-CP1 diminuent lentement de 0,9 p. 100 à 0,8 p. 100 entre 12 et 20 ans.

L'apport de chlorure de potassium aux doses de 1 et 2 kg/arbre/an pendant 10 ans n'a jamais eu d'effet significatif ni sur les teneurs ni sur les rendements (Tabl. III). On suppose que l'évolution des moyennes des objets principaux reflète une augmentation de rendements due à d'autres traitements (azote et phosphore).

TABLEAU III. — Indonésie, Aek Loba
Nutrition potassique et production
(Potassic nutrition and yield)
plantation 1959 - essai commencé en 1971 -
(trial begun in 1971)

	Teneurs en K (K levels)		Rendements (kg/arbre) (Yields - kg/tree)	
	1972/1976	1976/1980	1972/1975	1975/1980
K0	0,871	0,798	122	135
K1	0,894	0,824	127	142
K2	0,858	0,819	116	145

En Colombie, sur alluvions du Río San Alberto, le problème de la nutrition potassique est encore plus complexe, car il se superpose à un problème de déficience en chlore.

L'apport de chlorure de potassium a pour effet de corriger la déficience en chlore avec un gain de production de l'ordre de 10 p. 100, qui n'est pas du tout négligeable sur le plan économique, mais il provoque également une réduction des teneurs foliaires en potassium à 0,8 p. 100. Cet effet paradoxal est maintenant bien connu, il est dû au chlore qui favorise l'absorption du calcium au détriment du potassium, mais la conséquence de cet effet sur le rendement reste problématique car il n'a pas encore été possible de corriger la déficience en chlore sans réduire les teneurs foliaires en potassium. Une nouvelle tentative a été prévue pour 1980 par l'étude expérimentale de très fortes doses de KCl en espérant qu'elles permettront de contrecarrer les effets antagonistes du calcium. Cet élément, présent en quantité notable à la fois dans les sols de Colombie et d'Indonésie, modifie semble-t-il la dynamique d'absorption et d'utilisation des cations. Dans les deux situations, le chlore qui accompagne traditionnellement le potassium favorise le calcium.

En Indonésie, la fumure phosphatée, nécessaire par ailleurs, apporte encore un supplément de calcium qui accentue l'antagonisme. En fait l'absorption du potassium n'est pas limitée par un manque de potassium dans le sol, du moins jusqu'à certain point, mais par le jeu de l'antagonisme avec le calcium favorisé par le chlore et la fumure phosphatée.

Dans ces conditions, le bénéfice à attendre de la fertilisation potassique sur ces sols particuliers ne peut pas être très important du moins tant que les teneurs foliaires restent égales à 0,85 p. 100.

Il faut se consacrer de préférence à la correction des déficiences majeures : azote, phosphore, chlore, mais en évitant les fumures excessives qui auraient pour effet de créer artificiellement des besoins en potassium.

La figure 5 résume l'évolution de la nutrition potassique et des rendements (exprimés en pourcentage) sous l'effet de l'application de chlorure de potassium dans ces trois conditions très différentes :

- sables tertiaires de Côte-d'Ivoire : carence potassique,
- sols podzoliques liparitiques : action nulle de KCl
- sols alluviaux de Colombie à forte pression calcique : carence en Cl.

On voit une convergence vers un niveau critique de K compris entre 0,8 et 0,9.

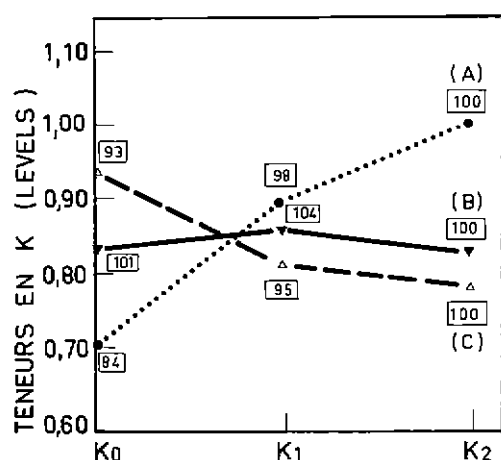


FIG 5. — Effet du chlorure de potassium sur les teneurs en K et sur les rendements - p. 100 (Effect of potassium chloride on K levels and on yield). (A) Côte-d'Ivoire. — La Me CP23 - Sables tertiaires, déficiences en K (Ivory Coast. — La Me CP23 - Tertiary sands, K deficiencies). (B) Indonésie. — Aek Loba (1972-1980) AL-CP1 - Sols podzoliques latéritiques (Lateritic podzolic soils). (C) Colombie. — (1980) Sa-CP2 - Sols à haute teneur calcique - Alluvions - Déficiences en Cl (Soils of high calcic pressure - Alluvials - Cl deficiencies).

D. — Magnésium.

Le niveau critique traditionnel du magnésium (0,240 p. 100 sur feuille 17) a été probablement surestimé. Dans

l'expérience AL-CP2 (région de Médan à Sumatra), implantée dans une zone très fortement déficiente, les engrais magnésiens permettent d'augmenter le rendement de 50 p. 100 en moyenne par rapport à un témoin dont les teneurs foliaires s'étagent de 0,03 à 0,15 p. 100 selon les répétitions ; or, on constate que l'effet du magnésium apporté diminue au fur et à mesure que les teneurs augmentent, pour devenir très modestes dans les répétitions où ces teneurs dépassent 0,10 p. 100 (Fig. 6).

L'ancien niveau critique de 0,240 p. 100 mérite pour le moins d'être révisé en baisse, du moins dans certaines

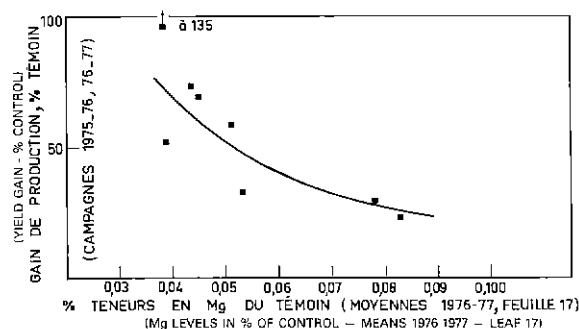


FIG 6 — Effet du magnésium - Indonésie (Effect of magnesium - Indonesia).

situations. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par les résultats d'une expérience voisine, AL-CP1, moins carencée (Tabl. IV).

Le chlorure de magnésium augmente les teneurs foliaires de 0,20 à 0,23 p. 100 sans effet sur le rendement, pendant 7 ans (1972/1979) ; ce n'est qu'en 1980, où la teneur du témoin baisse à 0,18 p. 100, que la réponse du rendement devient significative.

