

Nutrition minérale : résultats de l'expérimentation

La nutrition minérale du palmier à huile a été étudiée par le CIRAD-CP dans une grande diversité de situations écologiques. Le réseau comporte une centaine d'expériences adaptées aux situations locales. Des dominantes peuvent être associées aux situations géographiques :

- la fertilisation potassique sur les sables tertiaires d'Afrique de l'Ouest ;
- la fertilisation azotée et phosphatée sur les sols d'origine volcanique de Sumatra (Indonésie) ;
- la fertilisation azotée et potassique sur les sols d'origine sédimentaire de Sumatra ;
- la fertilisation phosphatée dans le bassin sédimentaire de l'Amazonie au Brésil ;
- la fertilisation chlorée sur les sols alluviaux et colluviaux de Colombie, dans la partie amazonienne de l'Equateur et du Pérou, et de manière plus générale en zone continentale éloignée des influences marines.

Cependant de nombreuses variations locales apparaissent, s'ajoutant aux premières. Par exemple, les déficiences :

- magnésienne sur sols ferrallitiques sableux fortement désaturés au Cameroun ;
- phosphorée sur sols dérivés du socle précambrien en Côte d'Ivoire ;
- magnésienne dans la partie amazonienne de l'Equateur ;
- en cuivre dans certaines parties du bassin sédimentaire amazonien au Brésil.

L'ensemble des situations étudiées indique que les données physico-chimiques traditionnellement mesurées des sols et des roches dont ils sont issus, permettent de reconnaître certains traits dominants de la nutrition des palmiers. Pourtant, de nombreuses variantes apparaissent tant dans l'intensité des phénomènes en jeu que dans les caractéristiques fondamentales mêmes. Cette particularité est à l'origine du succès de la méthode de gestion utilisée. Elle n'empêche en aucune manière l'approfondissement de la compréhension des phénomènes en jeu ; elle y incite même.

Les résultats présentés tentent d'exposer, à partir de cas rencontrés, certains traits généraux et parfois particuliers de la nutrition du palmier à huile dans les grandes situations pédo-climatiques. Ils constituent aussi une illustration de la méthodologie utilisée.

Tableau 2. Caractéristiques des sols de lieux d'expérience
Soil characteristics at trial sites

Essai Trial	Localisation Site	Type de sol Soil type	Argile % Clay %	Limon % Loam %	C % C %	N % N %	C/N C/N
DA 18	Côte d'Ivoire	sédimentaire <i>sedimentary</i>	12	2	0.9	0.07	13
AL 1	Sumatra	volcanique <i>volcanic</i>	23	2	3.0	0.25	12
BELES 1	Brésil <i>Brazil</i>	sédimentaire <i>sedimentary</i>	9	3	1.0	0.07	14
TT 1	Equateur <i>Ecuador</i>	volcanique <i>volcanic</i>	4	27	3.0	0.30	10

Tableau 3. Influence de la fumure azotée sur les teneurs foliaires et les rendements
Effect of nitrogen fertilizer on leaf contents and yields

DA 18									
Age	Urée (g/arbre/an) <i>Urea (g/palm/year)</i>			N %			Poids de régimes (kg/arbre/an) <i>Bunch weight (kg/palm/year)</i>		
Année/Year	N0	N1	Rang/Rank	N0	N1		N0	N1	
1	0	150	4	3.00	3.42**				
2	0	300	9	2.77	2.96*				
3	0	500	9	2.79	2.92**				
4-6	0	750	17	2.73	2.75		4 ans/ys	76	80
							5 ans/ys	53	62**
							6 ans/ys	70	73
7-9	0	750	17	2.87	2.88			94	93
10-12	0	750	17	2.82	2.82			91	95
AL 1									
Age	Urée (g/arbre/an) <i>Urea (g/palm/year)</i>			N %			Poids de régimes (kg/arbre/an) <i>Bunch weight (kg/palm/year)</i>		
Année/year	N0	N1	N2	N0	N1	N2	N0	N1	N2
17-18	0	2000	3000	2.05	2.36**	2.43**	108	143**	146**
19-21	0	2000	3000	2.17	2.39**	2.47**	97	131**	136**
22-24	0	2000	3000	2.24	2.43**	2.49**	120	149*	150*
25-27	0	2000	3000	2.27	2.40**	2.45**	127	144*	147*
SL 1									
Age	Urée (g/arbre/an) <i>Urea (g/palm/year)</i>			N %			Poids de régimes (kg/arbre/an) <i>Bunch weight (kg/palm/year)</i>		
Année/year	N0	N1	N2	N0	N1	N2	N0	N1	N2
7-9	0	1500	3000	2.74	2.82**	2.85**	160	177	168
10-12	0	1500	3000	2.59	2.73**	2.75**	175	202	206
13-15 ¹	0	2000	3000	2.36	2.56**	2.65**	176	194**	206**
16-18 ¹	0	2000	3000	2.44	2.61**	2.70**	144	171**	180**

(1) sur les parcelles où la fertilisation a été poursuivie

On plots where fertilisation was continued

* : probabilité de F = 5 % / *F probability = 5 %*

** : probabilité de F = 1 % / *F probability = 1 %*

Nutrition azotée

Dans la nutrition azotée, l'analyse chimique des sols ne laisse pas prévoir les déficiences natives en azote et les réponses à une fertilisation azotée.

En Afrique de l'Ouest, la déficience azotée se manifeste de manière très fugace juste après la plantation, en raison de faibles teneurs du sol en azote total (tableau 2).

L'apport d'urée permet de remonter les teneurs en N dans les feuilles au jeune âge, avec un effet positif sur la croissance des jeunes palmiers avant la mise en production, et parfois un effet très éphémère sur la production comme sur l'essai DA 18 en Côte d'Ivoire (tableau 3). Dans certaines situations très particulières, une déficience en azote peut être induite par des facteurs an-

nexes tels que l'érosion, l'hydromorphie temporaire ou la présence d'adventices très compétitives comme *Imperata cylindrica*. Dans quelques palmeraies du Bénin, les sols appauvris par surculture ne sont plus en mesure de fournir l'azote nécessaire à la plante (Djegui, 1992). La correction de cette déficience est très difficile à obtenir par les engrais minéraux et, la plupart du temps, n'est pas rentable. D'autres voies de correction sont alors recherchées, comme l'introduction de légumineuses arbustives en association ou lors de jachère.

Sur les sols d'origine volcanique ou sédimentaire de Sumatra, bien plus riches en azote total (tableau 2), la réponse à la fertilisation azotée est plus franche et plus massive (tableau 3). L'essai AL 1 montre que cet effet s'accompagne souvent d'une réponse à la fertilisation phosphatée (tableau 4). L'urée augmente les teneurs foliaires en N et en P (en présence de triple superphosphate = TSP) et permet d'atteindre l'équilibre N/P pour une dépense moindre en engrais phosphaté. En présence de 1,5 kg de TSP, l'apport de 3 kg d'urée entraîne une augmentation de rendement de 50 kg de régimes/arbre/an. Dans la pratique, sur l'ensemble des plantations de la Socfindo, l'application des quantités d'engrais définies par le calcul (DEO) aurait conduit à des taux de rentabilité de l'urée (kg de régimes/kg d'urée) compris entre 6,0 et 17,5 selon les sites et les périodes. Il n'a pas été possible de trouver une relation systématique entre cette efficacité de l'engrais et l'origine des sols. Cependant, on remarque que tous les essais dans lesquels on n'obtient pas de réponse nette aux apports d'urée sont situés sur sol sédimentaire.

Evolution des teneurs avec l'âge

Les teneurs foliaires en azote diminuent généralement avec l'âge. Ceci peut être la conséquence d'un phénomène de dilution et d'une modification du métabolisme de l'azote en fonction de l'âge physiologique des arbres.

En Afrique de l'Ouest, cette diminution peut être plus ou moins prononcée selon les situations. Sur l'essai DA 18 (tableau 3), à 13 ans, les teneurs sont encore voisines de 2,80 %, alors que sur un site voisin (essai DAES 144), les teneurs sont tombées à des niveaux compris entre 1,84 % et 2,27 % pendant la période 14-18 ans. Dans ce cas, l'apport de 2 kg d'urée/arbre/an pendant 5 ans n'a pas été en mesure d'augmenter les teneurs foliaires.

Dans le Bassin amazonien, (essai BEL 1) on a noté une diminution sensible des teneurs après 10-12 ans. L'apport de sulfate d'ammoniaque ou d'urée atténue cette chute, soit $N=2,32\%$ au lieu de $2,16\%$ sur le témoin à 17 ans, mais sans effet sur la production.

En Equateur, sur des sols d'origine volcanique, l'apport d'urée ou de nitrate d'ammonium (essai TT 1) ne parvient pas à remonter les teneurs qui se situent à $2,35\%$ à 16 ans.

Sur les sols d'origine volcanique ou sédimentaire de Sumatra, grâce au réseau de huit expériences de la Socfindo, un modèle d'évolution du niveau critique en azote avec l'âge a pu être mis au point (Tampubolon *et al.*, 1990). A partir des courbes de réponse des productions et des teneurs aux doses d'engrais, les DEO et les niveaux critiques correspondants ont été calculés sur les huit sites, pour des conditions écono-

miques telles qu'un gain de 5 kg de régimes permet de rembourser l'apport de 1 kg d'engrais. Les résultats font apparaître une diminution du niveau critique avec l'âge qui peut être ajusté selon l'équation (figure 2) :

$$Nc = 3,192 - 0,059 n + 0,001 n^2$$

où : Nc est le niveau critique, n l'âge des palmiers.

Cette relation permet d'expliquer 90 % des variations observées.

Rémanence des effets des apports d'engrais

L'essai SL 1 est situé sur des sols d'origine sédimentaire de Sumatra. L'apport d'urée dès l'âge de 6 ans (tableau 3), a eu un effet positif immédiat sur les teneurs foliaires alors que les productions n'ont été significativement augmentées qu'à l'âge de 11 ans ; un effet positif non significatif a toutefois

Tableau 4. Expérience AL 1. Effet des engrais azotés et phosphatés sur la nutrition et la production. Age : 17 à 28 ans (doses d'engrais : kg/arbre)
Trial AL 1. Effect of nitrogen and phosphate fertilizers on nutrition and yields.
Age: 17 to 28 years (fertilizer rates: kg/palm)

TSP	Teneurs en N % N contents %			Teneurs en P (%) P contents (%)			Production (kg régimes/arbre) Yields (kg FFB/palm)		
	P0 (0 kg)	P1 (1.5 kg)	P2 (3 kg)	P0 (0 kg)	P1 (1.5 kg)	P2 (3 kg)	P0 (0 kg)	P1 (1.5 kg)	P2 (3 kg)
Urée/Urea									
NO (0 kg)	2.19	2.19	2.21	0.136	0.149	0.151	92	113	131
N1 (2 kg)	2.40	2.36	2.39	0.134	0.157	0.163	117	148	163
N2 (3 kg)	2.43	2.45	2.46	0.131	0.160	0.165	105	163	162

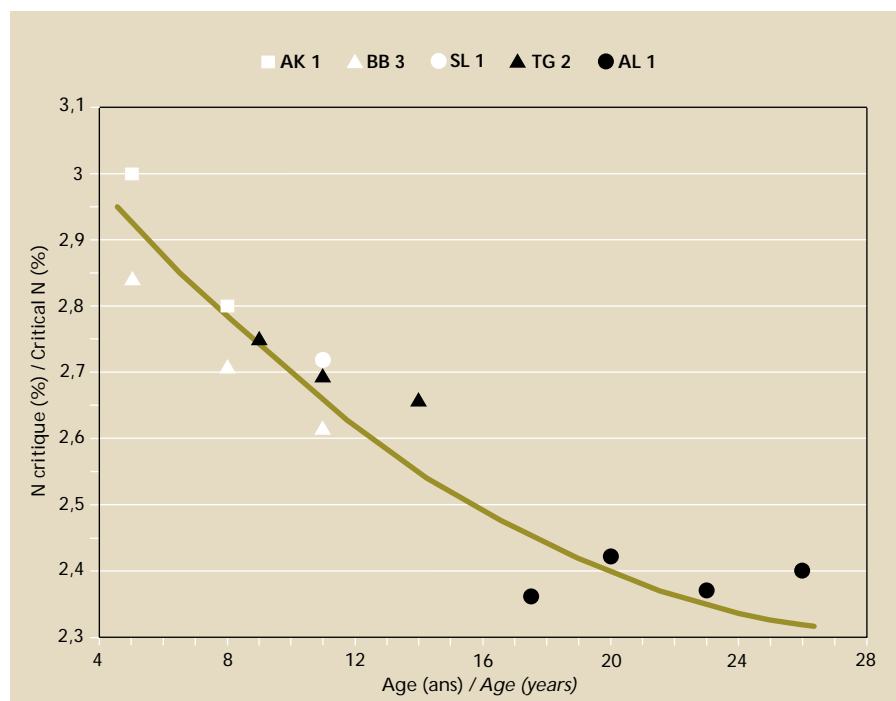


Figure 2. Indonésie - Evolution des niveaux critiques en azote avec l'âge des palmiers
Indonesia - Variations in N critical levels in line with palm age

