

Stratégie de mise en œuvre du contrôle nutritionnel des plantes pérennes

Gestion de la nutrition minérale. Programmation des fumures

R. OCHS (1)

Résumé. — Les techniques mises en œuvre pour le contrôle nutritionnel du palmier à huile en grande culture reposent sur l'association étroite entre l'expérimentation au champ et l'enquête de diagnostic foliaire. Les prélèvements foliaires sont effectués de la même manière et simultanément, chaque année, à la fois sur les parcelles expérimentales et sur les parcelles de plantation, de façon à permettre une comparaison directe des teneurs foliaires, quelles que soient les sources de variation parasites. *L'expérience de référence* située au sein des plantations industrielles doit être programmée et interprétée avec la même rigueur scientifique qu'une expérience de recherche, de façon à donner des résultats incontestables. Les traitements mis en œuvre s'apparentent exactement aux traitements de fertilisation utilisés dans la pratique, si bien que les résultats peuvent être transposés directement. Cette expérience permet d'optimiser les doses d'engrais et de faire correspondre à cet optimum les teneurs minérales ou les équilibres de référence dans la feuille. *L'enquête de diagnostic foliaire* est ensuite utilisée pour adapter les leçons de cette expérimentation à l'ensemble des cultures, en tenant compte des variations de fertilité dans l'espace autour du site expérimental et dans le temps. Il s'agit donc d'une véritable technique de gestion de la nutrition minérale en grande culture, dont la stratégie de mise en œuvre sera décrite en discutant de ses avantages, des ses limites et des améliorations envisagées dans l'avenir.

INTRODUCTION

Si la nutrition minérale d'une plante peut être étudiée dans l'absolu en ayant recours par exemple à l'élevage en solution nutritive de la plante entière, voire de fragments isolés, il n'en est pas de même pour la plante replacée dans son contexte de population naturelle et encore moins de population cultivée. Il faut alors tenir compte des contraintes imposées par le milieu et par les techniques de culture. Il faut également changer d'optique et passer à un grossissement plus faible de façon à éviter, au sens propre du terme, que « l'arbre ne cache la forêt ».

Dans tous les cas, il est cependant nécessaire de faire appel à la même rigueur scientifique, même si l'augmentation du nombre de facteurs incontrôlés oblige l'agronome à recourir encore plus que le biologiste à l'incertitude contrôlée du calcul des probabilités.

Sans exclure à terme l'utilisation de l'analyse organique appliquée à la mise en œuvre de test biologique, c'est évidemment à l'analyse **minérale** qu'il faut avoir recours pour rendre compte de la nutrition **minérale**. Faut-il analyser le sol ou la plante ? Nous ne ferons pas le procès des analyses de sol **qui ont bien d'autres atouts** mais pas celui de se prêter facilement au contrôle de la nutrition en raison des problèmes d'échantillonnage liés à la microhétérogénéité et en raison de l'incertitude des méthodes de dosage des fractions minérales dites assimilables. Il est évidemment préférable *a priori* d'interroger la plante elle-même, bien placée pour rendre compte de ses propres besoins et qui a l'avantage d'intégrer la microhétérogénéité du sol, surtout lorsqu'il s'agit d'un arbre dont le système racinaire occupe un volume de terre important.

En revanche, il n'est pas question dans ce cas d'analyser la plante entière et nous sommes condamnés d'entrée de

jeu à travailler sur une fraction de la plante. Mais cette fraction, quand elle est bien choisie, peut être considérée comme représentative de la plante entière puisqu'il s'agit d'un seul organisme dont les différentes parties s'équilibrent en principe par le jeu des mécanismes d'échanges qu'ils soient actifs ou passifs.

On utilise en général un tissu foliaire siège de l'activité primaire et aussi parce qu'il est plus facile à repérer et à prélever. Pour le palmier à huile, il s'agit d'un échantillon du limbe des folioles centrales de la feuille de rang 17. C'est un tissu assez jeune pour ne pas garder trace d'une situation périmée, assez vieux pour être bien organisé mais encore loin de la sénescence. C'est sur l'analyse de cet échantillon que repose l'essentiel de la méthode de contrôle **mais pas seulement sur elle**.

En effet, l'efficacité de la méthode résulte de l'association étroite entre **la rigueur** de l'expérimentation et **la souplesse** de l'enquête.

Une expérience au champ, programmée et interprétée scientifiquement est établie au sein même des plantations dont elle doit rendre compte, en position aussi représentative que possible de l'ensemble. Elle est destinée à fournir les références de base. Elle est complétée alentour par une enquête annuelle de diagnostic foliaire à raison d'un échantillon par unité de 50 à 100 ha de culture, échantillon prélevé en général sur deux lignes contiguës aussi représentatives que possible de l'unité considérée. Le dispositif de contrôle a été schématisé dans la figure 1.

Les unités de contrôle sont représentées par leur double ligne entre deux pistes de collecte est-ouest. Pour une plantation de 10 000 ha on compte en général 250 échantillons du diagnostic foliaire dont 1/5^e environ pour usage expérimental. Les modalités de prélèvement, d'analyse et d'interprétation des résultats ont été exposées par F. Rognon dans l'ouvrage coordonné par P. Martin-Prevel *et al.* : « L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales » [1984].

(1) Directeur de la Division Agronomie de l'IRHO-CIRAD, B.P. 5035 - 34032 Montpellier Cedex (France).

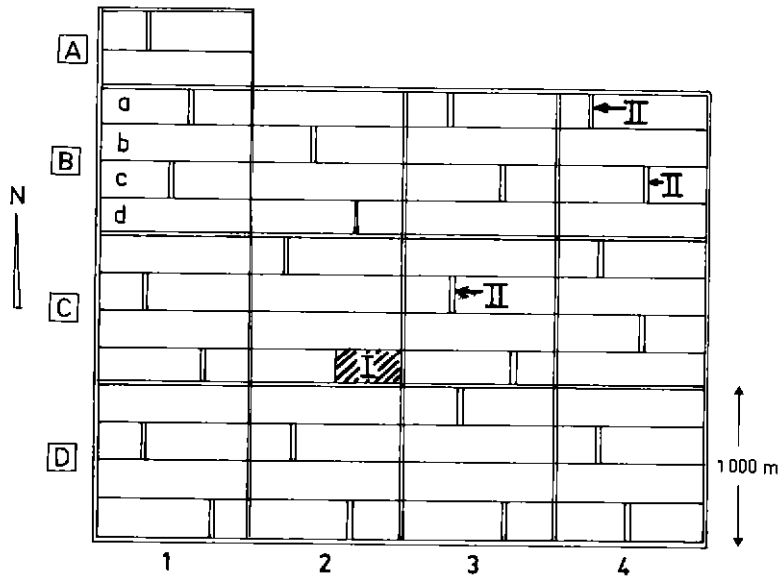


FIG. 1. — Dispositif de contrôle nutritionnel dans une plantation de palmiers à huile (Nutritional control design in an oil palm plantation).

- I. — Site experiment. (Experiment site);
 - II. — Unités de contrôle (Control units): 1/50 ha.
- { 50 échant. exper. (exp. samples),
 200 échant. contrôle (control samples).

I. — L'EXPÉRIENCE DE RÉFÉRENCE

Tous les dispositifs sont utilisables pourvu qu'ils aient force de preuve expérimentale. La nature, le nombre de traitements et les niveaux pour chacun d'eux seront choisis en fonction des connaissances acquises par ailleurs. Si le milieu est encore mal connu, on s'adressera de préférence à des dispositifs très ouverts comme les expériences factorielles 3^3 qui disposent d'un très bon rapport qualité/prix. Elles permettent en effet d'étudier trois facteurs (quatre en subdivision) avec un nombre de parcelles raisonnable. Ces dispositifs ont les défauts de leurs qualités, à savoir des courbes de réponse à 3 points seulement dont l'ajustement mathématique reste très subjectif. Mais il ne faut pas que le souci de perfection stérilise l'entreprise : une solide référence expérimentale, même basée sur seulement deux pentes de réponse, permet déjà d'approcher la dose optimale d'engrais avec une sécurité incomparable.

Si l'un des facteurs domine clairement, on utilisera de préférence des factorielles à 4 niveaux pour le facteur principal, quitte à réduire l'étude des autres facteurs à 3, voire même 2 niveaux seulement.

Ce n'est pas une expérience de recherche ; elle sera donc établie dans un contexte naturel de culture et mettra en jeu des traitements qui s'apparentent à la pratique de la fertilisation de façon que les résultats soient transposables directement et aient éventuellement valeur de démonstration.