TABLEAU IV. — Indonésie - AL-CP 1
Nutrition magnésienne et production
(Magnesium nutrition and yield)
(plantation 1959)

Doses (Rates) de MgCl ₂ (kg/a/an - kg/tree/year)	Teneurs en Mg (Mg contents)		Production (Yield) (kg/a/an - kg/tree/year)	
	1972/1979	1980	1972-1979	1979-1980
0	0,218	0,184	134	135
1,5	0,236**	0,221**	131	151*

En Equateur, sur les sols andiques du versant pacifique, on retrouve l'absence d'effet sur le rendement de la fumure magnésienne, qui éprouve par ailleurs des difficultés à corriger les teneurs foliaires en magnésium, pourtant très faibles dans le témoin (Tabl. V). L'absence d'une augmentation de rendement avec l'âge est probablement

TABLEAU V. — Equateur - TT CP-1 - Nutrition magnésienne et production (plantation 1974)
(Magnesian nutrition and yield)

Traitements (Treatments) Sulfate de Mg (21 p. 100 de MgO) (g/a/an - g/tree/year)	Teneurs foliaires (Leaf contents) en Mg p. 100	Rendement (Yield) kg régimes/arbre (kg FFB/tree)	
		1977-78	1978-79
Mg 0 0	0,126	184	181
Mg 1 1 000	0,134	186	179
Mg 2 2 000	0,143**	181	179

due à l'utilisation de techniques de castration dans un pays avec une longue saison sèche.

Faut-il s'attendre à un gain de production à l'avenir, lorsque la fumure magnésienne parviendra à mieux corriger les teneurs ? C'est possible, mais il est difficile de croire à un effet d'importance quand on obtient déjà près de 25 t de régimes/ha/an à l'âge de 3 et de 4 ans.

Il y a donc de plus en plus d'arguments pour mettre en doute la validité du niveau critique de 0,240 p. 100 (feuille 17), du moins dans certains sols.

Il est d'ailleurs tentant de faire un rapprochement avec la nutrition potassique dans les sols alluviaux ou volcaniques plus riches en bases échangeables et notamment en calcium.

Cet élément pourrait modifier sensiblement la dynamique d'absorption du potassium et du magnésium, réduire les teneurs foliaires sans conséquence notable sur le rendement, ceci jusqu'à un certain point qu'il reste à définir.

Ces teneurs foliaires, plus faibles en K et Mg, suite à une teneur élevée en cations échangeables des sols et en particulier en calcium, correspondent en plus à des zones profitant d'une bonne écologie comme l'attestent les hauts rendements obtenus :

Sumatra : AL-CP1 - vieille plantation 1959 ; 23,5 t de régimes/ha/an (moyenne 16 à 19 ans) ;

Equateur : TT-CP1 - jeune plantation 1974 ; 24,5 t de régimes/ha/an (moyenne 3 à 4 ans) ;

Colombie : SA-CP1 - plantation 1963 ; 23,0 t de régimes/ha/an (moyenne 8 à 15 ans).

Il est possible de se demander si dans ces situations la dynamique de K et Mg n'est pas différente de celle des zones à moins bonne écologie donc à production plus faible, la translocation de K et Mg étant plus rapide et plus régulière.

E. — Chlore.

L'existence d'un effet de l'élément chlore sur les rendements du palmier a été mise en doute par Rajaratnam [1976], qui évoque même la possibilité de sa toxicité, par Green [1976] et par Corley [1976], citant Epstein [1972] selon lequel la déficience en chlore « is the only that is nowhere of economic importance. No deficiency of chlo-

rine has yet been observed in any plants grown under the open sky ».

Les propos d'Epstein s'appliquant plutôt à des cultures maraîchères (salades, carottes), dont la production de matière sèche annuelle à l'hectare est très faible comparée à celle du palmier à huile (une vingtaine de tonnes à l'hectare), sont devenus totalement inexacts depuis que les résultats de la Philippine Coconut Authority [Margate, Magat, Alforja, Habana, 1979] et ceux de Rosenquist [1980] à Sumatra, ont fait plus que confirmer nos premières recherches [1971] puisque des accroissements de la production du coprah atteignant 1 t/ha/an sont prouvés comme étant dus au chlore.

Sur le palmier à huile, l'intérêt d'une meilleure connaissance de l'alimentation en chlore vient de l'existence d'une double relation dans les sols à forte pression calcique :

— l'application de Cl engrais accroît le Cl de la feuille, ainsi que le calcium ;

— par voie d'antagonisme le calcium réduit la teneur en potassium dans la feuille (Tabl. VI).

Il se peut donc que l'on observe dans certaines situations que l'application de chlorure de potassium n'accroît pas du tout les teneurs en potassium des feuilles, ou même les diminue, alors que le rendement est augmenté par les applications de KCl.

Dans ce cas, que l'on rencontre également au Pérou, en Colombie, en Équateur, en Papua New Guinea [Breure et Rosenquist] notamment, un niveau de K relativement bas, de l'ordre de 0,8 à 0,9, n'a rien d'inquiétant : il est la conséquence de l'élévation du niveau de Ca sous l'influence de Cl. Il est donc souhaitable de ne pas ignorer les teneurs en Cl pour porter un jugement valable sur la nutrition et la fertilisation potassiques.

Il faut souligner les très grandes variations de teneur en Cl en conditions naturelles de culture de moins de 0,1 p. 100 dans les régions continentales à + de 1 p. 100 dû à divers facteurs (en particulier, apport très variable par les pluies) [Mengel, 1979].

On peut comprendre qu'en Malaisie on paraisse ne pas s'intéresser au problème de la nutrition en chlore ; une enquête menée en 1976 [Ollagnier, Ochs, Daniel] a montré que dans les plantations industrielles, en général généreux

TABLEAU VI. — Action du chlorure de potassium sur les teneurs en K, Ca, Cl et sur les rendements dans 3 expériences en Colombie

(Effect of potassium chloride on K, Ca, Cl contents, and on yield in 3 experiments in Colombia)

Depuis (Since) 1966	Sa-CP 1 (1963 Pl.)			Depuis (Since) 1969	Sa-CP 2 (1965 Pl.)			Depuis (Since) 1971	Sa-ES 49 (1970 Pl.)		
	KCl 0 0	KCl 1 1	KCl 2 2 kg		KCl 0 0	KCl 1 1,5	KCl 2 3,0 kg		(-)	KCl 0,5-2	NaCl 0,4-1,6 kg
1977/80				1980	0,934	0,812**	0,780**	1980	0,90	0,79**	0,80**
Teneurs en K (contents)	0,825	0,795	0,784	1980	0,557	0,649**	0,673**	1980	0,66	0,76**	0,80**
Teneurs en Ca (contents)	0,682	0,702	0,742	1980	0,141	0,536**	0,649**	1980	0,077	0,503**	0,495**
Teneurs en Cl (contents)	0,150	0,483	0,587								
Poids moyen du régime (Average bunch weight)				1980/80	14,1	16,7**	16,7**	1975/80	13,4	15,6**	15,3**
1967/76	11,2	11,7*	12,3**								
1977/80	16,2	17,3**	18,0**								
Poids de régimes (Bunch weight) (1)				1979/80	161,7	166,6	174,5	1975/80	143	159	149
1967/76	171	190	188								
1977/80	137	152	146								

(1) Signification non calculée (Significance not calculated).