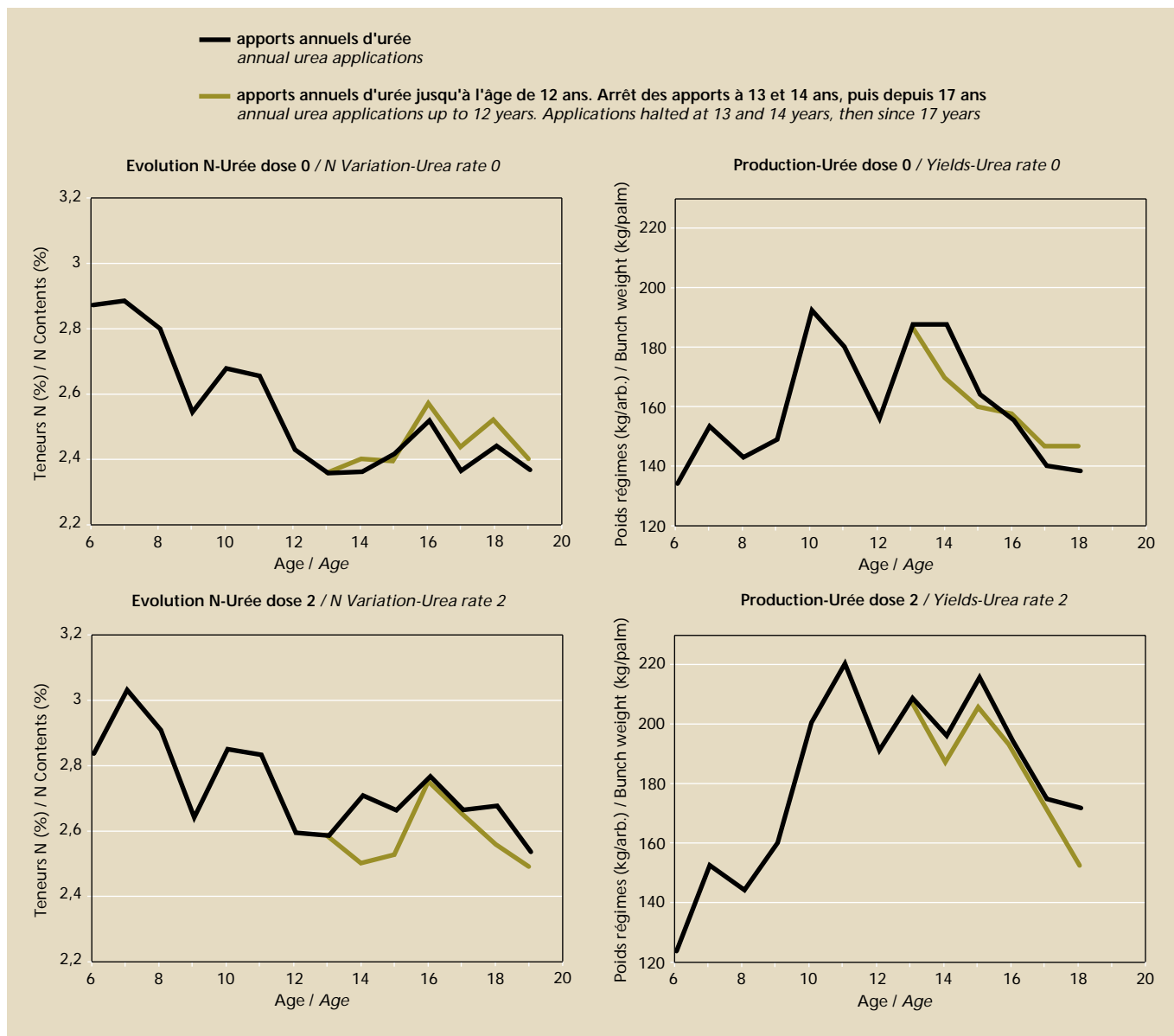


Figure 3. Indonésie SL 1 - Rémanence de l'effet des apports d'urée sur les teneurs foliaires et les productions
Indonesia SL 1 - Persistence of urea application effects on leaf contents and yields

été observé dès l'âge de 9 ans. De 13 à 14 ans, l'essai a été subdivisé en deux, la moitié des parcelles ne recevant plus les traitements azotés. Puis, de 15 à 16 ans, les traitements N ont été appliqués sur toute les parcelles et, depuis l'âge de 17 ans, l'essai est à nouveau subdivisé. Les résultats font apparaître un effet quasi-immédiat, au cours de l'année qui suit l'arrêt ou la reprise des fumures, sur les teneurs des feuilles en azote (figure 3). La production, quant à elle, est affectée au cours de la campagne suivante. Ces observations indiquent que, sur ces sols, il n'y a pratiquement aucune rémanence de l'effet des apports d'urée mais la déficience en azote peut y être rapidement corrigée.

Conclusion

Il apparaît difficile, en l'état actuel de nos connaissances, de relier les réponses des palmiers à une fertilisation azotée en utilisant les caractéristiques chimiques du sol comme indicateur. Des études sont nécessaires pour comprendre pourquoi les sols de Sumatra, pourtant plus riches en azote total, favorisent la déficience des palmiers, alors que ceux d'Afrique de l'Ouest ou d'Amérique latine ne le font que très rarement. Cette différence résulte-t-elle de besoins plus élevés en azote face à une productivité supérieure, ou d'une moindre efficacité de la minéralisation de l'azote du sol ou de la fixation de l'azote atmosphérique ?

Nutrition en phosphore

Les plus fortes déficiences en phosphore se rencontrent en Indonésie, sur les sols d'origine volcanique de Sumatra, et au Brésil, dans le bassin sédimentaire de l'Amazone, sur des sols à textures très diverses. On observe également quelques carences en Afrique de l'Ouest, sur les sols formés sur le socle précambrien. Au Bénin, sur des sols ferrallitiques, appelés «terre de barre», la déficience en phosphore n'apparaît que lorsque l'irrigation atténue le déficit hydrique, principal facteur limitant.

L'intensité des réponses à l'apport d'une fumure phosphatée a atteint 50 kg de régimes/arbre/an (près de 50 % de plus que le témoin) en Indonésie pour des apports an-

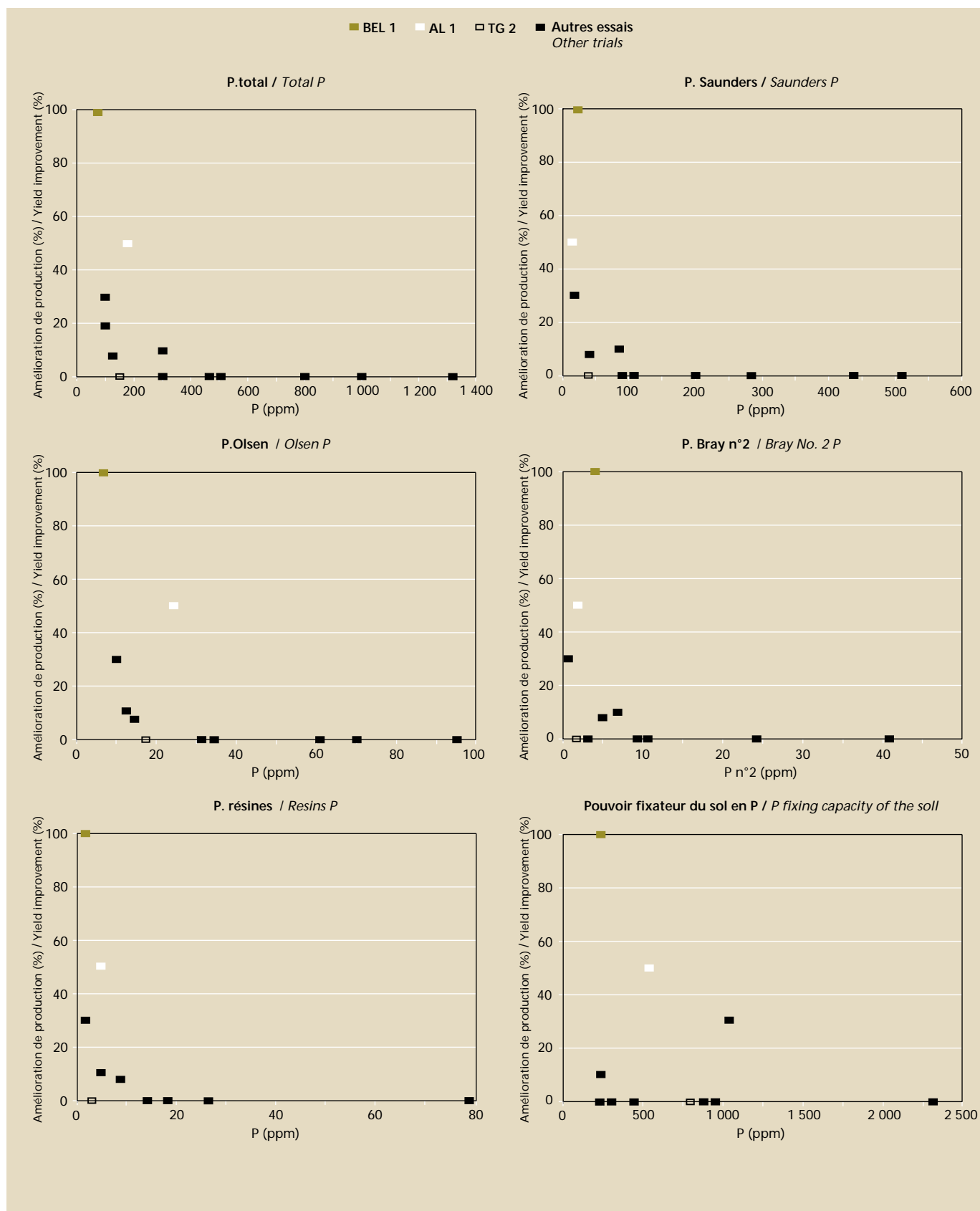


Figure 4. Relations entre les caractéristiques chimiques du sol et la réponse aux engrais phosphatés
Relations between soil chemical characteristics and the response to phosphate fertilizers

nuels de 650 à 750 g/arbre de P_2O_5 (tableau 4). Au Brésil (essai BEL 1), les palmiers ont produit 57 kg de régimes/ arbre/an supplémentaires, soit deux fois plus que le témoin, pour des apports annuels variant avec l'âge des palmiers de 300 à 700 g/arbre de P_2O_5 .

Les caractéristiques chimiques du sol : un indicateur de fertilité pour P

L'analyse des résultats obtenus dans les essais du réseau du CIRAD-CP fait apparaître une bonne relation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et les réponses aux engrais phosphatés. Ainsi, les méthodes de dosage du phosphore comme le P total³, le P Saunders⁴, le P Olsen⁵ ou le P Bray n°2⁶, constituent d'assez bons indicateurs de la fertilité du sol pour cet élément.

Cependant, les résultats obtenus dans certaines expériences représentatives de la diversité des situations rencontrées font apparaître quelques cas particuliers, dont le comportement peut être éclairci par des méthodes d'analyses spéciales telles que la détermination du P extrait par des résines ou la capacité de fixation du sol pour le phosphore (figure 4). Ainsi l'absence de réponse dans l'essai TG 2, malgré des teneurs du sol en P très faibles, pourrait être la conséquence d'un pouvoir de fixation du sol très élevé. Sur AL 1, la réponse enregistrée est largement supérieure à celle attendue par l'analyse du P total ou du P Olsen, mais en accord avec celle du P Saunders, du P Bray n°2 ou du P extrait par des résines.

Par conséquent, il apparaît qu'un bon indicateur de la fertilité du sol pour P doit être constitué par la réunion d'au moins deux méthodes différentes de dosage du P (Olsen et extraction par résines, par exemple). Des valeurs seuils, en dessous desquelles on a de fortes probabilités d'obtenir une réponse aux engrais phosphatés, ont pu être déduites :

P total : 400 ppm, P Saunders : 130 ppm,
P Olsen : 30 ppm, P Bray n°2 : 15 ppm.

Gestion de la nutrition en P

L'existence d'une étroite synergie d'absorption et d'assimilation de l'azote et du phosphore ne permet pas de porter un jugement sur les teneurs en P sans faire référence à celles en N. Ce phénomène résulte très certainement de la composition en N et P assez constante des protéines végétales.

(3) P total = attaque perchlorique et nitrique.

(4) P Saunders = extraction par la soude 0,1 N à chaud.