La représentativité du site expérimental est évidemment très importante ; mais l'expérience prouve qu'il suffit le plus souvent d'une même roche-mère et d'un même type d'évolution, aboutissant à des colloïdes de même nature, pour garantir la similitude des mécanismes d'absorption et d'assimilation, mais avec des intensités différentes dont le diagnostic foliaire de contrôle pourra rendre compte.

II. — INTERPRÉTATION

L'interprétation consiste à établir les relations de cause à effet entre l'application des traitements et les variations de rendement et de composition minérale de la feuille.

On en rappellera les principes sur un exemple simple de réponse à la fumure potassique obtenue en Côte d'Ivoire sur les sables tertiaires du Sud-Est (Fig. 2, Tabl. I).

TABEAU I. — LM-CP 30 A

Traitements (Treatments)	Teneurs en K (K content) Moyenne 3 ans (Average 3 years) (1981-1983)	Rendement (Yield) Moyenne 3 campagnes (Average 3 campaigns) (1980-1983)
	(P. 100)	(kg R/arbre/an- kg B/tree/yr)
K0	0,561 (57)	95 (78)
K1	0,798** (81)	111** (91)
K2	0,941** (96)	120** (98)
K3	0,980** (100)	122** (100)

** Significatif à (Significant at) P. 0,01.

C'est une factorielle $4 \times 2 \times 2$ (ClK, urée, kiésérite) dans laquelle le chlorure de potassium seul modifie significativement les rendements. Les courbes de réponse du rendement et des teneurs foliaires en potassium ont été figurées sur le même graphique pour autoriser les comparaisons.

On constate d'abord que l'amplitude des variations relatives est deux fois plus grande pour les teneurs que pour les rendements. Cette sensibilité du diagnostic foliaire est évidemment nécessaire pour que la méthode de contrôle soit efficace. On dispose de la même sensibilité pour N et Mg en général. P est quelquefois moins sensible, surtout au voisinage du niveau optimal mais ce défaut est compensé par un excellent pouvoir de résolution dans l'expérience au champ (précision).

Les valeurs de référence, c'est-à-dire les doses et les teneurs foliaires que l'on utilisera pour gérer la nutrition minérale des plantations sont déterminées en fonction des objectifs économiques que l'on s'est fixés par ailleurs. Dans la majorité des cas, il s'agit d'une optimisation financière : la courbe de réponse permet de calculer les plus-values de rendement dont l'augmentation en fonction des doses répond en général à la loi des accroissements moins que proportionnels de Mitscherlich.

La dose optimale correspond à la dose dont le moindre accroissement est juste compensé en valeur par l'augmentation de rendement correspondante. Elle s'établit à 1 600 g

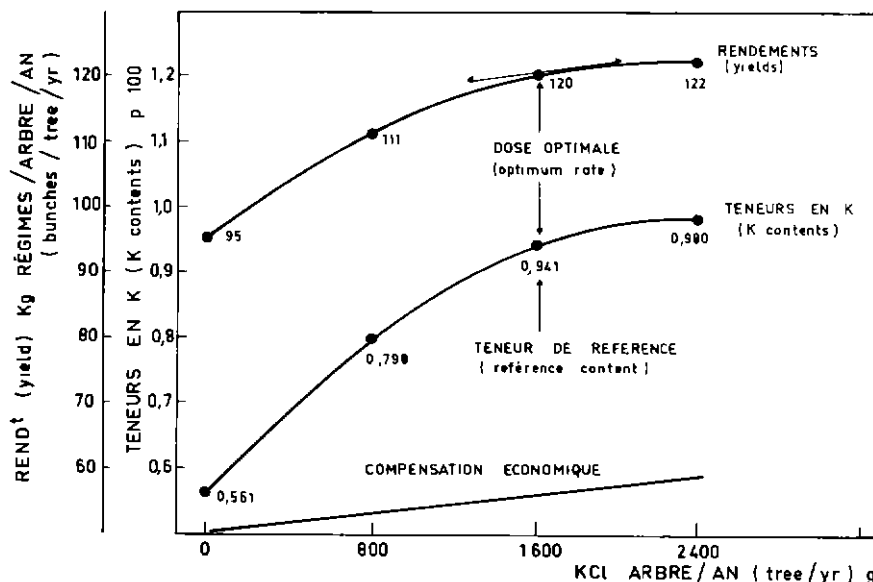


FIG. 2. — LM-CP 30 A Côte d'Ivoire.
Courbe de réponse (Ivory Coast, response curve).

$$R = \frac{\text{Plus-value nette (Net appreciation)}}{\text{Coût d'engrais (Cost of fertilizer)}} = 5,7 \quad 3,2 \quad 0,7 \rightarrow 4,5$$

dans l'exemple du LM-CP 30 A (dose par arbre/an). Nous vous faisons grâce des ajustements mathématiques qui n'apporteraient en l'occurrence qu'une précision illusoire. Remarquons seulement que la pente de la courbe de réponse fluctue suffisamment autour de l'optimum pour que le rapport d'efficacité financière :

$$R = \frac{\text{Plus-value nette}}{\text{Coût de l'engrais}}$$

passse de 3,2 en amont à 0,7 en aval.

L'ensemble de l'opération fumure arrêtée à l'optimum a pour valeur $R = 4,5$. Si les contraintes socio-économiques imposent une limite à la quantité d'engrais utilisable par exemple de moitié, il devient évidemment préférable d'apporter 800 g sur l'ensemble ($R = 5,7$) plutôt que 1600 g sur la moitié des surfaces seulement.

La dose optimale ainsi définie est caractérisée par une teneur foliaire en potassium de 0,95 p. 100.

L'expérience de référence permet donc de calculer la dose optimale et de lui faire correspondre une teneur foliaire-repère que l'on continue d'appeler niveau critique par habitude de langage. Elle permet incidemment de mesurer la sensibilité de cette dernière face à une modification des doses : dans le cas de LM-CP 30 A on saura qu'un rationnement de 800 g se traduit par une chute des teneurs en K d'environ 0,2 p. 100.

Le « niveau critique » ainsi défini est spécifique d'une situation et d'un laboratoire d'analyse. Les teneurs foliaires optimales varient en effet avec l'âge des cultures, le potentiel de production, la nature du sol, etc. Il existe bien entendu des normes générales auxquelles il n'est pas interdit de se référer pourvu qu'elles ne soient pas contredites par l'expérimentation de référence. Le niveau critique de l'azote par exemple régresse fortement avec l'âge. Celui du potassium aussi, mais dans une moindre mesure.

III. — PROBLÈME DES INTERACTIONS

Il faut, bien entendu, faire la distinction entre les interactions des éléments entre eux, nées de synergismes ou d'antagonismes d'absorption, d'équilibres ioniques ou de structure (N/P), et les interactions d'effets sur les rendements qui relèvent de l'action des traitements et qui s'apparentent le plus souvent à la loi du minimum de Liebig [Martin-Prevel *et al.*, 1984, p. 63].

Dans le premier cas, on constate en effet que la variation de teneur d'un élément dans la feuille s'accompagne d'une variation corrélative des autres ou du moins de certains d'entre eux. Dans le LM-CP 30 A par exemple, la correction de la déficience en potassium s'accompagne d'une diminution de teneurs en Ca et surtout en Mg, antagonistes de K (Tabl. II) ; elle entraîne une profonde modification des équilibres ioniques, mais dans le cadre d'une

TABLEAU II. — LM-CP 30 A — Déficience en potassium — Compensation par Ca et Mg (teneurs feuille 17) (Potassium deficiency — compensation through Ca and Mg — contents of leaf 17)

— P. 100 PS (DW) — 1983 —

Expérience (Experiment)	Traitement (Treatment)	K	Ca	Mg	Somme (Total)
LM-CP 30 A	K0	0,513	0,829	0,385	1,727
	K1	0,761**	0,788	0,281*	1,830
	K2	0,945**	0,712*	0,241**	1,898
	K3	0,964**	0,706*	0,243**	1,913

Significatif à (Significant at) : * P. 0,05. — ** P. 0,01. — *** P. 0,001.