* Significatif à (Significant at) 5 p. 100.

** Significatif à (Significant at) 1 p. 100.

sement fumées en chlorure de potassium, les teneurs en Cl étaient comprises entre 0,5 et 0,7 p. 100, avec certaines exceptions voisines de 0,3 p. 100 ; mais ceci n'est déjà plus vrai en Indonésie où une enquête, menée en 1974, a montré sur près de 500 échantillons appartenant à 10 plantations industrielles de Nord Sumatra, l'existence de 1 p. 100 d'échantillons inférieurs à 0,1 p. 100, de 9 p. 100 d'échantillons à teneur comprise entre 0,1 et 0,2 p. 100 et de 25 p. 100 d'échantillons à teneur comprise entre 0,2 et 0,3 p. 100.

Dans les situations où Cl est inférieur à 0,1 p. 100, une réponse favorable des rendements de l'ordre de 10 p. 100 à l'application de chlore est pratiquement certaine ; dans les situations où Cl est compris entre 0,2 et 0,4 p. 100, il y a encore de bonnes chances d'obtenir un accroissement de rendement par des applications de chlore, et celles-ci doivent être effectuées lorsqu'elles n'entraînent pas d'accroissement notable du coût de la fertilisation (substitution d'ion chlore Cl^- à l'ion SO_4^{2-}).

En conclusion, sur certains sols alluviaux, ou d'origine volcanique, on commettrait une erreur scientifique en attribuant toujours à l'élément K, les réponses au chlorure de potassium, ce qui conduirait à conseiller des applications de K qui ne sont pas nécessaires et une erreur sur le plan économique, puisque la méconnaissance des déficiences en Cl peut conduire à une perte de plusieurs centaines de kilos d'huile par hectare.

F. — Formes anioniques.

Trois des quatre éléments majeurs N, K et Mg sont disponibles sous la forme de chlorure, ou sous la forme de sulfate ; selon les cas la déficience en chlore peut être corrigée en choisissant le chlorure d'ammonium, le chlorure de potassium, ou le chlorure de magnésium en fonction de la nature des déficiences (N, K, Mg, ..), et ceci de façon très économique. Les coûts CAF varient cependant beaucoup selon les réglementations douanières, mais il existe des pays où, par exemple, l'unité de Mg importée sous forme de chlorure ne revient pas plus cher que sous forme de sulfate.

Conclusion.

En se contentant des résultats en stations expérimentales, on gène la nutrition en fonction des normes générales dont on vient de montrer qu'elles sont éminemment variables selon l'âge des cultures, la nature du sol, du climat, du matériel végétal et du potentiel qui en résulte. La tendance est alors de couvrir très largement les besoins supposés sans prendre de risque, ni de rationnement, ni d'omission. On module bien entendu les fumures en fonction du diagnostic foliaire mais on apporte cependant chaque année une fumure complète N, P, K, Mg sans jamais descendre en dessous des doses minimales supposées nécessaires en toutes circonstances.

On trouvera dans le tableau VII un résumé des caractéristiques des sols des différentes expériences dont les résultats ont été discutés dans cet article.

L'existence d'un réseau expérimental au sein même des plantations permet au contraire de bien faire la différence entre les fumures efficaces et celles dont l'effet sur le rendement apparaît comme faible et incertain.

II. — CONTRÔLE DE LA NUTRITION PAR DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET PROGRAMMATION DES FUMURES

A. — Enquêtes annuelles de diagnostic foliaire.

C'est le deuxième volet de la méthode. Il n'a de valeur que s'il est accompagné du volet expérimental. Il est indispensable car, quelle que soit l'attention avec laquelle on a choisi l'implantation des expériences, il faut tenir compte des variations du milieu autour du site expérimental de référence pour optimiser les doses. Selon l'importance de ces variations, on procède avec une plus ou moins grande densité à des prélèvements qui sont effectués chaque année sur les mêmes arbres de façon à permettre l'interprétation de l'évolution des teneurs foliaires dans le temps. On retient en général un site pour 25 à 100 ha, sous forme d'une double ligne (± 50 arbres) bien choisie (représentativité) et parfaitement balisée (facilité de prélèvement et de contrôle).

B. — Interprétation des résultats.

L'expérience de référence montre que l'apport d'un élément sous forme d'engrais se traduit bien par une amélioration du rendement et par une augmentation des teneurs foliaires correspondantes.

La courbe de réponse permet de calculer la dose la plus rentable et de connaître les teneurs foliaires qu'il faut atteindre pour prétendre aux différents niveaux de production y compris bien entendu celui de l'optimum.

Il suffit ensuite de comparer les teneurs observées dans les parcelles de plantation à celles de l'expérience pour moduler les doses en conséquence. Si, par exemple, l'application de la dose optimale de l'expérience se traduit par l'obtention du niveau foliaire optimal, cela signifie bien entendu que la parcelle de plantation correspondante se comporte exactement comme celle du site expérimental et qu'il suffit donc de poursuivre avec cette même dose pour garantir l'obtention du meilleur rendement.

Si, au contraire, cette dose nominale a pour effet de porter les teneurs foliaires au-dessus ou en dessous de la teneur optimale, il faut alors réduire ou augmenter la dose en conséquence car la parcelle en question ne se comporte pas comme le site expérimental dont elle se démarque par une déficience native spécifiquement différente.

Cette opération, qui permet d'ajuster les doses au strict nécessaire, doit être normalisée pour échapper à l'improvisation des agronomes, même si les plus expérimentés d'entre eux font profession d'un art subtil en la matière.

C. — Méthodes de programmation normalisée.

On utilise des barèmes qui donnent la dose à appliquer en fonction de la teneur foliaire observée dans chaque parcelle de plantation. Ces barèmes sont établis à partir des résultats expérimentaux et sont réajustés chaque année pour tenir compte des évolutions constatées dans le réseau expérimental et dans le réseau de contrôle par diagnostic foliaire.