(5) P Olsen = extraction par un réactif composé de NH_4F 0,5 N et de $NaHCO_3$ 0,5 N à pH 8,5.

(6) P Bray n°2 = extraction par NH_4F 0,003N et HCl 0,1 N.

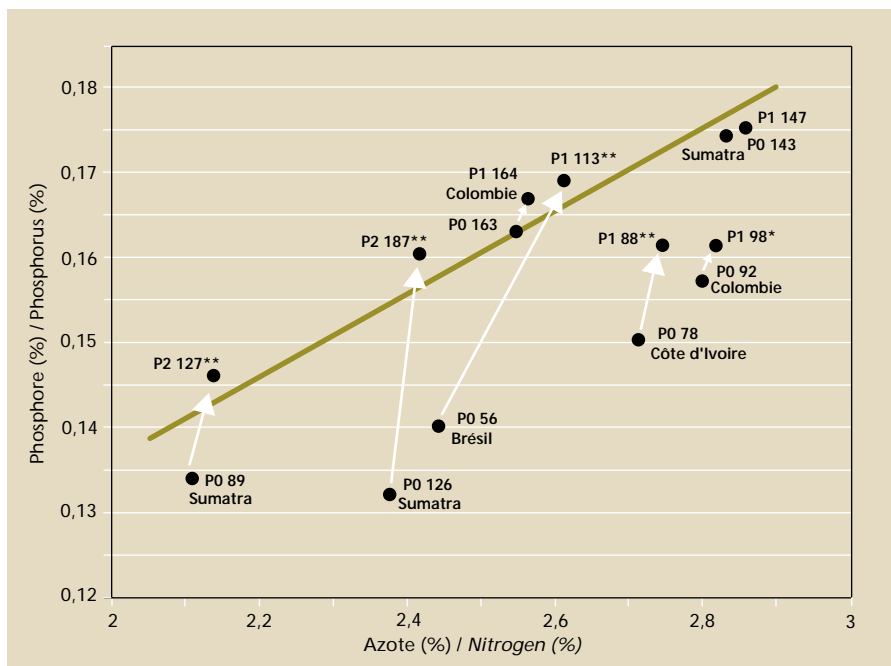


Figure 5. Niveaux critiques du phosphore en fonction des teneurs en azote

Phosphorus critical levels depending on nitrogen contents

* : probabilité de F = 5 % / F probability = 5%

** : probabilité de F = 1 % / F probability = 1%

Les résultats enregistrés sur un certain nombre d'expériences, dont AL 1 (tableau 4) sont très représentatifs et montrent cet effet de synergie obtenu sur les teneurs en phosphore lors de l'amélioration de la nutrition azotée.

Les observations effectuées sur AL 1 ont permis à Ollagnier et Ochs (1981) de proposer un modèle d'évolution des teneurs critiques en P en fonction de l'état de la nutrition en N (figure 5). Cette «courbe critique» peut être représentée par l'équation suivante :

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

où : P est la teneur en phosphore (%) et N, la teneur en azote (%).

Les résultats obtenus dans les autres situations écologiques s'ajustent parfaitement à ce modèle qui explique l'absence de réponse de certains essais.

Une étude complémentaire effectuée par Tampubolon *et al.* (1990) a vérifié que cet équilibre N/P était confirmé quel que soit l'âge des palmiers et était peu sensible aux fluctuations économiques, dans certaines limites évidemment.

Rémanence des effets des apports d'engrais

L'arrêt des apports d'engrais après une longue période de fertilisation a été étudié en Indonésie (IRHO, 1989), sur l'expérience AL 1. Sept ans après l'interruption de la fer-

tilisation, on n'observe pas d'effet négatif sur les teneurs foliaires et la production. On interprète ce phénomène par la saturation progressive du pouvoir fixateur du sol par les doses excédentaires de P apportées, par la fertilisation, doses nécessaires par ailleurs étant donné le statut chimique de ces terrains lors de leur mise en culture. Ce résultat est d'importance puisqu'il permet de réduire, voire d'arrêter temporairement, les applications de phosphate sur ces sols, dès que le niveau critique est atteint. Pour chaque situation, la durée de la rémanence dépendra probablement des quantités de phosphate apportées auparavant, en relation avec le degré de saturation du pouvoir fixateur.

Etude des mycorhizes

L'examen des racines de palmier dans les conditions naturelles montre qu'elles hébergent des endomycorhizes à vésicules et à arbuscules. Les travaux de Blal (1989) ont montré que, comme pour de nombreuses plantes, la croissance des plantules de palmier sur un sol stérile est très dépendante de la mycorhisation. L'effet est variable selon les sols. Par ailleurs, la valorisation différenciée des apports de phosphates (phosphate super simple, phosphate naturel, etc.) peut être liée à la présence de complexes mycorhiziens spécifiques. Cependant, le recours aux techniques de

dilution isotopique a montré que les mycorhizes fournissaient une meilleure exploitation du phosphore de la solution du sol et non l'utilisation directe des engrais.

Nutrition potassique

La déficience potassique est, de loin, la plus commune des carences rencontrées dans toutes les régions de culture du palmier à huile. Cela provient du fait que les besoins de la plante sont considérables, que les sols situés dans la zone élaéicole sont généralement désaturés et très pauvres en potassium échangeable et total.

Cependant, on a pu observer des différences importantes dans la réponse à la fertilisation potassique en fonction des conditions édapho-climatiques. Ces différences se traduisent par un niveau critique qui varie sensiblement d'une situation à l'autre, sans qu'il soit toujours possible de les associer aux caractéristiques chimiques du sol traditionnellement mesurées, comme le potassium échangeable ou total. On doit alors accorder une importance aux conditions d'alimentation hydrique de la plante et à la dynamique des éléments minéraux dans le sol.

Influence des conditions pédologiques

En Afrique de l'Ouest, la majorité des plantations de palmier à huile est installée sur des sols ferrallitiques très désaturés qui se différencient par leur texture. Ils ont en commun certaines caractéristiques chimiques comme la très faible capacité d'échange cationique, avec une somme des bases échangeables (Ca + Mg + K) qui dépasse rarement 1 meq/100 g⁷. Le potassium ne représente que quelques centièmes de meq/100 g, alors que le niveau seuil de la couche superficielle a été estimé à 0,15 meq/100 g (Ochs, 1965). Cette faible capacité d'échange est liée au faible pouvoir de fixation de la kaolinite qui constitue presque exclusivement la fraction argileuse. Cependant, elle entraîne des réponses nettes et rapides à la fertilisation potassique.

Tous les résultats expérimentaux obtenus en Côte d'Ivoire par l'IRHO indiquent que la fertilisation potassique est nécessaire dès la mise en culture des zones de savane alors qu'en zone forestière elle ne s'impose qu'après plusieurs années, grâce à la restitution de potassium par les débris forestiers. En replantation, les besoins se manifestent plus tardivement dans les deux situations, probablement du fait d'un enrichissement relatif en potassium du complexe absorbant par les fertilisations de la

génération précédente et l'apport consécutif à la décomposition des palmiers abattus.

L'intensité de la déficience potassique et l'amplitude des réponses à la fumure dépendent donc des situations :

- en première génération de palmier, après défrichage forestier, la nutrition potassique des arbres peut être correctement assurée pendant 6 à 11 ans par la faible réserve initiale du sol et les restitutions en K des résidus forestiers. Ensuite, les teneurs en K passent au-dessous de 0,90 %. La production est affectée avec un décalage de 1 à 2 ans, ce qui permet en général d'intervenir à temps par l'apport de doses annuelles de 1000 à 1500 g de KCl/arbre. Il est par ailleurs possible et souhaitable d'anticiper cette baisse des teneurs foliaires par un apport léger de KCl (500g/arbre/an) dès le jeune âge. Dans un essai où l'on a interrompu les apports annuels après quelques années de fertilisation régulière, on a enregistré une rémanence de l'effet de ces apports d'environ 2 ans ;
- en première génération, après défrichage de la savane à *Imperata cylindrica*, les arbres sont fortement carencés dès l'âge de 3 ans, avec des teneurs foliaires pouvant descendre jusqu'à 0,50 %. La réponse à la fertilisation potassique est donc plus rapide et plus intense qu'en zone forestière. La DEO est alors de 2250 g de KCl/arbre/an et le niveau critique correspondant de 0,90% ;
- en replantation, la carence apparaît plus tard et les besoins en engrais sont plus

faibles. Sur l'expérience LM 27 en zone forestière, les teneurs en K des arbres non fertilisés sont restées supérieures à 0,90 % pendant 10 à 13 ans ; des apports annuels de 800 g de KCl/arbre ont maintenu les teneurs au-dessus de 0,90 % pendant 18 ans. Le niveau critique est de 0,90 %. En zone de savane, l'essai DA 18 indique un maintien des teneurs au-dessus de 0,90 % pendant 5 ans et des doses de 500 à 1000 g de KCl/arbre ont suffi à maintenir les teneurs au-dessus de 0,90 % jusqu'à 12 et 14 ans. Le niveau critique est de 0,80 %.

Les courbes de réponse calculées sur les essais de Côte d'Ivoire et du Cameroun ont permis d'établir les relations entre la production et les teneurs foliaires en K (Ochs *et al.*, 1991). On estime ainsi la perte de production à 5 % en moyenne du potentiel de production, par tranche de teneur de 0,1 %. Les courbes de réponse des teneurs foliaires aux engrais apportés ont été utilisées pour établir un barème de fertilisation (tableau 5) utilisable par les planteurs de la région, sous réserve parfois, dans des situations exceptionnelles, de légères modifications.

En Indonésie, il existe une plus grande diversité de conditions. Sur les sols d'origine sédimentaire, assez voisins des sols africains, on retrouve une déficience potassique relativement facile à corriger si l'on tient compte des déficiences parallèles en N, Mg et parfois P. Le problème est totalement différent pour les sols d'origine alluviale ou volcanique, caractérisés par une argile de nature différente et par une somme des bases échangeables plus éle-

Tableau 5. Barème de fertilisation potassique (g/arbre/an)
Potassium fertilizer schedule (g/palm/year)

Teneurs en K des feuilles (%) / <i>Leaf K contents (%)</i>	Pour une progression de 0,05 % de K <i>For a 0.05% step in K</i>	Pour accéder au niveau critique de 0,95 % <i>To reach critical level of 0.95%</i>
0.50	120	2070
0.55	120	1950
0.60	135	1730
0.65	155	1695
0.70	175	1540
0.75	220	1365
0.80	255	1145
0.85	365	890
0.90	525	525

Ce barème indique les doses de KCl à apporter en fonction des teneurs foliaires en K selon que l'on souhaite obtenir :

- une progression donnée des teneurs, par classe de 0,05 % ;
- le niveau critique de 0,95 %.

Il s'agit de teneurs foliaires stabilisées, et l'apport correspondant doit être ajouté aux doses précédemment épanchées, qui ont abouti à ces teneurs.

This schedule indicates the KCl rates to be applied depending on leaf contents, according to whether the aim is to obtain:

- a given improvement in contents per 0,05% step ;
- the 0,95% critical level.

These are stabilized leaf contents, and the corresponding application has to be added to the previously applied rates that gave rise to these contents.