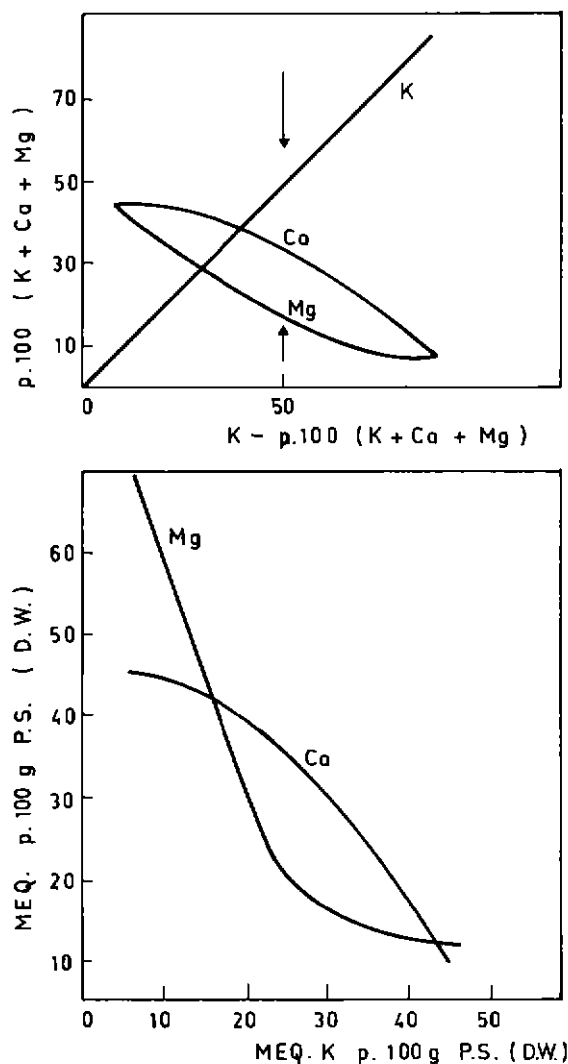


FIG. 3. — Equilibres K, Ca, Mg - palmier à huile, feuille 17 (*Oil palm K, Ca, Mg balance, leaf 17*).
[D'après Prevot et Ollagnier, 1956].

somme pondérale pratiquement constante comme l'avaient signalé Prevot et Ollagnier en 1956 (Fig. 3).

Tout se passe comme si le palmier disposait d'un équilibre nominal entre mono et divalents et que toute déficience en l'un des deux groupes était automatiquement compensée par une augmentation de concentration dans l'autre. Le rendement est corrélé non seulement avec les teneurs en K de manière positive ($r = 0,80^{***}$) mais également de manière négative avec Mg ($r = -0,78^{***}$). Mais cette corrélation disparaît lorsque l'on fixe la variable K ($r = 0,26$ NS). Il n'y a donc aucun intérêt à l'utilisation d'un critère d'équilibre qui n'aurait d'autre effet que de compliquer l'interprétation de l'enquête de diagnostic tout en multipliant les sources d'erreurs. Mais rien n'empêche bien entendu de les utiliser dans les cas où ils permettraient d'obtenir une meilleure discrimination des rendements.

Le phosphore, par contre, pose un problème particulier né de l'existence d'une relation N/P très étroite et très générale (Fig. 4).

La droite d'équation :

$$P \% = 0,0487 N \% + 0,039$$

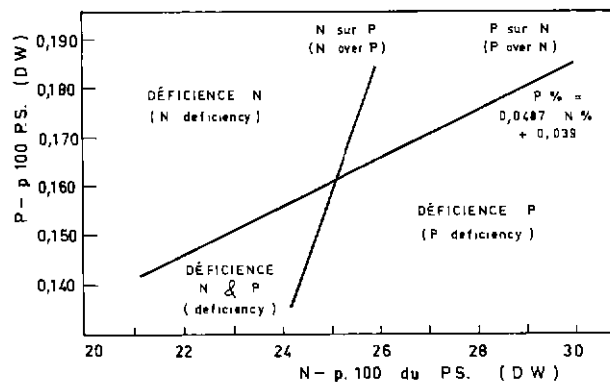


FIG. 4. — Diagnostic foliaire du palmier à huile. — Relations N/P, feuille 17. (*Oil palm leaf analysis, N/P ratio, leaf 17*).

peut être considérée comme le lieu géométrique des teneurs en phosphore optimales en fonction des teneurs en azote. Elle a été vérifiée dans des conditions écologiques aussi différentes que celles du bassin sédimentaire amazonien, des sols volcaniques de Sumatra et des sols sur les granito-gneiss du précambrien d'Afrique de l'Ouest.

Il faut ajouter d'autre part que les teneurs foliaires en azote du palmier à huile peuvent varier naturellement de 2,3 à 3,0 p. 100 selon l'âge et le lieu, même en absence de toute déficience. Une teneur en phosphore de 0,160 p. 100 par exemple peut donc correspondre à un excès face à une teneur en azote de 2,3 p. 100 et, au contraire, à une très forte déficience pour une teneur en azote de 2,8 p. 100.

Même dans les limites d'une région homogène, les variations naturelles des teneurs en azote sont telles qu'il n'est pas possible de porter un jugement de valeur sur les teneurs en phosphore sans intégrer les teneurs en azote correspondantes. C'est pourquoi on a remplacé la notion de niveau critique par celle de droite critique $P = f(N)$ et cela uniquement dans le cas du phosphore.

Les interactions des traitements sur le rendement ne remettent pas ces principes en cause. Il suffit de substituer la notion de surface de réponse à celle de courbe de réponse pour aboutir à la même définition de dose optimale pour chacun des traitements et, par conséquent, aux teneurs de référence correspondantes dans la feuille.

IV. — ORGANISATION ET DÉPOUILLEMENT DE L'ENQUÊTE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

1. — Analyse des échantillons.

Les échantillons du contrôle sont, bien entendu, soumis à l'analyse en même temps et dans le même laboratoire que les échantillons expérimentaux. La justesse du résultat n'a donc pas d'importance primordiale puisque la comparaison entre les deux catégories d'échantillons restera toujours possible quelle que soit l'échelle de lecture du laboratoire considéré.

Il en serait de même pour les variations annuelles (dérive) si l'on se contentait d'un jugement instantané mais elles deviennent extrêmement gênantes dès que l'on s'intéresse aux variations des teneurs induites par les doses appliquées. C'est pourquoi il est indispensable d'introduire, tous les 10 ou 20 échantillons, une même poudre témoin qui servira au contrôle de la reproductibilité.

La précision des mesures peut être évaluée à partir des coefficients de variation de la poudre témoin. Pour le palmier à huile, et au laboratoire du CIRAD à Montpellier par exemple, on obtient les valeurs suivantes (Tabl. III).

TABLEAU III. — Coefficients de variation — résultat individuel
(Coefficients of variation — individual result)

	P. 100
1) Unité de contrôle nutritionnel (Nutritional control unit)	
— Chlore (<i>Chlorine</i>)	0,5 — 1,5
— Azote et phosphore (<i>Nitrogen and phosphorus</i>)	1,5 — 3,0
— Calcium et magnésium	2,0 — 4,0
— Potassium	3,0 — 5,0
— Soufre et bore (<i>Sulphur and boron</i>)	6,0 — 10,0
2) Parcelles expérimentales (<i>Experimental plots</i>)	
— Azote et phosphore (<i>Nitrogen and phosphorus</i>)	2,0 — 3,0
— K, Ca, Mg	7,0 — 10,0
— Production kg de régimes (<i>Production in kg of bunches</i>)	10 — 15

Elles se comparent bien entendu avantageusement avec celles de l'expérimentation qui sont soumises à la variabilité du milieu, mais les niveaux critiques qui en résulteront bénéficieront de l'effet de moyenne alors que l'échantillon de contrôle nutritionnel évolue seul avec un intervalle de confiance de l'ordre de :

- 3 p. 100 pour le chlore,
- 5 p. 100 pour N et P,
- 10 p. 100 pour K et Mg.

Il faudra s'en souvenir au niveau de l'interprétation agronomique.

Pour dépister les erreurs accidentelles (inversion d'échantillons, saute d'humeur des appareils de lecture) on utilise en routine des méthodes de contrôle basées sur les corrélations entre éléments ou entre années successives. Les résultats hors dispersion sont suspectés et remis à l'analyse.

2. — Exploitation des résultats.

Le très grand nombre de données à manipuler invite à l'utilisation du support informatique dès le laboratoire d'analyses : saisie directe des lectures ou au moins calculs des résultats sur support magnétique pour limiter toute erreur de transcription. Les données sont ensuite contrôlées par corrélation multiple, confirmées ou modifiées, mises en mémoire et restituées sous forme d'un document synthétique qui porte en général, face aux identificateurs :

- les teneurs foliaires des 3 dernières années de façon à pouvoir tirer parti de l'évolution ;
- les fumures appliquées, indiquées en regard sur les deux premières lignes, la 3^e étant réservée à l'inscription de la dose proposée pour l'année suivante ;
- d'autres indications connexes comme le rendement, le type de sol, le passé cultural, etc.
- la moyenne des teneurs par groupe d'unités de contrôle apparentées (même âge, même situation, etc).

L'examen des résultats commence par les moyennes des groupes ainsi constitués et se traduit par des propositions de fumure à l'échelle du groupe pour :

- bénéficier de l'effet de moyenne,
- simplifier l'exécution pratique de l'ordonnance.