TABLEAU VII. — Caractéristiques des sols des lieux d'expériences
(Soil characteristics of the experimental locations)

Lieux d'expériences (Experiment locations)	Texture - p. 100					Matière organique (Organic matter)		Bases échangeables - meq/100 g (Exchangeable basis)						Complex Saturation		Phosphore (Phosphorus) ppm		Description des sols (classement F.A.O.) (Soil description F.A.O. Class)
	Argile (Clay)	Limon (Silt)	Sable très fin (Very fine sands)	Sable fin (Fine sands)	Sable (Sands)	C p. 100	N p. 100	Ca	Mg	K	Na	S	CEC	Satur. p. 100	pH	Total P	P Saunders	
Indonésie-North Sumatra																		
1. East Coast - Ack Loba (AI-CP 1 et 2)	23,0	1,5	1,4	6,8	54,5	2,8	0,24	0,95	0,12	0,17	0,04	1,28	5,10	25	5,4	270	16	Sols ferrallitiques sur sédiments liparitiques (Ferrallitic soils on liparitic sediments) (Ao)
2. West Coast - Seunagan	52,0	33,0	7,1	5,6	23	4,1	0,45	5,90	3,78	0,17	0,09	9,94	27,79	36	4,7	1 323	510	Sols hydromorphes (Hydromorphic soils) (Gd)
Brésil																		
3. Para - Belem (BEL-ES 1)	8,9	3,1	6,7	51,1	30,2	1,0	0,07	0,57	0,06	0,02	0,01	0,66	0,90	73	5,3	80	22	Latosols jaunes sur sables tertiaires (Yellow latosols on tertiary sands) (Lo)
Colombie - Rio Magdalena																		
4. San Alberto (Sa-CP 1 et 2 - SA-ES 49)	18,5	32,0	15,1	20,4	14,0	1,3	0,11	13,4	4,20	0,18	0,11	17,89	20,00	89	6,8	1 220	597	Sols alluviaux jeunes (Young alluvial soils) (Jo)
5. Monterrey (MT-CP 1)	14,6	5,2	13,5	20,0	45,7	1,7	0,16	0,25	0,10	0,08	0,08	0,51	1,40	36	4,5	270		Sols ferrallitiques sur sédiments tertiaires (Ferrallitic soils on tertiary sediments) (Ao)
Equateur Pacific Side																		
6. Quimnde (TT-CP 1)	3,8	27,2	32,0	35,9	1,1	3,0	0,30	12,2	3,20	1,90	0,01	16,31	23,20	70	6,3	1 060	265	Andosols (Th)
Côte-d'Ivoire																		
7. Dabou (Da-CP 18)	11,6	1,8	2,9	32,2	51,5	1,0	0,07	0,21	0,12	0,05	0,02	0,40	3,37	12	4,6	301	106	Sols ferrallitiques sur sables tertiaires (Ferrallitic soils on tertiary sands) (Ao)
8. La Mé (LM-CP 19)	12	3	2	19	64	0,7	0,06	0,30	0,07	0,04	0,01	0,42	3,05	14	4,5	204	105	
9. Soubré (CI-CP 5)	21,5	4,9	2,8	23,7	47,2	2,6	0,19	0,95	0,31	0,10	0,01	1,37	3,60	38	5,1	270	55	Sols ferrallitiques sur rochers granitiques (Ferrallitic soils on granitic rocks) (Ao)

On peut citer par exemple les barèmes proposés pour la fumure potassique dans les plantations de Nord-Sumatra (en kg de KCl/arbre/an).

Selon que l'on a affaire à des sols podzoliques (Côte Est de Sumatra, principalement) groupe I, ou alluviaux (Côte Ouest) groupe II.

Teneurs foliaires K p. 100	Doses de KCl (kg/arbre)							
	5/9 ans		10/15 ans		16/20 ans		> 20 ans	
	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II
≥ 1,20	0	0	—	—	—	—	—	—
1,10 - 1,19	1,0	0	0	0	—	—	—	—
1,00 - 1,09	1,5	0,5	1,5	0	0	0	—	—
0,90 - 0,99	2,0	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	0	0
0,80 - 0,89	3,0*	1,5	2,5	1,0	2,0	1,0	1,5	0,5
0,70 - 0,79	3,0*	2,0	3,0*	1,5	2,5	1,5	2,0	1,0
≤ 0,69	3,0*	2,0	3,0*	2,0	2,5	2,0	2,0	1,5

(*) Applications fractionnées.

Il aura pour effet de réduire ou parfois supprimer les apports de KCl sur les plantations qui ont reçu par le passé une fertilisation potassique très importante, de l'ordre de 2,5 kg/arbre/an.

D'autres types de barèmes sont à l'étude ; ils permettront de calculer la dose industrielle à partir de la dose utilisée l'année précédente en tenant compte de l'effet de cette dose sur l'évolution des teneurs.

D. — Organisation et moyens à mettre en œuvre.

Les méthodes qui viennent d'être exposées doivent être mises en œuvre par des spécialistes capables de programmer et d'interpréter scientifiquement les expériences et de construire les barèmes qui en résultent (statisticiens, agronomes).

Il faut disposer d'un excellent laboratoire d'analyse qui doit être contrôlé par ces mêmes spécialistes de façon à fournir des résultats reproductibles et fiables.

Il est souhaitable, par ailleurs, de simplifier la tâche des utilisateurs de ces méthodes en ayant recours si possible à l'ordinateur capable de mettre en mémoire les résultats de diagnostic foliaire et les comptes rendus de fumure pour les présenter sur des documents clairs et faciles à utiliser.

Il est même possible, et l'I.R.H.O. y a recours, de

demander à l'ordinateur de préparer la décision en calculant les doses telles qu'elles résultent de l'application des barèmes.

Cette aide mécanique fait gagner beaucoup de temps et évite les nombreuses erreurs humaines de lecture et de transcription.

CONCLUSION

Les méthodes de gestion de la nutrition minérale des plantations peuvent permettre dès maintenant d'effectuer de très importantes économies d'engrais sans risquer de réduire le potentiel de production car elles sont basées sur des résultats expérimentaux incontestables.

Ces économies seront particulièrement sensibles dans le Sud-Est Asiatique où il était d'usage en général d'apporter des fumures lourdes et complètes (jusqu'à 8 kg par arbre et par an) par souci de compenser les exportations et de maintenir le potentiel de production sans trop se soucier des pertes par lessivage et fixation aux dépens des engrais apportés en excès. C'était chose possible jusqu'aujourd'hui, mais plus à l'avenir car il faudra bien tenir compte du prix des engrais qui pèse de plus en plus lourdement sur les charges d'exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BREURE C. J., ROSENQUIST E. A. (1977). — An Oil Palm Fertilizer Experiment on Volcanic Soils in Papua, New-Guinea, *Oléagineux*, 32, p. 301-310.
- [2] CORLEY R. H. V. (1976). — Physiological Aspects of Nutrition. In : *Oil Palm Research*, Elsevier Sci. Publ. Cy, Amsterdam, Netherl., p. 159-160.
- [3] GREEN A. H. (1976). — Field Experiments as a Guide to Fertilizer Practice. In : *Oil Palm Research*, Elsevier Sci. Publ. Cy, Amsterdam, Netherl., p. 253-256.
- [4] KNECHT J. C. X., RAMACHANDRAN R., NARAYANAN R. (1974). — Some Variational Features of the Leaf Nutrient Contents in Oil Palm Leaf Sampling. *Oléagineux*, 29, p. 287-295.
- [5] MARGATE R. Z., MAGAT S. S., ALFORJA L. M., MAHANA J. A. (1979). — A long-term KCl fertilization study of bearing coconuts in an inland-upland area of Davao (Philippines). *Oléagineux*, 34, p. 235-242.
- [6] MENGEL K., KIRKBY E. A. (1978). — *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Berne, Switzerland.
- [7] OLLAGNIER M. and OCHS R. (1971). — Le chlore, nouvel élément essentiel dans la nutrition du palmier à huile. *Oléagineux*, 26, p. 1-15.
- [8] OLLAGNIER M., OCHS R., DANIEL C. (1976). — The chlorine nutrition of oil palm and coconut. Application to fertilization. *I.R.H.O. Document* 1297.
- [9] RAJARATNAM J. A. (1976). — Micronutrients. In : *Oil Palm Research*, Elsevier Sci. Publ. Cy, Amsterdam, Netherl., p. 263-270.
- [10] ROSENQUIST E. A. (1980). — A Coconut Fertilizer Trial on the Podzolic Soils of North Sumatra. *Oléagineux*, 35, p. 241-246.