(7) Mesuré avec la méthode utilisant la cobalthexamine

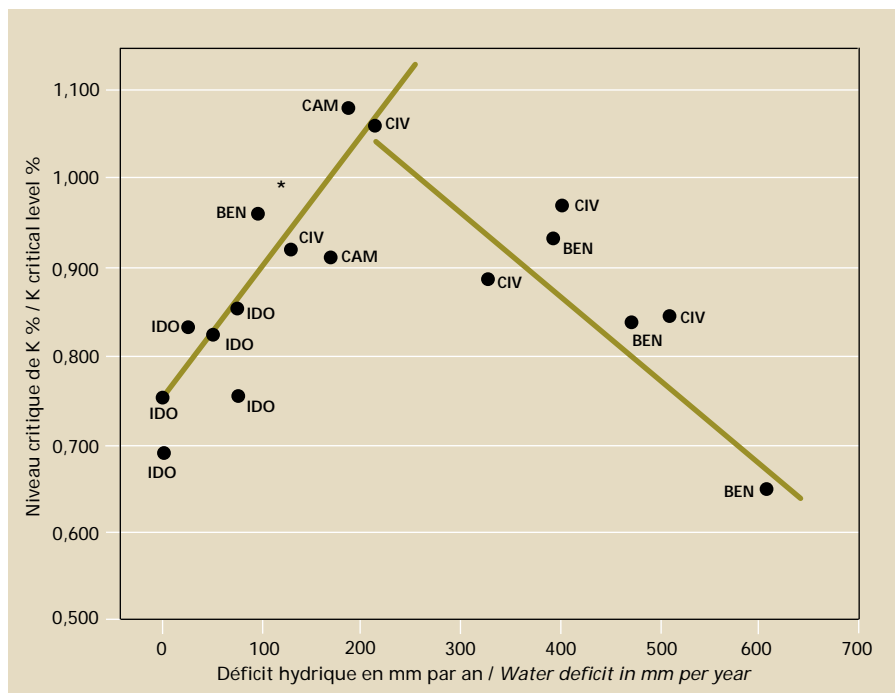


Figure 6. Déficit hydrique et niveau critique du potassium
Water deficit and potassium critical level

CAM : Cameroun / Cameroon

CIV : Côte d'Ivoire

BEN : Bénin / Benin

IDO : Indonésie / Indonesia

*Irrigation

Tableau 6. «Pression calcique» dans les percolats issus de l'essai en colonne de terre
«Calcium pressure» in the percolates from the earth column trial

Localisation/Site	Type de sol/Soil type	K/(K+Ca) %
LM (Côte d'Ivoire)	Ferrallitiques sur sédiments tertiaires <i>Ferrallitic on tertiary sediments</i>	92
PO (Bénin/Benin)	Ferrallitiques sur sédiments tertiaires <i>Ferrallitic on tertiary sediments</i>	55
AK (Indonésie/Indonesia)	Ferrallitiques sur sédiments tertiaires <i>Ferrallitic on tertiary sediments</i>	54
AL (Indonésie/Indonesia)	Ferrallitiques d'origine volcanique <i>Ferrallitic of volcanic origin</i>	23
SA (Colombie/Colombia)	Alluviaux d'origine andique <i>Alluvial of Andean origin</i>	4

vée. Les sédiments volcaniques présentent une teneur élevée en potassium total. Dans ces situations, les réponses aux fumures potassiques (parfois plusieurs kg de KCl/arbre/an) sont faibles ou même absentes, malgré des teneurs foliaires qui pourraient être considérées comme déficientes.

En Colombie, sur les alluvions de San Alberto, le problème précédent est doublé d'une carence dominante en chlore.

Influence des conditions climatiques

Dans les essais de fertilisation mis en place dans des situations écologiques sans déficit hydrique on constate que les niveaux critiques en K sont sensiblement inférieurs à ceux généralement obtenus dans des condi-

tions édaphiques semblables mais présentant une alimentation hydrique moins favorable. Ainsi, sur la côte ouest de Sumatra, l'essai SG 1 fait apparaître des teneurs qui passent de 0,70 à 0,40 % sur les parcelles témoin en moins de 10 ans. L'apport de 1,5 ou 3 kg de KCl/arbre/an améliore significativement les teneurs qui se stabilisent à 0,70 et 0,80 %, mais est pratiquement sans effet sur la production de régimes.

Au Bénin, où le déficit hydrique dépasse couramment 500 mm/an, de Taffin et Ochs (1973) ont montré que le niveau optimal de K et la DEO variaient selon l'intensité de la sécheresse.

Une analyse des résultats obtenus sur le réseau (Ollagnier *et al.*, 1987) indique que le niveau critique dépend étroitement des

conditions d'alimentation hydrique des palmiers, avec un maximum pour un déficit hydrique moyen de l'ordre de 200 mm/an (figure 6). Les hypothèses explicatives de ce phénomène attribuent au potassium un double rôle d'élément nutritif et d'élément favorisant la tolérance à la sécheresse.

Dynamique du potassium dans les sols

Sur les sols ferrallitiques, les teneurs foliaires sont sensibles à la moindre variation des doses de fumure, à la différence de certains sols d'origine volcanique disposant d'une capacité d'échange plus élevée. Une étude expérimentale de la dynamique du potassium dans divers types de sols a été entreprise (Ouvry, 1985 ; Fallavier et Olivin, 1988 ; Fallavier *et al.*, 1989).

Des apports de KCl ont été effectués sur des colonnes de terre, suivis de percolations journalières d'un équivalent total de 875 mm de pluie. Les percolats ont été recueillis pour analyse, de même que les sols en fin d'expérience. L'analyse a tenté de séparer les éléments échangeables, les éléments solubles et les formes fixées énergiquement.

Les résultats indiquent que le potassium s'échange principalement avec le calcium et le magnésium ; ce dernier étant le plus facilement déplacé. Le sol de La Mé (LM) en Côte d'Ivoire a retenu 17 % du K apporté dont 15 % sous forme échangeable. Le sol d'Aek Loba (AL) en Indonésie, d'origine volcanique, a retenu 46 % du K apporté dont 39 % sous forme échangeable, parmi lesquels 9 % résultent de la création de charges nouvelles sur le complexe d'échange ; 7 % du K ont été fixés.

Les percolats AL sont beaucoup moins riches en potassium (17 %) que les percolats LM (81 %). En revanche, ils contiennent une forte proportion de calcium, ce qui a conduit Ollagnier *et al.* (1987) à utiliser le rapport K/(K+Ca) comme indicateur d'une «pression calcique» dans les sols (tableau 6).

Si l'on admet une certaine analogie entre la composition de ces percolats et la solution du sol en place, la pression calcique exercée et l'antagonisme d'absorption ou d'assimilation K-Ca qui caractérise le palmier à huile permettent de comprendre, au vu de ces résultats, pourquoi l'absorption du potassium est difficile dans les deux sols d'origine andique et volcanique.

Ces manipulations en colonne de terre ont été complétées par une analyse plus fine des phénomènes d'échanges du potassium en faisant appel à diverses techniques de laboratoire : capacité de rétention maximale de K, isothermes d'absorption, cinétique de dilution isotopique (Fallavier *et*

Tableau 7. Potassium échangeable
Exchangeable potassium

	Ke (meq/100 g)	
	LM (Côte d'Ivoire)	AL (Indonésie)/(Indonesi)
Ke initial énergiquement retenu <i>Initial Ke energetically retained</i>	0.05	0.19
Ke maximum insensible au lessivage <i>Maximum Ke not subject to leaching</i>	0.10	0.29
Ke maximum sensible au lessivage <i>Maximum Ke subject to leaching</i>	0.27	0.75

al., 1989). Les résultats conduisent à identifier trois valeurs de potassium échangeable Ke (tableau 7).

Ces résultats font apparaître des seuils de sensibilité au lessivage. Bien qu'il soit difficile d'assimiler ces manipulations de laboratoire à la réalité du terrain, on peut toutefois remarquer que les doses généralement apportées par les barèmes de fertilisation mis au point par le CIRAD-CP correspondent approximativement au remplissage du compartiment intermédiaire qui présente peu de risques de pertes par lessivage.

L'influence de l'anion accompagnant le K de l'engrais apporté a également été étudiée. On constate que la forme nitrate se traduit par une moindre rétention du potassium par rapport à la forme chlorée (- 15 % à LM et - 5 % à AL). La forme sulfate permet une sensible amélioration de la quantité de K retenue par le sol (+ 10 % à LM et + 35 % à AL). On attribue ce phénomène à l'adsorption spécifique de l'ion SO_4^{2-} qui augmente la densité de charges négatives et favorise ainsi la rétention des cations.

Nutrition magnésienne

Bien que le palmier à huile ait des besoins en magnésium bien inférieurs à ceux en potassium, on trouve des similitudes entre la nutrition magnésienne et la nutrition potassique, dont les mécanismes semblent dominés par le jeu d'équilibres cationiques au niveau du sol et de l'assimilation de l'élément par la plante.

C'est probablement la raison principale, associée à la nature même des argiles en présence, pour laquelle la réponse à la fertilisation magnésienne dépend assez étroitement de la nature des sols :

- sur les sols ferrallitiques désaturés, l'absorption de Mg est assez facile, et le niveau critique aisé à déterminer ;
- en revanche, sur les sols d'origine alluviale ou volcanique, les réponses sont beaucoup plus irrégulières et les niveaux critiques difficiles à approcher.

Les sols ferrallitiques sableux du Cameroun

Sur les sols sableux désaturés de la zone littorale du Cameroun, appelés également «acid sands», on observe, en plus d'une déficience en K, classique pour ces sols sédimentaires, une déficience en Mg. Compte tenu des antagonismes entre le magnésium et le potassium au niveau de l'absorption racinaire, la recherche d'une nutrition minérale équilibrée ne peut être raisonnée qu'à partir de l'équilibre de ces deux éléments dans le diagnostic foliaire. Ainsi dans l'essai CA7, on observe une double réponse aux fumures potassique et magnésienne dont les effets s'additionnent. Les niveaux critiques et les DEO correspondantes sont les suivantes (pour un ratio économique de 5 kg de régimes par kg d'engrais) :

$$\begin{aligned} \text{K critique} &= 0,90 \% \\ \text{DEO} &= 800 \text{ g KCl/arbre} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mg critique} &= 0,22 \% \\ \text{DEO} &= 500 \text{ g kiésérite/arbre} \end{aligned}$$

Le barème de fumure doit tenir compte des effets réciproques de l'apport de l'un des éléments sur l'autre. Pour une teneur en K donnée, la quantité de KCl recommandée sera modulée en fonction de la dose de kiésérite apportée.

Les sols andiques d'Equateur

Dans la partie amazonienne de l'Equateur, la nutrition minérale des palmiers est essentiellement caractérisée par une double déficience en magnésium et en chlore qui se traduit par des teneurs foliaires relativement faibles de Mg = 0,15 % et Cl = 0,20 %. L'essai SH2 montre que l'apport de chlorure de magnésium corrige les deux déficiences, avec une amélioration de la production. Mais ce même essai indique aussi qu'un simple apport de chlorure de sodium qui permet de relever les teneurs en Cl entraîne une amélioration corrélative des teneurs en Mg. Il reste à déterminer si ce phénomène correspond à une synergie entre Cl et Mg ou si ce n'est que le résultat indirect de l'antagonisme K/Mg, car les apports de NaCl dépriment les teneurs en K.

Dynamique du magnésium dans les sols

Une étude de laboratoire, similaire à celle décrite pour le potassium, a été réalisée sur des sols présentant une diversité de réponses aux fertilisations magnésiennes (Fallavier et Olivin, 1988). Les sols étudiés proviennent tous d'Amérique latine. Les résultats ont montré que le magnésium apporté s'échange principalement avec le calcium, sans déplacer le potassium. L'analyse quantitative du magnésium retenu indique une différence de comportement en relation avec la facilité de correction au champ de la déficience en magnésium. Les sols où la carence est facile à corriger présentent un taux de rétention du magnésium apporté supérieur à 10 % (meq CEC⁸). Le sol de Tâtiana (Equateur), où la carence est très prononcée et très difficile à corriger se distingue par un taux de rétention du magnésium apporté très faible (5 à 6 %), malgré un taux de saturation du complexe absorbant également faible (15 %). L'association des deux paramètres, taux de saturation en magnésium de la CEC et taux de rétention du magnésium apporté en colonne de terre, pourrait donc constituer un bon indicateur pour l'étude des réponses aux fumures magnésiennes.

Nutrition chlorée

L'importance du chlore dans la nutrition minérale du palmier à huile a été démontrée par Ollagnier et Ochs (1971) grâce aux résultats obtenus en Colombie sur la plantation de San Alberto. La correction de la carence en Cl a entraîné une augmentation de 15 % de la production de régimes et modifié sensiblement leur composition.

Dans un essai de Colombie, la correction de cette carence s'est traduite par une augmentation du poids de régimes, par l'accroissement du nombre et de la taille des fruits et des noix. Ainsi la production d'huile s'est accrue de 500 kg/ha et celle de palmistes de 660 kg/ha (Ollagnier et Olivin, 1984).

Au Pérou, sur un site protégé de l'influence de la mer par la barrière des Andes, l'apport de 2,5 kg de KCl/arbre/an améliore la production de 25 % (tableau 8). Les analyses foliaires indiquent, sans équivoque, que ce résultat est la conséquence de la correction de la carence en chlore.

Ces résultats militent en faveur d'un niveau critique voisin de 0,50 %. Les cas rencontrés sont encore trop peu nombreux pour mettre en évidence des variations de

(8) CEC = capacité d'échange cationique.