Le dépouillement se poursuit par l'examen des résultats individuels pour déceler l'existence éventuelle d'unités qui ne feraient pas partie de la même population et qui seraient donc traitées spécifiquement.

3. — Calendrier.

Nous ne reviendront pas sur les modalités de mise en œuvre qui n'ont pas d'intérêt stratégique mais sur le calendrier des opérations qui a son importance en prenant l'exemple de la Province du Lampung en Indonésie (Fig. 5).

Les fumures de l'ordre de 5 kg/arbre (750 kg/ha) sont épandues en 2 applications annuelles :

- avril-mai-juin,
- octobre-novembre-décembre.

Les prélèvements effectués en mars 1984 ont été analysés par le laboratoire de Marihat (1) et les résultats communiqués en juillet. Ces résultats sont utilisés pour :

- établir le programme de fumure définitif de 1984.

Les applications déjà faites à ce titre pendant le 1^{er} semestre seront déduites et le reliquat sera appliqué au 2^e semestre ;

— établir un projet de fumure pour 1985 qui pourra être identique à celui de 1984, sauf si l'analyse des tendances de la nutrition peut permettre de prévoir une évolution dans un sens ou dans l'autre. Prévoir l'épandage d'une demi-dose simplifiée pour 1985/1 ;

— établir un projet 1986 pour les besoins d'appel d'offres internationaux.

Il s'agit en principe de s'organiser pour raccourcir au maximum le délai entre l'information et la décision, en tenant compte des contraintes d'approvisionnement.

V. — INTERPRÉTATION DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE DE CONTRÔLE - PROGRAMMATION DES FUMURES

Elle consiste bien entendu à passer des teneurs foliaires aux doses d'engrais en s'appuyant sur les résultats expérimentaux de référence. Nous prendrons l'exemple du potassium qui fait presque toujours partie des fumures en raison de l'importance des exportations correspondantes et de la pauvreté des sols ferrallitiques désaturés.

Plusieurs systèmes sont en cours d'utilisation et d'autres systèmes sont à l'étude. Nous les examinerons successivement en discutant de leurs mérites respectifs.

1. — Barème simple (Tabl. IV).

Il comporte en général une échelle de 5 doses, fonctions des teneurs foliaires. La plus petite différence significative, qu'il s'agisse de l'expérience de référence ou de l'échantillon de contrôle, s'élève à environ 10 p. 100. On choisira donc un intervalle de décision conforme (0,1 p. 100) de K).

Dans l'intervalle 0,9 — 1,0 p. 100 qui encadre le niveau critique (0,95 Référence LM-CP 30 A) on apportera la dose optimale telle qu'elle résulte de l'interprétation expérimentale, en l'occurrence 1 600 g/arbre/an car, si les teneurs d'une unité de contrôle restent au voisinage de 0,95 p. 100 avec une dose annuelle constante de 1 600 g, cela signifie

(1) PPM : Centre de recherche du palmier à huile de Marihat Nord-Sumatra (Indonésie).

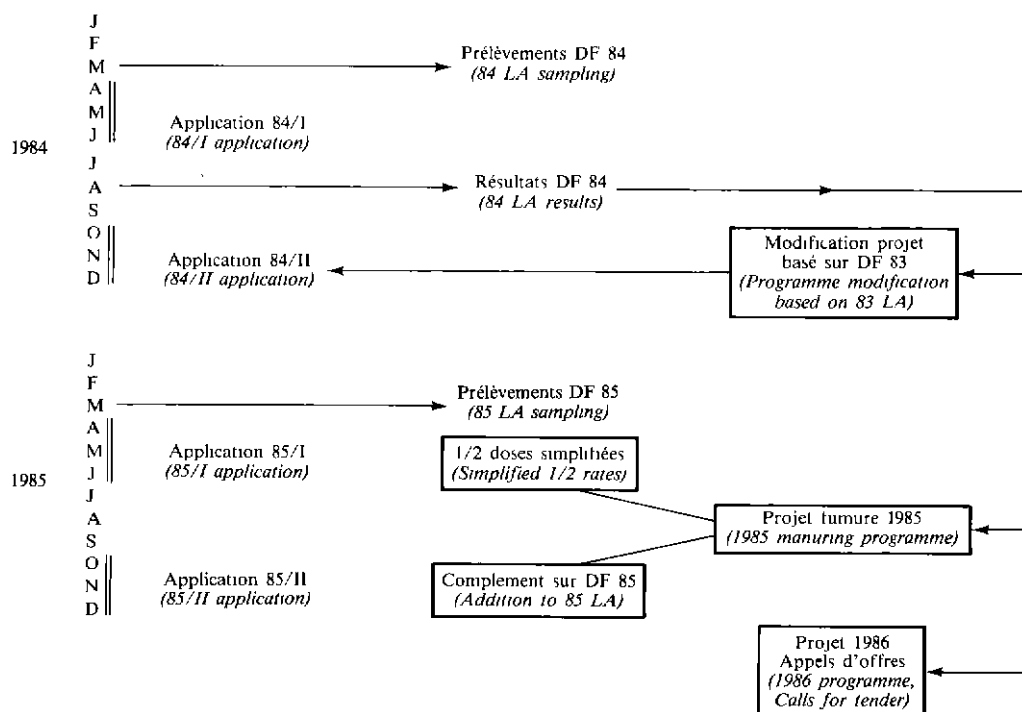


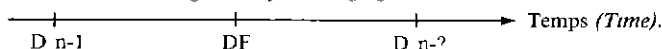
FIG. 5. — Contrôle nutritionnel palmier à huile — Calendrier PTP X Lampung (Indonésie) (Oil palm nutritional control — PTP X Lampung Indonesia shedule)

TABLEAU IV

Barème simple (Single schedule)

Teneurs foliaires (Leaf contents) K p. 100 PS (DW)	Doses de KCl (KCl rates) g/arbre/an (/tree/yr)
Niveau critique (Critical level)	Arrêt fumure (Halt manuring) 0
	1,10 Soutien (Back up) 1 200
	1,00 Dose de référence (Reference rate) 1 600
	0,95
	0,90
0,80	Déficiência 1 } 2 000
	(Deficiency) 2 } 2 400

Barème autoconvergent (Self converging schedule)



Teneurs foliaires (Leaf contents) K p. 100 PS (DW)	Doses de KCl (KCl rates) g/arbre/an (/tree/yr)	
Niveau critique (Critical level)	1,10 Dn = Dn-1 - 800	
	1,00 Dn = Dn-1 - 400	
	0,90 Dn = Dn-1	
	0,80	Dn = Dn-1 + 400
		Dn = Dn-1 + 800

que le site de contrôle se comporte exactement comme le site expérimental et que la dose optimale de l'expérience permet donc d'atteindre l'optimum économique dans la parcelle de plantation correspondante.

Si les teneurs chutent en dessous de 0,9 p. 100, c'est que la dose de référence devient insuffisante suite à une légère différence de comportement du site de contrôle considéré. Dans ce cas la dose de l'année suivante est portée à 2 000 g : + 400 g, capable de corriger rapidement une différence de 0,1 p. 100 de K (Référence LM-CP 30 A).

En dessous de 0,8 p. 100 la dose est portée à 2 400 g.

Si, au contraire, les teneurs s'élèvent au-dessus de 1,0 p. 100, la dose de référence est légèrement trop élevée et sera réduite de 400 g. Si néanmoins les teneurs franchissent la barre des 1,1 p. 100, elles seront considérées comme excessives et la fumure sera interrompue pendant un an.

Ce système a l'avantage d'être simple et de s'inscrire exactement dans la trame des résultats expérimentaux. Il a le défaut de se traduire quelquefois par des oscillations périodiques entre, par exemple, la zone d'excès avec retour à la case départ tous les 2 ans ou, inversement, si le site de contrôle en question diffère du site expérimental d'une valeur permanente voisine de l'intervalle des doses retenu.

2. — Barèmes autoconvergents (Tabl. IV).

Ils sont conçus pour faire converger les doses vers la dose qui, pour un site de contrôle donné, permet de maintenir le niveau critique de référence en permanence. Cette dose pouvant être notablement différente de la dose optimale du site expérimental de référence.

Ils consistent à modifier la dose appliquée l'année précédente :

— en l'augmentant si elle s'est avérée insuffisante,

— en la réduisant dans le cas contraire jusqu'à ce qu'elle permette aux teneurs de se maintenir en permanence au voisinage du niveau critique.

Avec, pour inconvénient majeur, le fait que la dose optimale s'autodétermine indépendamment de l'expérience de référence. Si la dose finale en différait notablement, il faudrait soupçonner les sites correspondants d'appartenir à un autre système de réponse justifiant la mise en place d'une autre expérience de référence.

3. — Modélisation.