SUMMARY

Management of mineral nutrition on industrial oil palm plantations. Fertilizer savings.

M. OLLAGNIER and R. OCHS, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 8-9, p. 409-421.

The crisis in energy and raw materials of mineral origin has drawn attention back to the problem of fertilizer savings, while giving it a new dimension. Present circumstances no longer lend themselves to an over-generous approach which was so often practised in the recent past, and which sometimes continues to be today. It is therefore necessary to advance all research options enabling fertilizer consumption to be reduced in the future; it is already possible to make very substantial savings, thanks to careful management of plantation mineral nutrition. The corresponding methods are operational, based on the association between the experimental rigour of field experiments, and the flexibility of leaf analysis enquiries. Mineral nutrition must not be managed in function of general norms which have turned out to be eminently variable depending on the age of the cultures, the nature of the soil, and the climate and resulting potential. It is thus indispensable to turn to reference experiments set up in the heart of the industrial plantations. This is the only way of proving that a fertilizer is efficient, and of defining the critical levels to be used to draw up the specific fertilizer schedules for the region concerned. Critical nitrogen level drops with the age of the plantations. Phosphorus levels vary according to the level of nitrogen nutrition. The critical levels for potassium and magnesium depend on the nature of the soils, the climate and the production potential. Schedules modulating the fertilizer rate are used in function of the leaf levels observed in each plantation plot. The schedules are drawn up on the basis of experimental reference results and are readjusted yearly if necessary. Other schedules are being studied, enabling the year's rate to be calculated in function of the previous year's rate, and taking into account the effect of this rate on the evolution of levels.

RESUMEN

Gestión de la nutrición mineral de las plantaciones industriales. Economías de fertilizantes.

M. OLLAGNIER y R. OCHS, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 8-9, p. 409-421.

La crisis energética y de materias primas de origen mineral da nuevo impulso y una nueva magnitud al problema de economías de fertilizantes. Las circunstancias actuales ya no permiten aquella prodigalidad que muchas veces fue el atributo del pasado reciente, y a veces sigue aún de actualidad. O sea que hace falta fomentar todas las investigaciones que permitan reducir el consumo de fertilizantes en adelante, pero es posible ya hacer economías muy apreciables mediante una verdadera gestión ceñida de la nutrición mineral de las plantaciones. Los métodos correspondientes son operacionales. Se fundan en la asociación entre el rigor experimental de los experimentos de campo y la flexibilidad de las investigaciones de diagnóstico foliar. No se debe llevar la nutrición mineral con arreglo a unas normas generales que según se sabe ahora son muy variables según la edad de los cultivos, la indole del suelo y del clima y el potencial que resulta de ellos. O sea que es indispensable recurrir a experimentos de referencia implantados en el propio centro de las plantaciones industriales. Este es el único modo de demostrar la eficacia de un abono, definiendo los niveles críticos que se utilizarán para establecer las tablas de fertilización específicas de la región considerada. El nivel crítico de nitrógeno disminuye con la edad de las plantaciones. El de fósforo varía con relación al nivel de nutrición nitrogenada. Los niveles críticos de potasio y magnesio dependen de la indole de los suelos, del clima y del potencial de producción. Se utilizan tablas que matizan la dosis de fertilizantes con arreglo a los contenidos foliares observados en cada parcela de plantación. Se establece estas tablas en la base de los resultados experimentales de referencia, reajustándose los cada año si es preciso. Se está estudiando otras tablas, que permitirán calcular la dosis del año con arreglo a la dosis del año anterior, teniendo en cuenta el efecto de dicha dosis en la evolución de los contenidos.

Management of mineral nutrition on industrial oil palm plantations

Fertilizer savings (1)

M. OLLAGNIER (2), R. OCHS (3)

INTRODUCTION

The energy crisis and the limited quantities of raw material of mineral origin available, have brought the problem of fertilizer savings to the fore and given it a new dimension. Furthermore, it has been made concrete by an increase in fertilizer cost very much greater than that of the products obtained by their application. It will never be possible to do without fertilizers and evolve towards a so-called « purely biological » agriculture, at least for perennial tropical oil crops, whose climatic requirements (high rainfall) are such that they must nearly always be grown on poor soils, where they could not express their potential without fertilizer. In any case, the result would defeat the aim since the benefit of improved use of solar energy would be lost. Fertilization is one of the few energy expenditures which generates energy at the expense of a free, inexhaustible energy source.

Nonetheless, it is certain that present circumstances no longer lend themselves to the prodigality so often the attribute of the recent past. It cannot be accepted today that mineral exports by crops must be compensated by massive fertilizer applications, even for the praiseworthy reason of preserving fertility potential.

The I.R.H.O. has always been hostile to this concept wherever it was not founded on experimental bases, at it does not take economic problems into account at all and may even lead to mineral imbalances with a negative effect on productivity.

The Institute's activities have for long been directed towards seeking the greatest possible fertilizer savings, thanks, possibly, to the presence of its research centres in areas less favoured climatically, where great rigour has always had to be practised in the operating budgets. Research should be pursued and developed in this direction, and in all areas where fertilizer can be saved, or made more efficient, namely:

— **choice of fertilizers** (choice between anions and cations in the salts used as fertilizers, use of harvest waste and all replacement products or by-products);

— **control of losses** (by leaching and irreversible fixation in the soil in reaction to the nature of fertilizers and methods of application);

— **soil conservation** (agricultural techniques of preparation and upkeep to fight impoverishment in organic matter and acidification);

(1) Communication presented at International Conference « The oil palm in agriculture in the eighties », June 17-20, 1981, Kuala Lumpur (Malaysia).

(2) Director of research. I.R.H.O., 11, Square Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Director of I.R.H.O. Agronomy Département. I.R.H.O./GERDAT, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

— **efficiency of absorption** (planting material, root system, associated micro-flora) ;

— **biological fixation of atmospheric nitrogen** (associated micro-flora, legume cover crops, etc.) ;

— **reduction of mineral exports in the harvest** (planting material, product processing technology).