Tableau 8. Pérou (PALMESA) : effet de la nutrition en chlore sur le rendement Peru (PALMESA): effect of chlorine nutrition on yield

	KCl (kg/arb/ann) / KCl (kg/palm/year)		
	0	1.25	2.50
Teneurs foliaires (%) / Leaf contents (%)			
K	1.05	1.04	1.05
Cl	0.07	0.54**	0.66**
Rendements (t/ha) / Yields (t/ha) 1988	24.2 (100)	28.3** (117)	30.4** (126)
1986-1988 (cumulé/cumulated)	50.9 (100)	59.4** (117)	63.3** (124)

Tableau 9. Teneurs en K et Mg (en 1989-1990 et 1990-1991) en fonction du matériel végétal

K and Mg contents (in 1989-1990 and 1990-1991) depending on planting material

	LMGP 70 (P. 1985)		LMGP 71 (P. 1985)		LMGP 76 (P. 1986)	
	K	Mg	K	Mg	K	Mg
LMC 051	1.20	0.19	1.19	0.22	1.21	0.22
L2T x D10D	1.10	0.22	1.00	0.32	1.02	0.28

Tableau 10. AKGP 3 - Nutrition azotée de quelques croisements AKGP 3 - Nitrogen nutrition of a few crosses

Croisement	Dose moyenne d'urée	Teneur moyenne	
	1982-1988 (g/arb/ann)	en azote (%)	
Cross	Mean urea rate	Mean nitrogen content (%)	
	1982-1988 (g/palm/year)	1982	1988
D115D AF/Self x L2T AF/Self	600	2.80	2.65
L404D AF/Self x L2T AF/Self	800	2.70	2.55
(L404D x D10D) x L2T AF/Self	800	2.75	2.55

ce niveau en fonction de paramètres pédo-climatiques ou autres.

Les oligo-éléments

L'effet des oligo-éléments a été étudié en vase de végétation sur de jeunes plantules (Dufour et Quencez, 1979 ; Eschbach, 1980). Les symptômes de carence en bore, fer et cuivre ont ainsi été décrits en laboratoire et parfois également en pépinière et au champ. En plantation, ces carences sont rares, sauf pour le bore dont le manque apparaît fréquemment dans les zones écologiquement les plus favorables où la production de matière végétale est élevée (Corrado *et al.*, 1992).

Les tourbes, milieu de culture bien particulier, se caractérisent par des carences inévitables en oligo-éléments dont le cuivre de manière systématique et aussi, bien souvent, le zinc, le fer et le manganèse.

Sur les sols minéraux, on peut noter un cas de carence en cuivre sur des sols ferrallitiques pauvres du sédimentaire tertiaire au Brésil (Pacheco *et al.*, 1986).

Une fois identifiées, ces carences sont, en général, assez faciles à corriger. La gestion de la nutrition minérale des palmiers en ces éléments est identique à celle utilisée pour les macro-éléments : association du diagnostic foliaire et des essais en champ.

À l'instar des observations effectuées sur d'autres plantes, l'âge de la feuille à analyser devrait être étudié plus minutieusement car ces éléments minéraux interviennent souvent à des stades précis de la croissance de la plante et il pourrait être préférable pour certains, le zinc par exemple, d'analyser des feuilles plus jeunes que la feuille de rang 17, traditionnellement prélevée.

Perspectives d'amélioration de gestion et de diagnostic

Interaction matériel végétal - nutrition minérale

L'interaction entre le matériel végétal et la nutrition minérale a été très peu étudiée à ce jour (Tan et Rajaratnam, 1978). Certains croisements montrent une sensibilité particulière à la déficience en magnésium.

Avec l'apparition de plants issus de culture *in vitro*, présumés plus homogènes au sein d'un même matériel végétal, en particulier pour la nutrition minérale, des études spécifiques devraient être entreprises afin d'affiner la gestion des futures plantations pour tenir compte de la variabilité entre souches génétiques.

Une enquête préliminaire effectuée par Gnyoro (1992) fait apparaître des différences de comportement qui peuvent être attribuées aux caractères intrinsèques du matériel végétal. Par exemple, la lignée témoin L2T x 10D présente des teneurs systématiquement plus faibles en K et corrélativement plus fortes en Mg que le clone LMC 051 (tableau 9). En Indonésie, dans un essai de comparaison de descendance, le croisement L404 D AF x L2T AF a présenté des teneurs en azote systématiquement plus faibles que les autres croisements, malgré une fertilisation légèrement plus soutenue (tableau 10).

Cependant ces observations préliminaires ne permettent pas de conclure quant à l'origine de ces différences. Expérimentelles des besoins différents pour l'expression de leur potentiel de production ou des différences de capacité d'assimilation des éléments minéraux ? Seuls des essais spécifiques de fertilisation en champ permettront, en l'état actuel de nos connaissances, de répondre à ces questions.

Les effets de bordure dans les essais

Le développement horizontal sur plusieurs mètres du système racinaire du palmier à huile pose un problème lors des essais de fertilisation. Les arbres des bordures de parcelles peuvent braconner dans les parcelles voisines et y prélever des éléments minéraux. Pour tenir compte de ce phénomène, l'analyse des essais ne prend pas en considération un certain nombre d'arbres de bordure. Le nombre d'arbres ainsi écartés est important car il conditionne la taille des parcelles expérimentales et donc le coût des essais, pour une précision donnée.

Les études effectuées par Ballo *et al.* (1994) dans un essai étudiant la nutrition potassique, montrent qu'il existe bien des gradients en bordure des parcelles expérimentales, aussi bien pour la nutrition minérale que pour la croissance et la production (figure 7). Ils en déduisent qu'il vaudrait mieux laisser au moins deux lignes de bordure par parcelle élémentaire.

Les chercheurs de la station de Bah Lias à Sumatra ont observé les mêmes phénomènes (London Sumatra Indonesia, 1993). Ils arrivent à une conclusion similaire, et conseillent même de prévoir une tranchée de 0,75 m de profondeur tout autour des parcelles élémentaires.

Les premières études ainsi réalisées montrent toutefois que les résultats des essais ne sont pas fondamentalement modi-

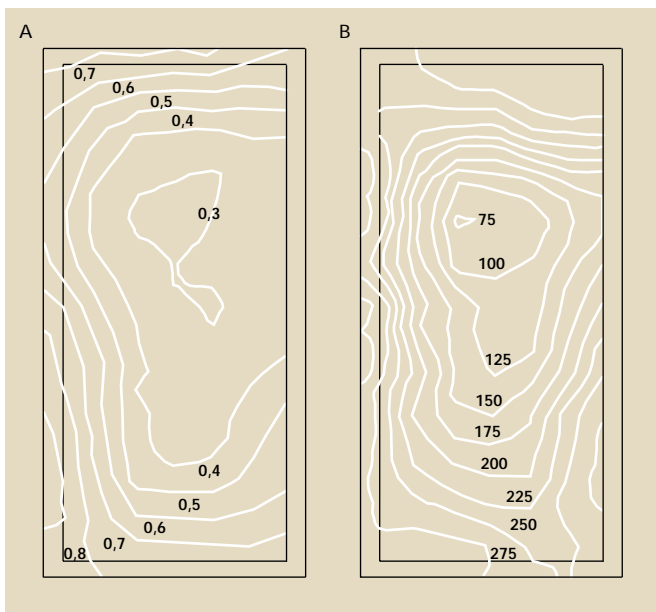


Figure 7. Effet de bordure sur les teneurs en K (A) et les productions (B) dans une expérience de fertilisation
Border effect on K (A) contents and yields (B) in a fertilizer experiment

fiés par cet effet. Leur précision pourrait être encore améliorée. Mais la taille des essais serait alors considérablement augmentée, sauf si l'on réduit le nombre d'arbres utiles, ce qui devrait être possible dans les études avec clones.

La télédétection, un outil d'aide au diagnostic des plantations

Plusieurs opérations de recherches ont été conduites afin de préciser l'intérêt de la télédétection comme outil pour le diagnostic et le suivi des plantations de palmier à huile (Naert *et al.*, 1990 ; Nguyen *et al.*, 1993). Les résultats indiquent des relations plus ou moins étroites entre les signatures spectrales et certains caractères des palmiers, dont l'état de la nutrition minérale. Les études doivent être poursuivies mais l'on peut raisonnablement estimer que la télédétection permettra, dans un premier temps, de mieux raisonner la cartographie des contrôles de diagnostic foliaire et apportera un sé-

rieux concours à l'établissement d'un diagnostic de plantation.

Aide à la décision - Informatisation des données

Le recours à l'informatique, au début des années 80, a permis de faciliter l'analyse des résultats et la gestion des données. En l'état actuel des connaissances, il est possible d'utiliser cet outil pour apporter une aide à la décision pour la gestion de la nutrition minérale, domaine qui repré-

sente une part largement prépondérante des coûts de production nécessitant donc une gestion au plus près des besoins. Dans cette optique un nouveau logiciel est en cours de développement au CIRAD-CP. Il présentera plusieurs modules permettant des utilisations à différents niveaux :

- gestion de la fertilisation : trois sous-modules :
 - enregistrement des données par parcelle (productions, analyses foliaires, fertilisations réalisées, sols, etc.),
 - programmation de la fertilisation à partir des barèmes établis parallèlement,
 - édition permettant de présenter des états par parcelle ou par unité (classes d'âge, matériel végétal, type de sol, etc.) ;
- analyse des résultats obtenus :
 - étude de l'efficacité des barèmes de fertilisation : influence sur la nutrition minérale et la production. Ce sera un module dit «ouvert» en ce sens qu'il

autorisera des éditions informatiques pour effectuer des analyses prédéfinies ou programmables.

Conclusions

La méthodologie de gestion de la nutrition minérale des plantations de palmier à huile proposée par le CIRAD est basée sur la sensibilité de l'analyse végétale à rendre compte de l'état de la nutrition minérale de cette plante. Il est nécessaire de disposer d'analyses de laboratoire justes, précises et fidèles, sous peine de compromettre la qualité des résultats expérimentaux et des recommandations de fumure.

L'analyse des résultats obtenus sur le réseau expérimental permet parfois de proposer des indicateurs de fertilité du sol, comme dans le cas du phosphore, dont la détermination permet de prévoir une réponse possible à la fertilisation.

Grâce à l'acquisition continue de connaissances sur le fonctionnement de la plante et sur ses relations avec le sol, différents auteurs ont pu proposer quelques modèles relatifs à certains «fragments» du métabolisme minéral (évolution de la nutrition azotée avec l'âge, équilibre N/P).

Des études du métabolisme des éléments minéraux par la plante devraient être entreprises pour modéliser les phénomènes, l'ensemble aboutissant à un diagnostic global. La meilleure compréhension des différences observées dans la nutrition azotée en fonction de situations (Afrique de l'Ouest, Asie) ne passe-t-elle pas par l'étude du métabolisme azoté de la plante et de son lien possible avec celui du carbone et la photorespiration comme cela a été démontré pour des plantes en C3 ?

Enfin des outils d'aide à la décision, pour une gestion plus efficace de la nutrition minérale des plantations devraient être bientôt disponibles. ■