Les barèmes précédents ne font appel qu'à la dernière teneur observée, alors qu'il doit être possible d'exploiter l'évolution des teneurs en fonction de la dose appliquée l'année précédente pour en déduire la dose qui permettrait d'atteindre le niveau critique l'année suivante **sans tâtonnements**. Pour cela il faut modifier la dose précédente D_{n-1} en fonction de l'écart qu'elle a provoqué : $(K_{n-1} - K_n)$ et de l'écart qui reste à combler pour atteindre le niveau critique : $(NC - K_n)$. Le modèle linéaire le plus simple s'écrit de la manière suivante :

$$D_n = D_{n-1} + A(K_{n-1} - K_n) + B(NC - K_n)$$

Il faut, par exemple, augmenter la dose D_{n-1} parce qu'elle n'est pas capable de faire progresser les teneurs suffisamment (1^{er} terme) ou (et) parce qu'elle n'a pas été capable d'accéder au niveau critique (2^e terme).

On montrera par la suite que cette formulation mathématique simpliste dispose en fait de quelque fondement biologique.

4. — Approche quantitative.

La fixation des teneurs foliaires résulte en quelque sorte d'un simple problème de dilution. La quantité de potassium absorbée par les racines se répartit dans une masse de matières végétales. Cette dilution ne relève évidemment pas, ou pas seulement, d'un phénomène physique qui aboutirait à une simple égalisation des concentrations dans l'ensemble des tissus car ces tissus ont chacun spécifiquement une affinité particulière pour le potassium. On peut néanmoins supposer que la concentration en potassium de l'échantillon foliaire représente à un facteur près la concentration moyenne de l'ensemble, ou du moins des tissus dans lesquels les concentrations en potassium sont capables de s'équilibrer dans un délai relativement court.

Soit « P » cette masse de matière végétale dans laquelle le potassium est capable de diffuser rapidement pour atteindre un équilibre de concentration C_n au temps n . « P » échange du potassium avec le reste de la plante « R » mais les équilibres, plus longs à s'établir, seront considérés comme négligeables à l'échelle du temps qui sépare deux diagnostics successifs.

Entre ces deux diagnostics, effectués aux temps $(n-1)$ et n , P reçoit l'appoint dP sous forme de carbohydrates déminéralisés en provenance de l'appareil photosynthétique. Dans ces conditions, la quantité A_{n-1}^n de potassium absorbée par les racines dans l'intervalle $(n-1) - (n)$ aura pour effet :

- de minéraliser la masse de carbohydrates dP pour une part égale à dPC_n ;
- de modifier la concentration en potassium dans la masse P préexistante pour une seconde part égale à $P(C_n - C_{n-1})$. On peut donc écrire que l'absorption entre t_{n-1} et t_n est égale à :

$$A_{n-1}^n = dPC_n + P(C_n - C_{n-1}) = (P + dP) C_n - PC_{n-1}. \quad (1)$$

S'il est souhaité que la concentration s'établisse l'année suivante, $t_{(n+1)}$ à équivalence du niveau critique C_{NC} , il suffira que l'absorption soit égale à :

$$A_n^{n+1} = dPC_{NC} + P(C_{NC} - C_n) = (P + dP) C_{NC} - PC_n. \quad (2)$$

En faisant la soustraction des deux équations précédentes : (2)-(1)

$$A_n^{n+1} = A_{n-1}^n + (P + dP)(C_{NC} - C_n) + P(C_{n-1} - C_n)$$

on retrouve une équation très voisine du modèle linéaire envisagé précédemment sauf qu'il s'agit d'absorptions et non de doses et de concentrations dans P au lieu de concentrations dans l'échantillon de diagnostic.

Les coefficients A et B du modèle mathématique s'identifieraient donc, à quelques facteurs près, aux masses de matière végétale P et $P + dP$.

En première analyse [Ochs et Olivin, 1976], il semblerait que P corresponde à la masse foliaire de l'arbre.

Les recherches se poursuivent dans ce domaine mais il faut bien admettre que cette approche séduisante exigera une excellente maîtrise de la reproductibilité des mesures pour avoir quelque chance d'aboutir dans la pratique courante.

CONCLUSION

La plupart des critiques sur le diagnostic foliaire et, en particulier celui du palmier à huile, sont motivées par l'existence de variations considérables du niveau optimal avec l'environnement et avec les concentrations de autres éléments dans la feuille [Bolle-Jones, 1975 ; Corley, 1976 ; Foster, 1981]. Elles sont parfaitement justifiées dans le cas où l'on souhaite en faire l'arbitre absolu des besoins internes de la plante qui, eux-mêmes, varient avec le génotype, l'âge et le stade, les conditions extérieures et les phénomènes d'interaction [P. Martin-Prevel *et al.*, 1984, p. 27 et p. 180].

Beaucoup d'erreurs d'interprétation ont en effet été commises ou sont encore commises au nom d'une conception sacrée d'un niveau critique universel.

On reproche quelquefois au diagnostic foliaire d'être incapable de prévoir les doses de fertilisants nécessaires à la correction d'une déficience, ce qui est évidemment vrai, ne serait-ce qu'en raison de l'intervention du sol sur le coefficient d'utilisation des engrais.

Toutes les critiques de cette nature deviennent sans objet lorsque le diagnostic foliaire est associé à l'expérimentation de référence car il n'a pas d'autre ambition que d'aligner les teneurs des cultures sur celles de la meilleure combinaison expérimentale. L'efficacité du système dépend alors plutôt de la capacité de l'expérience à rendre compte de l'effet des traitements et du pouvoir discriminant des analyses foliaires correspondantes [Green, 1976].

Quant à parvenir à un diagnostic non seulement des besoins en engrais mais aussi du rendement des cultures [Bolle-Jones, 1975], c'est un objectif difficile qui relève de la recherche et qui ne doit pas être confondu avec l'objectif de contrôle au risque de devenir inefficace et confus.

Le système de contrôle ainsi mis en œuvre permet d'aboutir à une véritable gestion de la nutrition minérale des plantations en apportant les engrais nécessaires en quantité juste suffisante à chaque instant [Ollagnier, Ochs, 1981]. Les charges supplémentaires qu'il entraîne sont très faibles face aux plus-values de rendement ou aux économies d'engrais qu'il permet d'obtenir. Il suffit d'une économie d'environ 10 kg d'engrais par ha/an (sur 600 kg) pour rembourser très largement tous les frais du contrôle, ou encore d'une plus-value de quelque 20 kg de régimes (sur 20 000 kg).

Le système de contrôle ne permet évidemment pas, à lui seul, d'optimiser la production tous azimuts, ni de garantir la conservation des sols et du potentiel à très long terme.

Ce sont des problèmes qui relèvent d'une autre approche et d'une autre responsabilité. Il est capable en tous cas, et toutes choses égales par ailleurs, d'optimiser la nutrition minérale de la plante **sur les bases incontestables de la rigueur expérimentale.**

La fertilisation peut être considérée en général comme un des facteurs essentiels d'amélioration et de développement de la production agricole, surtout en milieu tropical où elle est encore sous-utilisée. Mais il n'est plus raisonnable à notre époque, qui assiste à l'augmentation rapide du coût de l'énergie et des matières premières, de pécher par excès, plus encore dans les pays en voie de développement où les engrais sont souvent importés à grands frais.

BIBLIOGRAPHIE

- BOLLE-JONES E W (1975). — Limitations of foliar diagnosis with special reference to the oil palm. *Trop. Agric. Trin*, 32, N° 1, p. 11-19.
- CHAPMAN G. W., GRAY H. M. (1949). — Leaf analysis and the nutrition of the oil palm. *Ann Bot*, 13, N° 52, p. 415-433.
- CORLEY R. H. V. (1976). — Physiological aspects of nutrition. In *Oil Palm Research* Elsevier Sci. Publish. Cy, Amsterdam, Netherl., p. 157-163.
- FOSTER H. L. (1981). — The determination of oil palm fertilizer requirements in Peninsular Malaysia. Part 1: Monitoring nutrient status *PORIM Bull*, N° 3, p. 6-12.
- GREEN A H. (1976). — Field experiments as a guide to fertilizer practice. In: *Oil Palm Research*, Elsevier Sci. Publish Cy, Amsterdam, Netherl., p. 235-261.
- MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P (1984) —
- L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales* Ed. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, Fr., 810 pp.
- OCHS R, OLIVIN J (1976) — Research on mineral nutrition by the IRHO In: *Oil Palm Research*, Elsevier Sc. Publish. Cy, Amsterdam, Netherl., p. 183-213
- OLLAGNIER M, OCHS R. (1981) — Gestion de la nutrition minérale des plantations industrielles de palmiers à huile. Economies d'engrais (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 36, N° 8-9, p. 409-421.
- PREVOT P., OLLAGNIER M. (1957) — Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. *Plant Analysis and Fertilizer Problems*. IRHO, Paris, Fr., p. 177-192.
- ROGNON F (1984) — Palmer à huile. In: *L'analyse dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales* Ed. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, Fr., p. 426-446

SUMMARY

Strategy for implementing tree crop nutrient control. Mineral nutrition management — manure application programming.