While awaiting the results of this new research, present modes of action enable large fertilizer savings to be made thanks to proper management allowing « fine tuning » of mineral nutrition on industrial plantations.

The efficiency of these methods is due to the close association between **rigour** in field experimentation and **flexibility** in the leaf diagnosis.

I. — EXPERIMENTATION ON CRITICAL LEVELS

Field experiments can be set up on the industrial plantations themselves : unlike the monitor plots system, they are programmed and analysed scientifically, to yield indisputable statistical results, enabling the effects of each element and the interactions to be separated.

This is the only way to prove that a fertilizer is efficient, and to calculate the best rate. This is also the only way to prove that a fertilizer is ineffective and can be left out of the manuring formula with no notable consequence for yield.

Field experiments also enable reference leaf levels to be established, for use in interpreting nutrient control, and in particular, the fixing of critical levels below which application of the corresponding element in the form of fertilizer is expressed by a profitable yield increase. People sometimes speak of economic instead of (or in opposition to) physiological critical levels, which does not take the profitability of the operation into account. Thus defined, the critical level depends theoretically on evolution of product and fertilizer costs, but generally they prove to have rather little influence due to the form of the response curves. The old and quite traditional critical levels have often been questioned in the last few years, sufficiently for a review of this question to be useful.

A. — Phosphorus.

Most authors, notably Green [1976] refer to a fixed critical level of phosphorus.

The existence of a very narrow linear relation between nitrogen and phosphorus leaf levels does not enable a reliable judgement of phosphorus levels to be made without referring to nitrogen levels. In other words, there is not a single critical level, but a critical line, which is a function of nitrogen levels. The I.R.H.O. proposes the model given in Figure 1 in which levels and responses in a few representative situations are confronted.

The results obtained in Indonesia in AL-CP 1 are perfectly coherent with the average results obtained in Brazil in BEL-ES 1. The absence of effect of phosphates on alluvial soil in Colombia (SA-CP 2) is explained by the position of the corresponding point on the critical line (1). The MT-CP 1 experiment, also in Colombia, but on sedimentary soils, has phosphorous levels below the line. It responds to phosphated manuring but the effect of phosphates on both levels and yields, seems modest ; the same problem arises in the Ivory Coast (CI-CP 5). These experiments will be changed to study higher rates.

B. — Nitrogen.

Responses to the nitrogenous formula in West Africa are few and generally correspond to the intervention of subsidiary factors like erosion, soil hydromorphism or competition from harmful weeds like *Imperata*. Nonetheless, some responses are observed in a young replanting, like Dabou in the Ivory Coast, in the DA-CP 18 trial (Table I).

It is not yet possible to deduce a critical level from this, before knowing the influence of this response on yield, but it may be assumed that this level is at least about 3 p. 100 N on a rank 4 leaf before bearing starts.

In Indonesia, on liparitic soils in the Medan region, though they are richer in total nitrogen than the old soils on the African continent, response to nitrogen fertilizer is generally marked for trees from 15-20 years. The critical level for this age can be set at

2.4 p. 100 (leaf 17) given the results of experiment AL-CP 1 (Table II).

In effect, it will be seen that a rate of 6 kg ammonium sulfate per tree introduced in 1974 to replace the intermediate rate of 2 kg applied since 1971, did not produce more than with the 4 kg rate.

On younger trees (1967 planting) the results of experiment MP-CP 1 argue in favour of a new higher critical level, about 2.60 p. 100. In effect, the yield further increases from 132 to 144 kg/tree and per year when the levels go from 2.47 to 2.58 p. 100 (average 1974-78) relative to control without nitrogenous fertilizer producing 124 kg for a leaf level of 2.35 p. 100.

Green [1976], quoting Knecht [1974], cites a fixed critical level. However, for a more precise estimate of the existence of nitrogen deficiencies, phosphorous nutrition in addition to the nitrogen nutrition must be taken into account : the critical level for N is not fixed, it varies in function of P levels (Fig. 2).

An N level of 2.5 p. 100 can lead to a deficiency (if P = 0.170 p. 100) or to very good nutrition (if P = 0.140 p. 100).

This model was drawn up on the basis of results obtained in North Sumatra in an experiment at Aek-Loba, with application of ammonium sulfate and CIRP allowing yield to be increased by 13 tons bunches/ha. It corresponds to 13-18 year old palms.

Secondly, account must be taken of age when proposing a critical nitrogen level. The results available to date enable the following range to be proposed :

Planting age	Critical N p. 100 level (F 17)
Over 20 years	2.35
16-20 years	2.45
10-15 years	2.55
5-9 years	2.65

To combine these two notions : nitrogen level in function of phosphorus levels and nitrogen level decreasing as the palms age, a model for interpretation and diagnosis can be proposed as shown in Figure 3.

The plantations' status can be evaluated easily by reference to a line P function of N, and by a network of parallel lines N function of P, the position of these lines depending on the age of the plantations.

C. — Potassium.

The desaturated laterites of West Africa are poor in potassium, but have the advantage of responding very sharply and quickly to the slightest stimulus. Thus, with the help of leaf diagnosis, potassic nutrition can be managed with great precision, and above all, with complete security.

On this type of soil, the scenario of potassic nutrition is illustrated in a conventional way by the results of an experiment on tertiary sands at the La Me station in the Ivory Coast (LM-CP 19, 1965 planting). In this trial, which ended in 1978, the idea was to pinpoint the exact moment when potassic deficiency starts with maximum precision, comparing only two treatments and multiplying the number of replications [12]. Leaf levels of treatment K1 were maintained around 0.9 and 1.0 p. 100 by annual potassium chloride and sulfate applications ; these may have been excessive (3 kg/tree/year). Levels of treatment K0 without manuring remained at around 0.9 p. 100 to age 8, then dropped to almost 0.6 p. 100 within 5 years (Fig. 4). There is a significant distinction between both treatments as regards mean bunch weight from 1974 onwards, i.e. immediately after leaf levels cross the 0.9 p. 100 threshold. Yield in kg/bunches only differs two years later, but if precision of the analysis is increased by grouping 4 successive years, it is found that the difference becomes significant even before levels cross the 0.9 p. 100 line (average of 1970-71 to 1973-74 campaigns). In the 1.0 to 0.9 p. 100 interval of levels, potassic manuring thus increases yield by about 5 p. 100, a sufficient margin to make modest rates profitable : below 0.9 p. 100, the gain rises rapidly to plus 10 p. 100 and makes profitable massive rates in the region of 3 kg fertilizer/tree/year.

On desaturated lateritic soil, the progressive fall in levels with age is easily halted by potassic manuring which enables yield gains of about 5 p. 100 between 1 and 0.9 p. 100, and more than 10 p. 100 below these levels.