Bibliographie / References

- Ballo K., Quencez P., Ouattara S., Tailliez B., Rey H. (1994) Effets de bordure dans une parcelle témoin d'un essai de fertilisation potassique sur sols épuisés en Côte d'Ivoire. *Oléagineux* 49 (4) : 137-143.
- Blal B. (1989) Les endomycorhizes VA chez le palmier à huile (*E. guineensis* Jacq.) : rôle dans la régulation de la croissance et dans la nutrition minérale des jeunes plants de clones micropropagés. Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne, 98 p.
- Corrado F., Quencez P., Tailliez B. (1992) La déficience en bore chez le palmier à huile. Symptômes et corrections. *Oléagineux* 47 (12) : 719-721.
- Djegui N. (1992) Matière organique et azote dans les sols cultivés sur terre de Barre (Bénin). Thèse de Doctorat. Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse, 190 p.
- Dufour F.O., Quencez P. (1979) Etude de la nutrition en oligo-éléments du palmier à huile et du cocotier cultivés sur solutions nutritives. *Oléagineux* 34 (7) : 323-328.
- Eschbach J.M. (1980) Les oligoéléments dans la nutrition du palmier à huile. *Oléagineux* 35 (6) : 281-290.
- Fallavier P., Olivin J. (1988) Etude expérimentale de la dynamique du potassium et du magnésium dans quelques sols tropicaux représentatifs des zones de culture du palmier à huile. *Oléagineux* 43 (3) : 93-102.
- Fallavier P., Breysse M., Olivin J. (1989) Etude expérimentale de la dynamique du potassium dans deux sols tropicaux utilisés pour la culture du palmier à huile. *Oléagineux* 44 (5) : 197-204.
- Gnayoro G.E. (1992) Contribution à la caractérisation nutritionnelle de clones de palmier à huile: cas de la nutrition potassique. Mémoire de D.A.A., ENSA (Yamoussoukro), 46 p.
- IRHO (1989) Rapport d'activité. *Oléagineux* 44 (4) : 1-220.
- IRHO (1992) Rapport d'activité 1989-1991 de l'Institut de recherches pour les huiles et oléagineux. *Oléagineux* 47 (6) : 262-450.
- London Sumatra Indonesia (1993) Annual report 1992, 273 p.
- Naert B., Gal R., Lubis A.U., Suwandi, Olivin J. (1990) Première évaluation des possibilités d'exploitation de la télédétection spatiale pour l'étude du fonctionnement d'une plantation de palmiers à huile à Nord-Sumatra. *Oléagineux* 45 (5) : 201-212.
- Nguyen H.V., Caliman J.P., Flori A., Lukman F. (1993) Spot image to assess sanitary, nutrient and general status of oil palm plantations. Porim International Oil Palm Congress, September 20-25 1993, Kuala Lumpur, Malaysia, poster.
- Ochs R. (1965) Contribution à l'étude de la fumure potassique du palmier à huile. *Oléagineux* 20 (6) : 365-368.
- Ochs R. (1985) Stratégie de mise en oeuvre du contrôle nutritionnel des plantes pérennes. Gestion de la nutrition minérale. Programmation des fumures. *Oléagineux* 40 (12) : 583-590.
- Ochs R., Olivin J., Quencez P., Hornus P. (1991) Réponse à la fumure potassique sur les sols acides sableux formés sur les sédiments tertiaires. *Oléagineux* 46 (1) : 1-8.
- Ollagnier M., Ochs R. (1971) La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux* 26 (6) : 367-372.
- Ollagnier M., Ochs R. (1981) Gestion de la nutrition minérale des plantations industrielles de palmiers à huile. Economies d'engrais. *Oléagineux* 36 (8-9) : 409-417.
- Ollagnier M., Olivin J. (1984) Effets de la nutrition sur la production. Progrès génétiques et effets de la nutrition sur la qualité de l'huile de palme. 1ère partie. *Oléagineux* 39 (7) : 349-362.
- Ollagnier M., Olivin J. (1984) Effets de la nutrition sur la production. Progrès génétiques et effets de la nutrition sur la qualité de l'huile de palme. 2ème partie. *Oléagineux* 39 (8-9) : 401-405.
- Ollagnier M., Daniel C., Fallavier P., Ochs R. (1987) Influence du climat et du sol sur le niveau critique du potassium dans le diagnostic foliaire du palmier à huile. *Oléagineux* 42 (12) : 435-445.
- Ouvry J.F. (1985) Etude expérimentale de la dynamique du potassium sur deux sols tropicaux. Thèse de Docteur-Ingénieur. ENSA Montpellier, 254 p.
- Pacheco A.R., Barnwell I.M., Tailliez B. (1986) Des cas de déficience en cuivre en pépinière de palmiers à huile en Amazonie brésilienne. *Oléagineux* 41 (11) : 483-489.
- Prévot P., Ollagnier M. (1957) Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. In : *Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales*, Paris, 1956, IRHO (Paris), p. 177-192.
- Taffin G. de, Ochs R. (1973) La fumure potassique du palmier à huile au Dahomey. *Oléagineux* 28 (6) : 269-273.
- Tampubolon F.H., Daniel C., Ochs R. (1990) Réponses du palmier à huile aux fumures azotée et phosphorée à Sumatra. *Oléagineux* 45 (11) : 475-484.
- Tan G.Y., Rajaratnam J.A. (1978) Genetic variability of leaf nutrient concentration in oil palm. *Crop Science* 18 (4) : 548-550.



Les chercheurs travaillent pour les planteurs, Plantations, recherche développement vous donne les résultats de leurs travaux

Researchers are constantly working for growers
Plantations, Recherche, Développement passes on the results of their work

Los investigadores trabajan para los plantadores
Plantations, recherche, développement les da los resultados de sus trabajos

Oil palm mineral nutrition¹

Caliman J.P., Daniel C., Tailliez B.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

CIRAD-CP's policy on oil palm mineral nutrition studies and management is based on the sensitivity of the plant analysis developed by Prévot and Ollagnier in 1957. The management methodology developed by IRHO² has been successfully used in a large number of ecological situations. Through this diversity, and scientific and technical advances, the methodology has given rise to increasingly specific and precise work and analysis tools.

Mineral nutrition management: a few reminders

Oil palm mineral nutrition management and fertilizer programming was described by Ochs (1985). The efficiency of the method results from a close combination of experimental rigour and survey flexibility. Palm mineral nutrition is monitored through a leaf analysis survey. The fertilizer schedule is drawn up in accordance with reference trial results.

The aim is always to limit application rates to what is strictly necessary, thereby fitting production requirements to socio-economic conditions, never losing sight of environmental conservation, for renewable agriculture.

Methodology

Reference trials

These are set up in the same plantations. Each trial is representative of the sites where mineral nutrient uptake and assimilation mechanisms are similar, though perhaps of different intensities, which leaf analysis will pick up. Once fertilizers have been applied, these trials provide the yield and leaf content response curves for the quantities applied. Fitting these response curves to a mathematical model provides an estimate, by interpolation, of the different parameters essential for oil palm nutrition management. The use of leaf analysis as a plot fertility indicator is also based on these parameters.

The Mitscherlich model is often used:

$$R = a - b \exp(-cD)$$

where: R is the response, D the fertilizer application rate, a , b , c constants.

The yield response curve for the fertilizers applied (figure 1A) is used to calculate the economically optimum rate (EOR) based on local economic conditions (fertilizer costs, product selling price, etc.). The EOR corresponds to the rate for which the slightest increase is no longer compensated for in value by a corresponding increase in yields. The yield response curve also forecasts the expected yield losses when fertilizers are rationed.

The leaf content response curves for the fertilizers applied (figure 1B) is used to calculate the mineral content corresponding to the EOR. It is called the reference content, or often the critical level.

It is important to note that the EOR largely depends on economic conditions, whereas the critical level is much more sensitive, since the representative point is usually located in the asymptotic part of the leaf content curve.

A simple fertilizer schedule for use by the plantation can then be drawn up by allocating the calculated EOR to this optimum content. For lower or higher contents, the fertilizer rate varies depending on the intensity of the response to fertilizers obtained in the reference trial. This intensity is represented by the slope of the curve for content response to fertilizers. In this way, and for a scale of leaf contents, the fertilizer rates necessary and sufficient for adjusting oil palm nutrition to the desired optimum are obtained.

With the in-depth knowledge of oil palm reactions in a given situation provided by repeated application of the simple schedule, more complex schedules have sometimes been drawn up, such as self-converging schedules, which take into account the fertilizer rates applied the previous year. An initial step towards modelling has been taken, using the following simple linear model:

$$D_n = D_{n-1} + a(N_{n-1} - N_n) + b(N_c - N_n)$$

where: D_n is the application rate in year n ;

N_n is the mineral content in year n ;

N_c is the reference content;

a , b , c are coefficients.

Modifications in the fertilizer rates to be applied compared to the previous year are calculated from the tables drawn up from this model, in accordance with changes in leaf content, taking into account its position in relation to the reference content.

Leaf analysis survey

This is carried out each year on fixed survey units determined taking into account all the possible sources of heterogeneity (soil, palm age, planting material, etc.).

Application of previously established fertilizer schedules leads to a fertilization programme that corresponds to the true requirements of the oil palms, incorporating the knowledge acquired of their reaction to the environment.

The results are checked regularly, both outside CIRAD (Wageningen: *International Plant Analytical Exchange*; Inter-Institute Committee) and automatically, by introducing a reference sample every 20 samples analyzed. Regular exploitation of the results obtained on the latter (almost 500 per year) detects any drift or loss of reliability and helps in finding the causes and putting matters right (table 1).

Each result is checked to detect any one-off errors, taking into account the following points:

- knowledge of field conditions;
- natural relations between the elements, N/P, N/S synergism, K/Ca, K/Mg, K/B antagonism, etc.;
- element by element comparisons of the contents observed from one year to the next for samples taken on a regular basis.

With these techniques, 10% of the results are checked in the laboratory and 1 value in a 100 needs correction.

Mineral analysis of samples: result validation

The accuracy and precision of leaf mineral analyses are prerequisites for the success of the methodology described above. CIRAD-CP is very particular about the reliability of analysis results and a set of checks (box 1) has been developed in the laboratory and by the Agronomy Research Unit.

The methodology is continually updated in the laboratory to incorporate the latest scientific and technological advances.

Mineral nutrition: trial results

CIRAD-CP has studied oil palm mineral nutrition in a wide variety of ecological situations. Its network includes a hundred or so trials adapted

(1) This article is a transcript of a paper presented to the PORIM, Kuala Lumpur on April 1994 at the 14th Advisory Committee Programme

(2) IRHO: an independent Institute, then a CIRAD Department, which is now part of the CIRAD Tree Crops Department, or CIRAD-CP in November 1992.

to local conditions. Dominant features can be associated with geographical positions:

- potassium fertilization on tertiary sands in West Africa;
- nitrogen and phosphorus fertilization on volcanic soils in Sumatra (Indonesia);
- nitrogen and potassium fertilization on sedimentary soils in Sumatra;
- phosphorus fertilization in the sedimentary basin of the Amazon in Brazil;
- chlorine fertilization on the alluvial and colluvial soils in Colombia, in the Amazonian part of Ecuador and Peru, and more generally, in the continental zone distant from marine influences.

However, many local variations occur in addition to the major ones, such as deficiencies:

- magnesium on the highly desaturated sandy ferrallitic soils in Cameroon;
- phosphorus on the soils derived from the Precambrian substratum in Côte d'Ivoire;
- magnesium in the Amazonian part of Ecuador;
- copper in some parts of the Amazonian sedimentary basin in Brazil.

On the whole, the situations studied indicate that the physico-chemical data conventionally measured for soils and the rocks from which they were derived reveal certain dominant features of oil palm nutrition. However, many variants occur, as much in the intensity of the phenomena involved as in the fundamental characteristics themselves, in which lies the success of the management method used. This in no way prevents the search for a greater understanding of the phenomena occurring; on the contrary, it encourages it.

The results given, based on situations encountered, attempt to show certain general and sometimes specific features of oil palm nutrition in the major soil and climatic situations. They also illustrate the methodology used.

Nitrogen nutrition

For nitrogen nutrition, chemical analysis of the soil provides no idea of inherent nitrogen deficiencies or of responses to nitrogen fertilization.

In West Africa, nitrogen deficiency occurs fleetingly just after planting, due to the low total nitrogen contents of the soil (table 2). Urea applications increase leaf N contents in young palms, with a positive effect on young palm growth prior to the first yields, and sometimes with a very brief effect on yields as in trial DA 18 in Côte d'Ivoire (table 3). Under certain, very specific conditions, a nitrogen deficiency may be induced by secondary factors such as erosion, temporary waterlogging or the existence of highly competitive weeds such as *Imperata cylindrica*. In some plantations in Benin, the

soils impoverished by overcultivation are no longer able to provide sufficient nitrogen for oil palms (Djegui, 1992). It is very difficult to correct this deficiency with mineral fertilizers and most of the time it is not cost-effective, so other corrective measures are sought, such as introducing shrubby legumes either as intercrops or during fallow periods.

On the volcanic or sedimentary soils in Sumatra, which are richer in total nitrogen (table 2), there is a much clearer and greater response to nitrogen fertilization (table 3). Trial AL 1 shows that this effect is often combined with a response to phosphate fertilization (table 4). Urea increases leaf N and P contents (in the presence of Triple Superphosphate = TSP) and an N/P balance can be reached with less phosphate fertilizer. Combined with 1.5 kg of TSP, a 3 kg application of urea increases yields by 50 kg of FFB/palm/year. In practice, throughout the SOCFINDO plantations, applying the amounts of fertilizer calculated (EOR) has apparently led to urea cost-effectiveness (kg of FFB/kg of urea) of between 6.0 and 17.5 depending on the site and time of year. It has not been possible to find a systematic relationship between such fertilizer cost-effectiveness and soil origin, but all the trials in which no clear response to urea applications has been obtained are on sedimentary soils.

Content variations with age

Leaf nitrogen contents generally diminish with age. This may be due to dilution or a change in nitrogen metabolism in line with the physiological age of the palms.

In West Africa, this drop can vary in degree depending on the site. In trial DA 18 (table 3), at 13 years, the contents are still around 2.80%, whereas at a neighbouring site (trial DAES 144), contents fell to between 1.84% and 2.27% during the 14-18 year period. In this case, applying 2 kg of urea/palm/year during 5 years was not enough to increase leaf contents.

In the Amazonian basin (trial BEL 1) a considerable drop in contents was recorded after 10-12 years. Ammonium sulphate or urea applications lessened the fall, i.e. N=2.32% rather than 2.16% in the 17-year-old control, but had no effect on yields.

In Ecuador, on volcanic soils, urea or ammonium nitrate applications (trial TT 1) are not enough to increase contents, which amount to 2.35% at 16 years.

On the volcanic or sedimentary soils of Sumatra, the network of eight SOCFINDO experiments has been used to develop a model for variations in nitrogen critical levels with age (Tampubolon *et al.*, 1990). The curves for yield and content responses to fertilizer application rates were used to calculate the EORs and corresponding critical levels at the eight sites for economic conditions whereby a gain of 5 kg of

FFB compensates for a 1 kg application of fertilizer. The results reveal a drop in critical level in line with age, which can be fitted to the equation (figure 2):

$$Nc = 3.192 - 0.059n + 0.001n^2$$

where Nc is the critical level and n the age of the palms.