R. OCHS, *Oléagineux*, 1985, 40, N° 12, p. 583-594.

The techniques used for controlling the nutrient level of commercially cultivated oil palms are based on the close association between field experiments and leaf analysis. Leaf samples are taken in the same way and simultaneously, each year, both from experimental plots and from plantation plots; in this way, a direct comparison can be made of leaf levels, whatever the sources of incidental variations. The reference experiment located at the heart of the commercial plantations must be programmed and interpreted with the same scientific rigour as a research experiment, so as to supply unchallengeable results. The treatments used correspond exactly to the fertilization treatments used in practice, such that the results can be directly transposed. This experiment makes it possible to optimize fertilizer rates and ensure that mineral contents or reference balances in the leaf correspond to this optimum. Leaf analysis is then used to adapt the lessons drawn from this experiment to all the crops, taking into account the variations in fertility in the space around the experiment site and as time goes by. This, then, involves a veritable mineral nutrition management technique for commercially cultivated crops; the strategy for implementing this technique will be described, discussing its advantages, its limits and improvements expected in the future.

RESUMEN

Estrategia para establecer el control de la nutrición mineral de las plantas perennes. Gestión de la nutrición mineral. Planeación de las fertilizaciones.

R. OCHS, *Oléagineux*, 1985, 40, N° 12, p. 583-594.

Las técnicas establecidas para el control de la nutrición de la palma africana en los cultivos en gran escala se basan en la asociación estrecha entre la experimentación de campo y la investigación de diagnóstico foliar. Las tomas de muestras foliares se realizan del mismo modo y al mismo tiempo, cada año, tanto en las parcelas experimentales como en las parcelas de siembra, de modo a permitir una comparación directa de los contenidos foliares, cualesquiera que sean las fuentes de variación parásitas. El experimento de referencia que se ubica dentro de las plantaciones industriales debe planearse e interpretarse con el mismo rigor científico que un experimento de investigación, de tal modo que los resultados no puedan discutirse. Los tratamientos que se establecieron se parecen mucho a los tratamientos de fertilización empleados en el campo, de tal modo que los resultados pueden trasladarse directamente. Este experimento permite optimizar las dosis de fertilizantes, haciendo que los contenidos de elementos minerales o los equilibrios de referencia en la hoja correspondan a este óptimo. Luego se utiliza la investigación de diagnóstico foliar para adaptar las enseñanzas sacadas de esta experimentación al conjunto de los cultivos, considerándose las variaciones de fertilidad en el espacio ubicado alrededor del lugar de la experimentación y en el tiempo. Se trata de una verdadera técnica de gestión de la nutrición mineral en los cultivos en gran escala, describiéndose la estrategia empleada para establecerla y discutiéndose las ventajas de ésta, como también los límites y las mejoras consideradas para el futuro.

Strategy for implementing tree crop nutrient control

Mineral nutrition management. Manure application programming

R. OCHS (1)

INTRODUCTION

Although the mineral nutrition of a plant can be studied in absolute terms by, for example, growing either the entire plant or an isolated fragment in a nutrient solution, this is not the case for a plant set back in the context of its natural population and even less so in the case of a cultivated population. It is therefore necessary to bear in mind the constraints imposed by the environment and by crop techniques. It is also necessary to alter one's perspective and switch, so to speak, to a lower magnification, so as to prevent a situation where « one cannot see the wood for the trees ».

It is, however, necessary in all cases to apply the same scientific rigour, even if the increase in the number of uncontrolled factors obliges the agronomist to resort even more than the biologist to the controlled uncertainty of calculating probability.

Without going so far as to exclude, in the long run, the use of organic analysis, used in biological testing, it is obviously **mineral** analysis which has to be employed to ascertain **mineral** nutrition. Does this mean analysing the soil or the plant? We shall not proceed here with the judgement of soil analyses, **which have many assets**, though not that of lending themselves easily to nutrient control, due to sampling problems linked to micro-heterogeneity and to the uncertainty of the methods used for quantifying the so-called assimilable mineral fractions. It is obviously preferable *a priori* to investigate the plant itself, which is well placed for ascertaining its own requirements and which offers the advantage of integrating the micro-heterogeneity of the soil, especially when this involves a tree whose root system occupies a considerable volume of soil.

On the other hand, there is no question in this case of analysing the entire plant and, from the outset, we are obliged to work on a fraction of it. Nonetheless, this fraction, when well chosen, can be considered representative of the complete plant, since we are dealing with a single organism whose different parts are evenly balanced, in principle, through exchange mechanisms, whether these be active or passive.

Generally speaking leaf tissue is used, as this is the centre of primary activity and also because it is easier to identify and sample. In the case of the oil palm, it consists of a sample of the lamina from the central leaflets of leaf No. 17. This tissue is old enough to be well organized, but young enough to be far from approaching senescence. The essence of the control method is based on the **analysis** of such a sample, **though not exclusively**.

In effect, the efficiency of the method results from the close association between the **rigour** of the experiment and the **flexibility** of the leaf analysis.

A programmed and scientifically interpreted field experiment is set up at the very heart of the plantation which it is to account for, at a location which is as representative as possible of the whole group of plantations. Its aim is to provide the basic references. It is completed round about by an annual leaf analysis at a rate of one sample per unit of 50 to 100 ha of crops; the sample is usually taken from two adjacent rows as representative as possible of the unit under consideration. A diagram of the control design is given in figure 1.

The control units are indicated by their double line between two East-West collection tracks. For a plantation of 10,000 ha there are usually 250 leaf analysis samples, approximately a fifth of which are for experimental use. The sampling, analysis and result interpretation methods have been outlined by Rognon in the work coordinated by Martin-Prevel *et al.* « L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales » [1984].

I. — REFERENCE EXPERIMENT

All experimental designs can be used providing they are able to give a proof. The type and number of treatments and the levels for each of them will be chosen in accordance with knowledge acquired from elsewhere. If the environment is still little known, very open designs will preferably be used, such as 3^3 factorial experiments, which have a very good quality/price ratio. In effect, they enable three factors to be studied (four with subdivision) using a reasonable number of plots. The designs have their qualities and their failings, namely response curves with 3 points only, whose mathematical adjustment remains highly subjective. Nonetheless, the desire for perfection must not be allowed to paralyze the undertaking: a solid experimental reference, even based on only two response slopes makes it possible to approach the optimal fertilizer rate with incomparable sureness.

If one of the factors clearly dominates, factorial experiments with 4 levels will preferably be employed for the main factor, even though this entails reducing the study of the other factors to 3 or even 2 levels only.

This is not a research experiment: it will therefore be set up in a natural cultivation context and will bring into play treatments which are the same as those used in actual fertilization, so that the results can be directly transposed and, where possible, have a demonstration value.

The representativeness of the experimental site is obviously very important, but experience has shown that the same bed-rock and a similar type of evolution resulting in colloids of the same type is sufficient to guarantee the similarity of uptake and assimilation mechanisms, though with different intensities which can be brought out through the control leaf analysis.

II. — INTERPRETATION

Interpretation consists in establishing the relation between cause and effect between the application of treatments and the variations in yield and in the mineral composition of the leaf.

The principles can be recalled through a simple example of the response to potassium fertilizer obtained in the Ivory Coast on the tertiary sands of the South-east (Fig. 2 and Table I).

This is a $4 \times 2 \times 2$ (KCl, urea, Kieserite) factorial experiment in which only the potassium chloride significantly altered yield. The yield response curves and leaf potassium levels have been placed on the same graph to enable comparison.

The first thing that can be seen is that the amplitude of relative variations is twice as great for mineral contents as for yield. This leaf analysis **sensitivity** is obviously necessary for the control method to be effective. The same sensitivity occurs for N and Mg in general. P is sometimes less sensitive, especially when close to the optimum level, through this failing is compensated for by an excellent resolution capacity in the field experiment (accuracy).

The **reference values**, i.e. the rates and leaf levels which will be used for managing the mineral nutrition of plantations are determined according to economic objectives which are decided elsewhere. In the majority of cases, it is a question of financial optimization: the response curve makes it possible to calculate the appreciation in yield whose fertilizer rate related increase generally satisfies Mitscherlich's law of less than proportional increases.