The facts of the problem are quite different when dealing with **alluvial or volcanic soils**, characterised by another type of clay and a higher sum of exchangeable bases. The leaf potassium levels in industrial plantations still decrease regularly with age, but the efficiency of potassic manuring is not at all comparable either on levels or on yields. In Indonesia, for example, on liparitic soils of

(1) P levels observed on the West Atjeh plantations (North Sumatra) where the alluvial soils are rich in phosphate and where there is no response to phosphate applications, are also located on the optimal nutrition line.

the Medan region, the potassium levels in experiment AL-CP 1 drop slowly from 0.9 p. 100 to 0.8 p. 100 between 12 and 20 years.

Potassium chloride applications at rates of 1 and 2 kg/tree/year over 10 years **never had a significant effect on leaf levels or yields** (Table III). Presumably, the evolution of the main treatment means reflects an increase in yield due to other treatments (nitrogen and phosphorus).

In Colombia on the Rio San Alberto alluvial soils, the question of potassic nutrition is even more complex, as it is superimposed on a chlorine deficiency problem.

Potassium chloride has the effect of correcting chlorine deficiency, with a yield increase in the region of 10 p. 100 — not at all negligible from an economic standpoint — but it also leads to a drop in leaf potassium levels down to 0.8 p. 100. This paradoxical effect is well known by now. It is due to chlorine which promotes calcium absorption to the detriment of potassium.

The consequence of this effect on yield is still a problem, as it has not yet been possible to correct chlorine deficiency without reducing leaf potassium levels. A new attempt will be made in 1980 by the experimental study of very high KCl rates, in the hope that they will counteract the antagonist effects of calcium. This element, present in large quantities both in Colombian and Indonesian soils, seems to modify the dynamics of absorption and use of cations. In both situations, the chlorine which habitually accompanies potassium, favours calcium.

In Indonesia, the phosphate manuring which is otherwise necessary, provides yet more calcium, reinforcing the antagonism. In fact, potassium absorption is not limited by lack of potassium in the soil, at least up to a certain point, but through the antagonism with calcium favoured by the chlorine and the phosphate manuring.

Under such conditions, the benefit to be expected from potassic manuring on these particular soils may not be very great, at least so long as leaf levels remain at 0.85 p. 100.

Attention should be paid mainly to correcting the major deficiencies: nitrogen, phosphorus, chlorine and avoiding excessive manuring which would have the effect of artificially creating potassium needs.

Figure 5 summarises the evolution of potassic nutrition and yields (expressed in percentages) under the effect of potassium chloride applications under 3 very dissimilar conditions:

- tertiary sands in the Ivory Coast: potassic deficiency
- liparitic podzols: no KCl effect
- alluvial soils in Colombia, with heavy calcic pressure: Cl deficiency.

Convergence towards a critical level of K between 0.8 and 0.9 is observed.

D. — Magnesium.

The customary critical level for magnesium (0.240 p. 100 on leaf 17) has probably been overestimated. In experiment AL-CP 2 (Medan region, Sumatra) implanted in a markedly deficient zone, magnesium fertilizers enable yield to be increased by an average 50 p. 100 compared to a control whose leaf levels range from 0.03 to 0.15 p. 100 depending on replications. Now, it is found that the effect of magnesium applied drops as levels increase, and becomes very modest indeed in the replications where they exceed 0.10 p. 100 (Fig. 6).

The old critical level of 0.240 p. 100 is worth at least revising downwards, in any case in some situations. Moreover, this hypothesis is confirmed by the results of a neighbouring, less deficient experiment: AL-CP 1 (Table IV).

Magnesium chloride increases leaf levels from 0.20 to 0.23 p. 100 with no effect on yield for 7 years (1972-1979). Only in 1980, where the control's level drops to 0.18 p. 100, does yield response become significant.

In Ecuador, on Andean soils on the Pacific slopes, we find again that there is no response of yield to magnesium fertilization, which in other respects has difficulty in correcting leaf magnesium levels although they are very low in the control (Table V). The absence of yield increase with age is probably due to the use of disbudbing techniques in a country with a long dry season.

Should one expect a yield increase in the future, once magnesium manuring is able to correct levels better? Possibly, but it is hard to believe in a major effect, when 25 tons bunches/ha/year are already obtained at the ages of 3 and 4 years.

There is therefore an increasingly strong case for doubting the validity of the 0.240 p. 100 critical level (leaf 17), at least on some soils.

It is also tempting to compare this to potassic nutrition on alluvial volcanic soils, richer in exchangeable bases, notably calcium.

This element could change the dynamic of potassium and magnesium absorption appreciably, reduce leaf levels without notable effect on yield, up to a point which remains to be defined.

These leaf levels, lower in K and Mg due to a high level of exchangeable cations in the soil, particularly calcium, also correspond to zones benefiting from good ecology as shown by high yields:

- Sumatra: AL-CP 1: old 1959 planting
23.5 t bunches/ha/year (average 16-19 years)
- Ecuador: TT-CP 1: young 1974 planting
24.5 t bunches/ha/year (average 3-4 years)
- Colombia: SA-CP 1: 1963 planting
23.0 t bunches/ha/year (average 8-15 years)

One might ask whether in such situations the K and Mg dynamic differs from that in zones with poorer ecology and consequently lower yield, translocation of K and Mg being faster and more regular.

E. — Chlorine.

An effect of the element chlorine on oil palm yield, has been questioned by Rajaratnam [1976], who even mentions that it might be toxic, by Green [1976] and by Corley [1976] quoting Epstein [1972] who says that chlorine deficiency « is the only one that is nowhere of economic importance. No deficiency of chlorine has yet been observed in any plants grown under the open sky ».

Epstein's words, more applicable to market-garden crops (salads, carrots) whose annual dry matter yield/ha is very low compared to that of oil palm (about 20 tons/ha) have become completely false since the results from the Philippine Coconut Authority [Margate, Magat, Alforja, Habana, 1979] and Rosenquist [1980] in Sumatra amply confirmed our early research [1971], since copra yield increases of up to 1 ton/ha/year are proved to be due to chlorine.

On the oil palm, the value of better knowledge of chlorine nutrition stems from the existence of a double relationship in soils with strong calcic pressure:

- the application of Cl fertilizer increases leaf Cl, as well as calcium,
- through antagonism, calcium reduces potassium levels in the leaf (Table VI).

It is possible therefore that in some situations, application of potassium chloride does not increase leaf potassium levels at all; it may even lower them, whereas KCl applications increase yield.

In this case, also found in Peru, Colombia, Ecuador, Papua New Guinea in particular [Breure and Rosenquist], a relatively low potassium level of about 0.8 to 0.9 is not at all disquieting; it results from the rise in the Ca level under Cl influence. Consequently, Cl levels should not be ignored if one wishes to form a valid judgement on nutrition and manuring.