This relation can be used to explain 90% of the variations observed.

Persistence of fertilizer application effects

Trial SL 1 is on sedimentary soils of Sumatra. Applying urea from the age of 6 years onwards (table 3) had an immediate positive effect on leaf contents, whereas yields did not significantly increase until 11 years; nevertheless, a non-significant positive effect was seen as early as 9 years. From 13-14 years, the trial was split in two, and half of the plots no longer received nitrogen. Then, from 15 to 16 years, the N treatments were applied to all the plots and, since the age of 17, the trial has once again been split in two. The results show an almost immediate effect, i.e. the year after fertilizers were halted or resumed, on leaf nitrogen contents (figure 3). The production campaign following these observations is subsequently affected. These observations show that there is virtually no persistence of urea application effects on these soils and that deficiencies can be corrected rapidly.

Conclusion

As our knowledge stands at the moment, it is difficult to link oil palm responses to nitrogen fertilization taking the chemical characteristics of the soil as an indicator. Studies are required to ascertain why the soils in Sumatra favour oil palm deficiencies even though they are rich in total nitrogen, whereas those in West Africa or Latin America only do so very rarely. Does this difference arise from higher nitrogen requirements due to higher yields, or from less effective mineralization of soil nitrogen or fixation of atmospheric nitrogen?

Phosphorus nutrition

The most serious phosphorus deficiencies are found in Indonesia on the volcanic soils of Sumatra, and in Brazil in the sedimentary basin of the Amazon, on soils of very different textures. There are also some deficiencies in West Africa on soils formed from the Precambrian substratum. In Benin, on ferrallitic soils called «bar soils», phosphorus deficiencies only occur when irrigation attenuates the water deficit, the main limiting factor.

Responses to phosphate fertilizer applications have reached 50 kg of FFB/palm/year (almost 50% more than the control) in Indonesia for annual applications of 650 to 750 g/palm of P_2O_5 (table 4). In Brazil (trial BEL 1), the oil palms produced an extra 57 kg of FFB/palm/year, i.e. twice as much as the control, for annual

applications varying from 300 to 700 g/palm of P_2O_5 depending on the age of the palms.

Chemical characteristics of the soil: a fertility indicator for P

An analysis of the results obtained in the CIRAD-CP trial network reveals a clear relation between the physico-chemical characteristics of the soil and responses to phosphate fertilizers. Thus phosphate quantitative analysis methods such as total P^3 , Saunders P^4 , Olsen P^5 or Bray No. 2 P^6 , are quite good indicators of soil fertility for this nutrient.

However, the results obtained in certain experiments that are representative of the diversity in the situations encountered reveal a few particular cases where the reactions can be clarified by special analysis methods such as determination of P extracted by resins, or the phosphorus fixation capacity of the soil (figure 4). Thus, the absence of a response in TG 2 despite very low soil P contents, could be due to a very high fixation capacity in the soil. In AL 1, the response recorded is much greater than predicted by Total P or Olsen P analysis, but tallies with that for Saunders P, Bray No. 2 P or P extracted by resins.

Hence, it would seem that a good indicator of soil P fertility needs to be a combination of at least two different P titration methods (e.g. Olsen and resin extraction). It has been possible to deduce threshold values, below which there is a high probability of encountering a response to phosphate fertilizers:

Total P: 400 ppm, Saunders P: 130 ppm,
Olsen P: 30 ppm, Bray No. 2 P: 15 ppm.

P nutrition management

The existence of strong nitrogen and phosphorus uptake and assimilation synergism means that P contents cannot be judged without referring to N contents. This phenomenon undoubtedly results from the quite constant N and P composition of plant proteins. The results recorded in a certain number of experiments, including AL 1 (table 4) are highly representative and show this synergism effect obtained on phosphorus contents when nitrogen nutrition is improved.

Based on observations in AL 1, Ollagnier and Ochs (1981) proposed a model for variations in critical P contents depending on N nutrition (figure 5). This «critical curve» can be represented by the following equation:

$$P = 0.0487 N + 0.039$$

where : P is the phosphorus content (%) and N is the nitrogen content (%).

The results obtained in the other ecological situations fit perfectly to this model, which explains the lack of response in some trials.

Tampubolon *et al.* (1990) carried out an additional study to check that this N/P balance was confirmed irrespective of palm age and was not particularly sensitive to economic fluctuations, within certain limits of course.

Persistence of fertilizer application effects

Halting fertilizer applications after a long period of fertilization was studied in Indonesia (IRHO, 1989), in trial AL 1. Seven years after applications were halted, no negative effect was seen on either leaf contents or yields. This can be attributed to the gradual saturation of the soil's fixation capacity by surplus amounts of P provided by fertilization, P rates which were necessary, moreover, given the chemical status of the land when the plantation was set up. This is an important result, since it means that phosphate applications can be reduced on these soils, or even temporarily halted, once the critical level is reached. In each situation, the persistence of fertilizer effects will probably depend on the amounts of phosphate applied beforehand, in line with the extent to which the fixation capacity is saturated.

Mycorrhiza studies

An examination of oil palm roots under natural conditions reveals the presence of vesicular-arbuscular endomycorrhizas. The work by Blal (1989) revealed that, as with many plants, oil palm seedling growth in a sterile soil is highly dependent upon mycorrhization. The effect varies depending on the soils. Moreover, the different use made of the phosphates applied (single super phosphate, natural phosphate, etc.) may be linked to the presence of specific mycorrhizal complexes. However, isotopic dilution techniques have shown that mycorrhiza ensure better use of phosphorus in the soil solution and not direct use of the fertilizers.

Potassium nutrition

Potassium deficiency is by far the most common deficiency encountered in all oil palm growing regions, because the requirements of the plant are considerable and the soils in the oil palm growing zones are usually desaturated and very poor in exchangeable and total potassium.

Even so, substantially different responses to potassium fertilization can be found depending on soil and climatic conditions. These differences are reflected in a critical level that varies considerably from one site to another, and it is not always possible to attribute them to the conventionally measured chemical characteristics of the soil, such as exchangeable or total potassium. Greater importance therefore has to be accorded to the water supply to the plant and mineral nutrient dynamics in the soil.

Effect of soil conditions

In West Africa, most oil palm plantations are located on highly desaturated ferrallitic soils which differ in texture. They have certain chemical characteristics in common, such as a very weak cation exchange capacity, with a sum of exchangeable bases (Ca + Mg + K) rarely exceeding 1 meq/100 g⁷. Potassium only represents a few hundredths of a meq/100 g, whereas the threshold level of the topsoil has been estimated at 0.15 meq/100 g (Ochs, 1965). This low exchange capacity is linked to the low fixation capacity of the kaolinite making up almost all the clayey fraction, but it gives clear and rapid responses to potassium fertilization.

All the experimental results obtained by IRHO in Côte d'Ivoire indicate that potassium fertilization is necessary as soon as the palms are planted in savannah zones, whereas in forest zones it is not required for several years, since potassium is returned to the ground via forest debris. In replantings, requirements occur later in both cases, probably due to the relative potassium enrichment of the absorbing complex by fertilizer applications on the previous generation and the subsequent fertilization provided by decomposition of felled palms.

Potassium deficiency intensity and the degree of response to fertilizers therefore depend on the situation:

- in the first oil palm generation after clearing, oil palm potassium nutrition can be satisfactorily ensured for 6 to 11 years from the initial small reserve in the soil and by K return via forest residues. Thereafter, K contents drop below 0.95% and 0.90%. Yields are affected one to two years later, which generally means there is time to intervene with annual applications of 1 000 to 1 500 g of KCl/palm. It is also possible and advisable to forestall such a drop in leaf contents by a small KCl application (500 g/palm/year) right from a young age. In a trial where annual applications had been halted after a few years' regular fertilization, the effect of the applications was seen to persist for around two years.
- in the first generation after *Imperata cylindrica* savannah clearance, the palms show severe deficiencies by the third year, with leaf contents dropping to as little as 0.50%. In such a case, the response to potassium fertilizer is therefore more rapid and more substantial than in a forest zone. The EOR is 2 250 g of KCl/palm/year and the corresponding critical level is 0.90%;
- in replantings, the deficiency occurs later and fertilizer requirements are lower. In experiment LM 27 in a forest zone, the K contents of unfertilized palms remained above 0.95 and 0.90% for 10 to 13 years;

(3) Total P = perchloric and nitric attack.

(4) Saunders P = hot extraction by 0.1 N soda.

(5) Olsen P = extraction by a reagent composed of 0.5 N NH_4F and 0.5 N $NaHCO_3$ at pH 8.5.

(6) Bray No. 2 P = extraction by 0.003 N NH_4F and 0.1 N HCl.

(7) measured by the cobalthexamine method.

annual applications of 800 g of KCl/palm have kept contents at more than 0.90% for 18 years. The critical level is 0.90%. In a savannah zone, trial DA 18 indicates that contents remain above 0.90% for 5 years and applications of 500 to 1,000 g of KCl/palm have been sufficient to keep contents above 0.90% up to 12 and 14 years. The critical level is 0.80%.

The response curves calculated for trials in Côte d'Ivoire and Cameroon have enabled relations to be established between yields and leaf K contents (Ochs *et al.*, 1991). Yield losses are thus estimated at 5% of production potential on average per 0.1% step in contents. The curves for leaf content response to the fertilizers applied were used to draw up a fertilizer schedule (table 5) for use by growers in the region, sometimes subject to slight modifications under exceptional circumstances.

There is a wider variety of situations in Indonesia. On sedimentary soils, quite similar to the soils in Africa, there is a potassium deficiency that is relatively easy to correct if the parallel N, Mg and sometimes P deficiencies are taken into account. The problem is totally different for alluvial or volcanic soils, which are characterized by a different type of clay and by a higher sum of exchangeable bases. Volcanic sediments have a high total potassium content. Under these conditions, responses to potassium fertilizers (sometimes several kg of KCl/palm/year) are slight and often nonexistent, despite leaf contents that could be considered low to deficient.

In Colombia, on the San Alberto alluvial deposits, the above problem is combined with a dominant chlorine deficiency.

Effect of climatic conditions

In fertilizer trials set up in ecological situations without a water deficit, critical K levels are seen to be substantially lower than those usually observed under similar soil conditions but with a less favourable water supply. Thus, trial SG 1 on the west coast of Sumatra revealed contents that have dropped from 0.70% to 0.40% in 10 years in the control plots. An application of 1.5 to 3 kg of KCl/palm/year significantly improves contents, which stabilize at 0.70 and 0.80%, but there is virtually no effect on FFB production.

In Benin, where the water deficit frequently exceeds 500 mm/year, de Taffin and Ochs (1973) demonstrated that the optimum K level and EOR varied depending on drought intensity.

An analysis of the results obtained in the network (Ollagnier *et al.*, 1987) indicates that the critical level largely depends on the water supply to the palms, with a maximum for a mean water deficit of around 200 mm/year (figure 6). The suggested explanation for this is that potassium plays a dual role of both a nutrient and an element favouring drought tolerance.

Potassium dynamics in soils

On ferrallitic soils, leaf contents are sensitive to the slightest variation in fertilizer application rate, unlike some volcanic soils that have a higher exchange capacity. Potassium dynamics have been studied in different types of soil (Ouvry, 1985; Fallavier and Olivin, 1988; Fallavier *et al.*, 1989).

KCl was applied to earth columns, followed by daily percolations of a total equivalent of 875 mm of rain. The percolates were collected for analysis, as were the soils at the end of the experiment. The analysis attempted to separate the exchangeable elements, soluble elements and energetically fixed forms.

The results indicate that potassium is primarily exchanged with calcium and magnesium; the latter is more easily displaced. The La Mé soil (LM) in Côte d'Ivoire retained 17% of applied K, of which 15% was in exchangeable form. The Aek Loba soil (AL) in Indonesia, which is of volcanic origin, retained 46% of applied K, of which 39% was in exchangeable form, 9% resulting from the creation of new charges in the exchange complex; 7% of the K was fixed.

AL percolates are much less rich in potassium (17%) than LM percolates (81%), but they contain a high proportion of calcium, which led Ollagnier *et al.* (1987) to use the K: (K+Ca) ratio as an indicator of «calcium pressure» in the soils (table 6).

If a certain analogy is accepted between the composition of these percolates and the soil solution in place, and given these results, the calcium pressure exerted and the K-Ca uptake and assimilation antagonism that characterizes oil palm, explain why potassium uptake is difficult in the two soils of Andean and volcanic origin.

These earth column analyses were completed with a more fine-tuned analysis of potassium exchange phenomena, using various laboratory techniques: maximum K retention capacity, absorption isotherms, isotopic dilution kinetics (Fallavier *et al.*, 1989). The results revealed three exchangeable potassium - Ke - values (table 7).