The optimum rate corresponds to the rate whose slightest increase is just compensated in value by the corresponding increase in yield. In the example of LM-CP 30 A it amounts to 1,600 g (rate per tree per year). We spare you the mathematical adjustments which, in this case, would give only illusory accuracy. Note only that the gradient of the response curve fluctuates sufficiently about the optimum for the financial efficiency ratio:

(1) Director, Agronomy Division, IRHO-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

$$R = \frac{\text{Net appreciation}}{\text{Cost of fertilizer}}$$

to pass from 3.2 before to 0.7 after.

The entire manuring operation registered at optimum has a value of $R = 4.5$. If socio-economic constraints impose a limit to the quantity of fertilizer which can be used, e.g. half, it obviously becomes preferable to apply 800 g to the entire planted area ($R = 5.7$) rather than 1,600 g to half the area only. The optimum rate thus defined is characterized by a potassium leaf content of 0.95 p. 100.

The reference experiment therefore makes it possible to calculate the optimum rate and make it correspond to a reference leaf content which continues to be called the critical level, out of habit. Incidentally, it also makes it possible to measure the sensitivity of leaf content when faced with modified fertilizer rates: in the case of LM-CP 30A, it will be known that rationing to 800 g results in a drop in leaf K content by approximately 0.2 p. 100.

The « critical level » thus defined is specific to a given situation and a given analysis laboratory. Optimal leaf contents vary with the age of the crops, production potential, soil type, etc. Of course, general standards exist to which it is not forbidden to refer, provided they are not contradicted by the reference experiment. The critical N level, for example, regresses considerably with age, likewise for K, though to a lesser extent.

III. — PROBLEM OF INTERACTION

It is obvious that a distinction must be made between the interaction of elements with each brought about by take-up synergism or antagonism, ionic balance or structure (N/P) and the interaction of effects on yield which result from the action of treatments and which, more often than not, fall in with Liebig's law of the minimum [Martin-Prevel *et al.*, 1948, p. 63].

In the first case, it is indeed observed that the variation in leaf content of a given element is accompanied by a correlative variation of the others, or at least of certain others. In LM-CP 30A, for example, the correction in potassium deficiencies is accompanied by a reduction in Ca and especially in Mg contents, which are K antagonists (Table II); this correction brings about a profound change in ionic balances, though within a practically constant weight-related sum, as indicated by Prévot and Ollagnier in 1956 (Fig. 3).

Everything takes place as though the oil palm had a nominal balance between mono and divalents and that any deficiency in one of the two groups was automatically compensated for by an increase in the concentration of the other group. Yield is correlated not only with K contents positively ($r = 0.8^{***}$), but also with Mg negatively ($r = -0.78^{***}$). However, this correlation disappears when the K variable is fixed ($r = 0.26$ NS). It is therefore not worthwhile using a balance criterion whose only effect is to complicate the interpretation of leaf analysis, whilst multiplying the sources of error. But, of course, nothing prevents their use in cases where they would make it possible to obtain better discrimination of yields.

Phosphorus, however, poses a particular problem brought about through the existence of a very close and very general N/P relationship (Fig. 4).

The curve of the equation:

$$P \% = 0.0487 N \% + 0.039$$

can be considered as the geometrical position of optimal phosphorus content with respect to N content. It has been confirmed under ecological conditions as diverse as those of the sedimentary basin of the Amazon, the volcanic soils of Sumatra and the pre-cambrian granito-gneiss soils of Western Africa.

Further, it should be added that oil palm leaf N contents can vary naturally from 2.3 p. 100 to 3.0 p. 100 depending on the age and the place, even in the absence of any deficiency. Hence, a phosphorus content of 0.160 p. 100 for example, can correspond to an excess with respect to an N content of 2.3 p. 100 and, conversely, to a very serious deficiency for an N content of 2.8 p. 100.

Even within the confines of a homogeneous region, the natural variations in N content are such that it is not possible to make a value judgement for phosphorus contents without integrating corresponding N contents. This is why the critical level concept has been replaced by that of the critical line $P = f(N)$, though uniquely in the case of phosphorus.

The interaction of treatments on yield does not throw these

principles into question. It suffices to substitute the idea of the response curve by that of the response area to arrive at the same definition of the optimum rate for each of the treatments and consequently at the corresponding reference leaf contents.

IV. — ORGANIZATION AND INTERPRETATION OF LEAF ANALYSIS

1. — Sample analysis.

Control samples undergo analysis at the same time and in the same laboratory as the experiment samples. The accuracy of the result is therefore not of prime importance, since the comparison between the two categories of samples will always remain possible whatever the measuring scale used by the laboratory concerned.

It would be likewise for annual variations (drift) if an instantaneous judgement were acceptable, but they become extremely troublesome as soon as we become interested in content induced by the fertilizer rates applied. Hence, it is indispensable to introduce, every 10 to 20 samples, a same control powder, which will serve as a reproducibility control.

The accuracy of measurements can be assessed from the coefficients of variation of the powder. For the oil palm at the CIRAD laboratory in Montpellier, for example, the following values are obtained (Table III).

Of course, they compare favorably with those of the experiment which are subject to the variability of the environment, but the resulting critical levels will benefit from the average effect, whereas only the nutrient control sample evolves with a confidence interval of approximately:

- 3 p. 100 for Cl,
- 5 p. 100 for N and P,
- 10 p. 100 for K and Mg.

This must be remembered when the time comes for agronomical interpretation.

In order to detect accidental error (sample inversion, measuring equipment hiccoughs) methods of checking are usually used, based on correlations between elements or between successive years. Results falling outside the usual distribution are considered suspect and re-analyzed.

2. — Exploitation of results.

The considerable amount of data to be handled calls for the use of data processing right from the laboratory analysis phase: direct acquisition of readings or at least the calculation of results on a magnetic recording medium to limit the possibility of transcription errors. The data are then checked for multiple correlation, confirmed or modified, then stored in the memory and retrieved in the form of a synthetic document which normally has opposite the identifier:

- leaf contents of the previous 3 years to give an idea of evolution;
- the fertilizer applications are indicated opposite on the first two lines, the 3rd line being reserved for insertion of the rate proposed for the following year;
- other connected indications, such as yield, soil type, crop history, etc.;
- average contents per group of similar control units (same age, same situation, etc.).

Examination of results begins by the averages of the groups made up in the same way and leads to manuring proposals at group level to:

- take advantage of the average effect,
- simplify the practical execution of the recommendation.

Analysis continues with the examination of individual results to reveal the possible existence of units not part of the same population which would therefore be treated separately.

3. — Schedule.

We shall not reconsider here the methods of implementation which have no strategic importance, but shall go on to consider the schedule of operations, which has its importance, taking the example of Lampung Province in Indonesia (Fig. 5).

The fertilizers at a rate of 5 kg/tree (750 kg/ha) are spread in two annual applications:

- April-May-June,
- October-November-December.

The samples taken in March 1984 were analyzed by the Marhat laboratory (1) and results were announced in July. These results are used for :

- establishing the final manuring programme for 1984. Applications already made during the first half will be deducted and the remainder will be applied in the second half ;
- drawing up a draft manuring programme for 1985, which might be identical to that for 1984, unless the analysis of nutrient tendencies reveals the likelihood of evolution in one direction or another. Allow for spreading of simplified half-rate for 1985/1 ;
- establishing 1986 draft programme for international invitation to tender requirements.

In principle, this requires an organization which cuts to a minimum the time lapse between obtaining the data and making a decision, bearing in mind supply constraints.

V. — INTERPRETATION OF CONTROL LEAF ANALYSIS. MANURE APPLICATION PROGRAMMING

This consists in passing from leaf contents to fertilizer rates based on the reference experiment results. We shall take the example of potassium which is almost always involved in manuring due to the volume of corresponding exports and to the impoverished nature of desaturated ferrallitic soils.

Several systems are in current use and other systems are in the study phase. We shall take a look at them in turn and discuss their respective merits.

1. — Single schedule (Table IV).

This usually comprises a scale of 5 rates depending on leaf contents. The least significant difference, whether for the reference experiment or the control sample is approximately 10 p. 100. A decision interval will therefore be chosen accordingly (0.1 p. 100 of K).

In the 0.9-1.0 p. 100 range in which the critical level lies (0.95 reference LM-CP 30 A) the optimum rate will be applied, as defined by the interpretation of the experiment — in this case 1,600 g/tree/year because, if the contents of each control unit remain close to 0.95 p. 100 with a constant annual rate of 1,600 g, it means that the control site performs in exactly the same way as the experiment site and that the optimum experiment rate enables the economic optimum to be attained in the corresponding plantation plot.

If the contents drop below 0.9 p. 100, it means that the reference rate is becoming insufficient subsequent to a slight difference in performance of the control site under consideration. In such a case, the rate for the following year is increased to 2,000 g : + 400 g, which is capable of rapidly correcting a difference of 0.1 p. 100 of K (reference LM-CP 30 A).