It should be underlined that there are variations in Cl levels under natural growing conditions ranging from below 0.1 p. 100 in continental regions to more than 1 p. 100 due to various factors, in particular a highly variable contribution by rainfall [Mengel, 1979].

That there seems to be little interest in the chlorine nutrition problem in Malaysia is understandable: a study carried out in 1976 [Ollagnier, Ochs, Daniel] showed that on industrial plantations, usually generously manured with potassium chloride, Cl levels were between 0.5-0.7 p. 100 with some exceptions around 0.3 p. 100. This is no longer true in Indonesia, where a 1974 inquiry showed that out of 500 samples from 10 industrial plantations in North Sumatra, 1 p. 100 of the samples were below 0.1 p. 100, 9 p. 100 between 0.1-0.2 p. 100 and 25 p. 100 between 0.2 and 0.3 p. 100.

In situations where Cl is below 0.1 p. 100, favourable yield response of about 10 p. 100 to chlorine applications is practically certain. Wherever Cl is between 0.2 and 0.4 p. 100, there are still good chances of increasing yield by chlorine applications, which should be given whenever they do not lead to a notable increase in fertilizer costs (replacement of ion SO_4^{2-} by the chlorine ion Cl^-).

In conclusion, on some alluvial or volcanic soils, it would be a scientific error to attribute to element K responses to potassium chloride. This would lead to recommending unnecessary K applications, an economic mistake since the failure to recognize Cl deficiencies can cause a loss of several hundred Kg oil/ha.

F. — Anionic forms.

Three of the 4 major elements, N, K and Mg, are available in chloride or sulfate form. Depending on the case, chlorine deficiency can be corrected by choosing ammonium, potassium or magnesium chloride according to the nature of the deficiencies (N, K, Mg) and this, very economically. C.i.f. costs vary greatly however, depending on customs regulations, but there are countries where the Mg unit for example, imported in the form of chloride is no dearer than in sulfate form.

Conclusion.

Contenting oneself with the results from experimental stations, nutrition is managed in function of general standards, which we have just shown to be eminently variable depending on crop age, the nature of the soil, climate, planting material and consequent potential. The tendency is then to cover the supposed needs very amply without risking either rationing or omission. Naturally, the fertilizers are modulated in function of leaf analysis, but complete N, P, K, Mg manuring is still applied every year, without ever going below the minimum rates assumed to be necessary in all circumstances.

On the contrary, the existence of an experimental network within the plantations themselves means that efficient fertilizers can be differentiated from those whose effect on yield seems weak and uncertain.

Table VII contains a summary of the characteristics of the soils of the different experiments, the results of which were discussed in this communication.

II. — CONTROL OF NUTRITION BY LEAF ANALYSIS AND FERTILIZER PROGRAMMING

A. — Annual inquiries by leaf analysis.

This is the second phase of the method. It is valuable only when accompanied by the experimental phase. It is also indispensable since, however much attention is paid to choosing the site of the experiments, variations in the environment around the reference experiment must be taken into account to optimise rates. Depending on the importance of these variations, a greater or

lesser density of samples is taken; the same trees are used every year to allow interpretation of the evolution in leaf levels in time. In general, on site is retained for 25-100 ha, in the form of a double row (± 50 trees) chosen for their representativity and very clearly marked for easy sampling and controls.

B. — Interpreting the results.

The reference experiment shows that application of an element in the form of fertilizer does indeed lead to an improvement in yield and to an increase in corresponding leaf levels.

The response curve allows calculation of the most profitable rate and indicates the leaf levels to achieve various yield levels, naturally including the optimum one.

It is then sufficient to compare the levels in the plantation plots to those of the experiments and modify the rates in consequence. For example, if application of the optimum experimental rate is expressed in optimum leaf levels, this means of course that the corresponding plantation plot will behave precisely like the one on the experimental site. It will then suffice to continue with the same rate to guarantee that the best possible yield is obtained.

On the contrary, if the effect of this nominal rate is to carry leaf contents above or below optimum levels, then the rate must be reduced or increased in consequence, as the plot in question does not behave like the experimental site, from which it differs by a specifically different native deficiency.

This operation, allowing adjustment of rates to the strictest needs, must be standardized to escape improvisations by agronomists, even though the most experienced ones claim to be subtle artists in the question.

C. — Standardized methods of programming.

Schedules are used which give the rate to be applied in function of the leaf level observed in each plantation plot. These schedules are based on experimental results and are revised yearly to take account of the evolution observed in the experimental network and in leaf analysis controls. For example, the schedules proposed for potassic manuring in the North Sumatra plantations (in kg KCl/tree/year) may be cited.

Depending on whether one is dealing with podzols (East Coast of Sumatra mainly, group I) or alluvial soils (West Coast, group II) :

Leaf levels K p. 100	5-9 years		10-15 years		16-20 years		> 20 years	
	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II	gr. I	gr. II
$\geq 1,20$	0	0	—	—	—	—	—	—
1,10 - 1,19	1,0	0	0	0	—	—	—	—
1,00 - 1,09	1,5	0,5	1,5	0	0	0	—	—
0,90 - 0,99	2,0	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	0	0
0,80 - 0,89	3,0*	1,5	2,5	1,0	2,0	1,0	1,5	0,5
0,70 - 0,79	3,0*	2,0	3,0*	1,5	2,5	1,5	2,0	1,0
$\leq 0,69$	3,0*	2,0	3,0*	2,0	2,5	2,0	2,0	1,5

(*) Split application.

The effect will be to reduce or sometimes to eliminate KCl applications on plantations which used to receive very heavy potassic manuring of about 2.5 kg/tree/year.

Other types of schedules are being studied. They will allow the industrial rate to be calculated on the basis of the rate used the year before, taking the effect of this rate on leaf levels into account.

D. — Organisation and means to be employed.

The methods explained above should be put into practice by specialists able to program and interpret the experiments scientifically and to draw up schedules in consequence (statisticians, agronomists).

An excellent analysis laboratory is required, to be checked by the same specialists so reproducible, dependable results can be obtained.

In other respects, the task of those who use these methods should be simplified by calling on a computer able to store leaf analysis results and fertilizer reports, and to present them in clear, easy-to-use documents.

It is even possible to ask the computer, as does the I.R.H.O., to prepare the decision by calculating rates as they result from application of the schedules.

This mechanical aid saves a lot of time and avoids the many human errors which may occur in reading and transcribing.

CONCLUSION

Methods of plantation mineral nutrition management will already allow very significant fertilizer savings without risking a reduction in yield potential, as they are based on demonstrable experimental results.

These savings will be particularly appreciable in South-East Asia, where heavy complete manuring had generally been applied (up to 8 kg/tree/year) to compensate exports and maintain yield potential without worrying about losses through leaching and fixation at the expense of excess fertilizer. Up to now, this was possible, but it will not be in future: fertilizer prices will have to be taken into account, as they are an increasing burden on operating costs.