Below 0.8 p. 100 the rate is increased to 2,400 g.

If, however, the contents rise above 1.0 p. 100, the reference rate is slightly too high and will be reduced by 400 g. Nonetheless, if contents exceed the 1.1 p. 100 mark, they will be considered excessive and manuring will be halted for one year.

This system offers the advantage of being simple and fitting precisely into the grid of experiment results. It has the failing of occasionally producing periodic oscillations between, for example, the excess zone with return to square one every 2 years or so and, conversely, if the control site in question differs from the experimental site, a constant value close to the range of rates adopted.

2. — Self-converging schedules (Table IV).

These are designed to bring fertilizer rates into line with the rate which, for a given control site, enables the reference critical level to be maintained at all times. This rate can be markedly different from the optimum rate of the reference experiment site

They consist in modifying the rate applied the previous year :

- by increased it if it proved insufficient,
- by reducing it in the opposite case until it enables contents to be kept close to the critical level at all times.

The major disadvantage here arises from the fact that the optimal rate is self-determined independently from the reference experiment. If the final rate differed markedly, it would obligatorily lead to the suspicion that the corresponding sites

belong to another response system justifying the setting up of another reference experiment.

3. — Modelling.

The previous schedules only refer to the last content observed, whilst it should be possible to exploit the evolution of contents in accordance with the rate applied the previous year to deduce the rate which would make it possible to attain the critical level the following year **without trial and error**. To do this, the previous rate has to be modified D_{n-1} according to the difference which the rate caused $(K_{n-1}-K_n)$ and the difference remaining to reach the critical level : $(NC-K_n)$. The simplest linear model would be written as follows :

$$D_n = D_{n-1} + A(K_{n-1} - K_n) + B(NC - K_n)$$

It is necessary, for example, to increase the rate D_{n-1} because it is not capable of advancing contents sufficiently (1st term) and/or because it has not been able to reach the critical level (2nd term).

We shall go on to show that this simplistic mathematical formula is to some extent biologically founded.

4. — Quantitative approach.

The fixing of leaf contents results somewhat from a simple problem of dilution. The quantity of potassium taken up by the roots is distributed throughout a vegetal mass. This dilution obviously does not result, or at least not exclusively, from a physical phenomenon which will lead to a simple balance of concentrations throughout the tissues, because each of the tissues has its own specific and particular affinity of the potassium. It can, however, be supposed that the concentration of potassium in the leaf sample represents, to within one factor, the average concentration for the entire plant or, at least, for the tissues in which potassium concentration values are capable of balancing each other out in a relatively short time.

Let « P » be the mass of vegetal matter in which the potassium is capable of diffusing rapidly to reach a concentration balance of C_n within a time n . « P » exchanges potassium with the rest of the plant « R », but the balances which take longer to become established will be considered negligible on the timescale separating two leaf analyses.

Between these two leaf analyses carried out at times $(n-1)$ and n , P receives application dP in the form of demineralized carbohydrates coming from the photosynthesis system. Under these conditions the quantity A_{n-1}^n of potassium taken up by the roots within the period $(n-1)-(n)$ will have the effect of :

- mineralizing the mass of dP carbohydrates equal to dPC_n ;
- modifying the concentration of potassium in the pre-existent mass P equal to $P(C_n - C_{n-1})$. It can therefore be stated that uptake between t_{n-1} and t_n is equal to :

$$A_{n-1}^n = dPC_n + P(C_n - C_{n-1}) = (P + dP) C_n - PC_{n-1} \quad (1)$$

If it is wished that the concentration be established the following year $t_{(n+1)}$ at the equivalent of the critical level C_{NC} , it will be sufficient if uptake is equal to :

$$A_n^{n+1} = dPC_{NC} + P(C_{NC} - C_n) = (P + dP) C_{NC} - PC_n \quad (2)$$

Through subtraction of the previous two equations : (2)-(1)

$$A_n^{n+1} = A_{n-1}^n + (P + dP)(C_{NC} - C_n) + P(C_{n-1} - C_n)$$

an equation is obtained which is very close to the linear model previously considered, though here it involves the uptake and not rates and concentrations in P instead of concentrations in the leaf analysis sample.

The coefficients A and B of the mathematical model would therefore identify to within a few factors, with the masses of vegetal material P and $P + dP$.

In the first analysis [Ochs and Olivin, 1976], it would seem that P corresponds to the leaf mass of the tree.

Research is continuing in this field, but it has to be admitted that this attractive approach will require the perfect mastery of measurement reproducibility if there is to be any chance of its becoming common practice.

(1) PPM = Marhat Oil Palm Research Centre, North Sumatra (Indonesia).

CONCLUSION

Most criticisms of leaf analysis and particularly that of oil palm are provoked by the existence of considerable variations in the optimum level with the environment and the concentrations of other elements in the leaf [Bolle-Jones, 1975 ; Corley, 1976 ; Foster, 1981]. They are perfectly justified in the case where leaf analysis is to be the absolute judge of the plant's internal requirements, which, themselves, vary with the genotype, age, stage of development, external conditions and interaction phenomena [Martin-Prevel *et al.*, 1984, pp. 27 and 180].

Many interpreting errors have indeed been made or are still being made in the name of the sacred concept of a universal critical level.

Sometimes, leaf analysis is accused of being incapable of forecasting the fertilizer rates necessary for correcting a deficiency, which is obviously true, not least because of the effect of the soil on the manure utilisation coefficient.

All such criticism becomes pointless when the leaf analysis is combined with the reference experiment, since its only aim is to align the leaf contents of the crops with those of the best possible experimental combination. The efficiency of the system then depends on the ability of the experiment to take into account the effect of treatments and the discriminating capacity of the corresponding leaf analyses [Green, 1976].

As for reaching an analysis not only of fertilizer requirements but also of crop yield [Bolle-Jones, 1975], this is a difficult goal

which falls within the field of research and should not be confused with the control objective at the risk of becoming inefficient and muddled.

The system of control organized in this way makes it possible to obtain the veritable management of the mineral nutrition of plantations, by applying the necessary fertilizers at just the required rate at just the right time [Ollagnier, Ochs, 1981]. The additional costs incurred are very low compared with the increase in yield or fertilizer savings which can be obtained. A saving of approximately 10 kg of fertilizer per ha per year (out of 600 kg) to quite easily cover the costs of control operations or even an increased yield of some 20 kg of bunches (out of 20,000 kg).

Quite obviously, the control system alone cannot optimize all aspects of production, nor guarantee soil conservation and very long term potential. These are problems which require a different approach and fall within a different category of responsibility. In addition, it is capable in all cases and all things being equal of optimizing the plant's mineral nutrition **on the unchallengeable basis of experimental rigour.**

Fertilization can generally be considered as one of the basic factors of the development and improvement of agricultural production, especially in a tropical environment where it is still under used. But it is no longer reasonable in this day and age where the cost of energy and raw materials is subject to frequent and rapid rises, to go to excess and waste resources, all the more so in developing countries where fertilizers are often imported at great expense. □

Bibliographie

RECHERCHES ÉTIOLOGIQUES SUR LES SYNDROMES PATHOLOGIQUES DES OLÉAGINEUX TROPICAUX PÉRENNES

(Cocotier et Palmier à huile)

par M. DOLLET, Thèse de Doctorat d'Etat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
14 décembre 1985 (Vol. I, 260 p. ; Vol. II, 81 pl. ; Bibl. 22 p. ; 28 tabl.)

Plusieurs maladies d'origine inconnue ou mal définie du palmier à huile et du cocotier sont étudiées sur les plans de leur symptomatologie, de leur étiologie et de leur épidémiologie.

En Afrique de l'Ouest, les maladies de Kaïncopé et de Kribi (cocotier) apparaissent comme un même et unique syndrome dû à des mycoplasmes. Des mycoplasmes sont également associés au Blast du palmier à huile dans cette région. Leur rôle dans l'étiologie de ces maladies est démontré par l'action préventive de traitements à la terramycine.

En Amérique du Sud, des *Phytoplasmas* (*Trypanosomatidae*) sont spécifiquement associés à la Marchitez du pal-

mier à huile, et au Hartrot du cocotier. Le vecteur serait une punaise du genre *Lincus*.

Pour trois maladies, l'hypothèse d'une étiologie virale peut être avancée : le dépérissement foliaire du cocotier au Vanuatu transmis par un cixide, auquel un ADN semble spécifiquement associé ; la pourriture sèche du cœur du cocotier en Côte d'Ivoire, transmise par des delphacides et dont l'agent causal pourrait être un réovirus ; les taches annulaires du palmier à huile en Amérique du Sud, pour lesquelles l'étude ultrastructurale révèle des particules ressemblant à des virus et des altérations cellulaires caractéristiques d'infections virales.