These results show leaching sensitivity thresholds. Although it is difficult to assimilate these laboratory operations to field reality, it can still be seen that the rates usually provided by the fertilizer schedules developed by CIRAD-CP approximately correspond to intermediate compartment filling, which means little risk of loss by leaching.

The effect of the anion accompanying the K in the fertilizer has also been studied. The nitrate form is seen to result in lower potassium retention compared to the chlorinated form (15% at LM and -5% at AL). The sulphate form

leads to a substantial improvement in the amount of K retained by the soil (+10% at LM and +35% at AL). This phenomenon is attributed to the specific adsorption of the SO_4^{2-} ion, which increases the density of negative charges, thereby favouring cation retention.

Magnesium nutrition

Although oil palm requires much less magnesium than potassium, there are similarities between magnesium and potassium nutrition, the mechanisms of which seem to be dominated by cation balances in the soil and nutrient assimilation by the plant.

Combined with the very nature of the clays involved, this is probably the main reason why the response to magnesium fertilizer depends quite closely on soil type:

- on desaturated ferrallitic soils, Mg uptake is quite easy and the critical level is simple to determine;
- however, on alluvial or volcanic soils, responses are far more inconsistent and the critical levels difficult to approximate.

Sandy ferrallitic soils in Cameroon

On the desaturated sandy soils of the coastal zone in Cameroon, which are also called «acid sands», there is a Mg deficiency in addition to the K deficiency which is common on these sedimentary soils. Given the antagonism between magnesium and potassium as regards root uptake, the search for balanced mineral nutrition can only be rational if these two nutrients are balanced in the leaf analysis. Thus, in trial CA7, there is a dual response to potassium and magnesium fertilizers, whose effects are combined. The critical levels and corresponding EORs are as follows (for an economic ratio of 5 kg of FFB per kg of fertilizer):

critical K	= 0.90 %
	EOR = 800 g KCl/palm
critical Mg	= 0.22 %
	EOR = 500 g kieserite/palm

The fertilizer schedule has to take account of the reciprocal effects of applying one of the nutrients on the other nutrient. For a given K content, the recommended amount of KCl will be adjusted according to the kieserite rate applied.

Andean soils in Ecuador

In the Amazonian region of Ecuador, oil palm mineral nutrition is primarily characterized by a dual magnesium and chlorine deficiency, which is reflected in relatively low leaf contents of Mg = 0.15% and Cl = 0.20%. Trial SH2 shows that applying magnesium chloride corrects both deficiencies, with improved yields, but also that merely applying sodium chloride, which raises Cl contents, also leads to a correlative improvement in Mg contents. It remains to be determined whether this phenomenon corresponds to synergism between Cl and Mg, or whether it might

be an indirect result of K/Mg antagonism, since NaCl contents depress K contents.

Magnesium dynamics in soils

A laboratory study similar to the one described for potassium was carried out on soils with different responses to magnesium fertilization (Fallavier and Olivin, 1988). The soils studied were all from Latin America. The results showed that applied magnesium is mainly exchanged with calcium, without displacing potassium. A quantitative analysis of the retained magnesium indicated a difference in reaction related to the ease with which the magnesium deficiency can be corrected in the field. The soils in which the deficiency is easy to correct have a magnesium retention rate of more than 10% (/meq CEC⁸). The soil at Tatiana (Ecuador), where the deficiency is severe and very difficult to correct, stands out through its very low applied magnesium retention rate (5 to 6%), despite an absorbing complex saturation rate that is also low (15%). The combination of these two parameters, CEC magnesium saturation rate and applied magnesium retention rate, in an earth column could be a good indicator for studying responses to magnesium fertilizers.

Chlorine nutrition

The importance of chlorine in oil palm mineral nutrition was demonstrated by Ollagnier and Ochs (1971) from results obtained at the San Alberto plantation in Colombia. Correction of the Cl deficiency led to a 15% increase in FFB production and substantially modified bunch composition.

In a trial in Colombia, correction of this deficiency led to greater bunch weight, through an increase in the number and size of fruits and kernels, with a 500 kg/ha increase in oil production and a 660 kg/ha increase in kernel production (Ollagnier et Olivin, 1984).

In Peru, on a site separated from the ocean by the Andes, a 2.5 kg application of KCl/palm/year improved yields by 25% (table 8). Leaf analyses clearly indicated that this increase was a result of correcting the chlorine deficiency.

These results argue in favour of a critical level of around 0.50%. The cases encountered to date are still too few to reveal any variations in this level depending on ecological parameters.

Trace elements

The effect of trace elements was studied in a seedling growth chamber (Dufour and Quencez, 1979; Eschbach, 1980). Boron, iron and copper deficiency symptoms have been described in the laboratory and sometimes in the nursery and the field too. These deficiencies are rare in plantations, except for boron, which is frequently deficient in the most ecologically favourable zones

where plant matter production is high (Corrado *et al.*, 1992).

Peat, which is a very particular growing medium, is characterized by inevitable trace element deficiencies, systematic for copper and very frequent for zinc, iron and manganese.

On mineral soils, a copper deficiency can be seen in the impoverished ferrallitic tertiary sediments in Brazil (Pacheco *et al.*, 1986).

Once identified, such deficiencies are usually easy to correct. Oil palm mineral nutrition management for trace elements is identical to that applied for macroelements: a combination of leaf analysis and field trials.

As with observations carried out on other plants, the age of the leaf analyzed has to be very carefully determined, since these mineral elements often intervene at very precise stages of plant growth and for some of them, e.g. zinc, it may be preferable to analyze leaves younger than rank 17, the one usually sampled.

Prospects for improved management and diagnosis

Planting material - mineral nutrition interaction

Few studies have been made to date of the interaction between planting material and mineral nutrition (Tan and Rajaratnam, 1978). Some crosses reveal particular susceptibility to magnesium deficiency.

With the appearance of plants obtained by *in vitro* tissue culture, assumed to be more homogeneous within the same planting material, especially as regards mineral nutrition, specific studies need to be carried out to fine-tune the management of future plantations taking variability between genetic strains into account.

A preliminary survey by Gnyoro (1992) revealed different performances that can be attributed to characters inherent to the planting material. For example, the control line L2T x 10D has consistently lower K contents and correlatively higher Mg contents than clone LMC 051 (table 9). In Indonesia, in a progeny comparative trial, cross L404D Self x L2T Self had consistently lower nitrogen contents than the other crosses, despite slightly greater fertilization (table 10).

However, no conclusions can be drawn as to the origin of the differences from these observations, which are obviously a preliminary step. Do they indicate different requirements for expressing their yield potential or different mineral nutrient uptake capacities? Only specific fertilization field trials will provide answers to these questions as our knowledge stands at present.

Border effects in trials

Horizontal development of the oil palm root system over several metres is a problem in

fertilization trials. Border palms in the plots can poach mineral nutrients from neighbouring plots. During trial analyses, this phenomenon is taken into account by discarding a certain number of border palms. The number of palms discarded in this way is important, since it governs experimental plot size, hence the cost of the trials, for a given level of precision.

Studies by Ballo *et al.* (1993) in a trial studying potassium nutrition, showed that there are indeed gradients along experimental plot borders, for both mineral nutrition, and growth and yields (figure 8). The authors deduced that it is best to leave at least two border rows per elementary plot.

Researchers at the Bah Lias station in Sumatra have observed the same phenomena (London Sumatra Indonesia, 1992). They reached the same conclusion and even advise adding a 0.75 m deep trench all the way round elementary plots.

However, the first such studies showed that trial results are not fundamentally modified by this effect, but their precision could be further improved. The size of the trial would be considerably increased, unless the number of useful palms is reduced, which should be possible with clone studies.

Remote sensing, a plantation diagnosis aid

Several research operations have been carried out to determine the effectiveness of remote sensing as an oil palm plantation diagnosis and monitoring aid (Naert *et al.*, 1990; Nguyen *et al.*, 1993). The results show more or less close relations between spectral signatures and certain oil palm characters, including mineral nutrition status. Further studies are required but it is reasonable to assume that remote sensing will initially enable more rational mapping of leaf analysis checks and will be a substantial help in drawing up plantation diagnoses.

Decision-making aids - data processing

Data processing, first used at the beginning of the 1980s, has simplified results analysis and data management. As our knowledge stands at the moment, it can be used as a decision-making aid for mineral nutrition management, which accounts for the major share of production costs and which should therefore correspond as closely as possible to true requirements. To this end, a new software package is being developed by CIRAD-CP. It will comprise several modules enabling its use on different levels:

- plantation fertilizer management: three sub-modules:
 - plot data recording (yields, leaf analyses, fertilizer applications, soils, etc.);
 - fertilization programming based on fertilizer schedules drawn up in parallel;

(8) CEC = Cation Exchange Capacity

- editing, to display results per plot or per unit (age categories, planting material, soil type, etc.),
- analysis of plantation results :
 - study of fertilizer schedule effectiveness: effect on mineral nutrition and yields. This will be a so-called «open» module in that it will authorize computer editing for implementation of predefined or programmable analyses.

Conclusions

The methodology proposed by CIRAD for mineral nutrition management in oil palm plantations is based on the ability of plant analysis to reveal the mineral nutrition status of this plant. It is

necessary to have precise, accurate and reliable laboratory analyses, otherwise the quality of the experimental results and fertilizer recommendations will be jeopardized.

Analysis of the results obtained in the experimental network sometimes provides soil fertility indicators, as with phosphorus whose determination provides an idea of a possible response to fertilization.

The ongoing acquisition of knowledge about plant functioning and its relations with the soil has enabled different authors to propose models relative to certain «fragments» of mineral metabolism (changes in nitrogen nutrition with age, N/P balance).

Studies of mineral nutrient metabolism in the plant need to be carried out to model the phenomena involved, all of which should lead to an overall diagnosis. Would not the best understanding of the differences observed in nitrogen nutrition depending on the site (West Africa, Asia) be obtained by the study of the nitrogen metabolism within the plant and of its possible link with the carbon metabolism and photorespiration, as has been shown for C3 plants?

Lastly, decision-making aids for more effective mineral nutrition management on plantations should shortly be available. ■

MONDE
■ Subventions et prêts du groupe de la CFD

Concernant les cultures pérennes, on relève, pour 1993, les prêts et les subventions du groupe de la CFD (Caisse française de développement) aux projets suivants :

Cameroun : programme d'investissement de deux sociétés d'exploitation de bananeraies (prêts Proparco de 14 MF).

Côte d'Ivoire : acquisition de 120 décortiqueurs de café destinés à être vendus à des groupements (prêts de 2,8 MF) ; financement des intrants nécessaires à l'entretien des plantations de Coopagrum (prêts de 3,4 MF) ; restructuration et développement d'une entreprise de transformation de fruits (prêts de 10 MF) ; financement partiel des investissements d'une société de plantation d'hévéas (prêts Proparco de 8 MF) ; financement de la prise de participation d'un investisseur français dans le capital d'une société ivoirienne d'exportation de cacao (prêts Proparco de 3,8 MF).

Papouasie-Nouvelle-Guinée : consolidation financière d'une entreprise de production et de traitement de café (prêts Proparco de 58,2 MF).

Vanuatu : réhabilitation et extension d'une cocoteraie (prêts Proparco de 1,5 MF).

Ghana : projets de plantations d'hévéas (prêts de 5,4 MF) ; mise en exploitation par la *Benso Oil Palm Ltd* (BOPP) de 1 446 ha de palmier à huile (subvention de 3 MF et prêts de 12,1 MF).

Madagascar : opération pilote d'appui à la filière litchis (subvention de 0,31 MF). *AA* 7-8/1994

■ Le réseau «Oléa Info» fonctionne

Couvrant 36 structures dans 13 pays (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, République Centrafricaine, Côte d'Ivoire, Gabon, Ghana, Guinée, Mali, Nigeria, Sénégal, Tchad, Togo), soit 90 % de la production oléagineuse des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre, le réseau d'information Oléa Info est devenu opérationnel depuis janvier 1994. Mis en place par l'Aproma, l'ADPH (Association africaine pour le développement du palmier à huile) et le CAA (Conseil africain de l'arachide), ce réseau d'informations oléagineuses :

- reçoit les informations (évolution de la production, échanges, taxations, marchés,...) des correspondants-informateurs ;
- traite les informations, les stocke et les diffuse par un bulletin bimestriel auprès des opérateurs impliqués dans le réseau ;

- fournit, une fois par an, des données générales sur le secteur oléagineux des pays concernés ;
- organise une réunion annuelle de mise au point.

L'Aproma, organisateur de ce réseau, examine, cas par cas, l'admission au réseau. *Aproma* 9/1994

■ Soutien de l'Union européenne à la recherche sur le caféier et le palmier

L'Union européenne a retenu en juin 1994 deux propositions de recherche présentées par l'unité de recherche défense des cultures du CIRAD-CP auxquelles elle apportera un appui financier. Le premier sujet s'intitule : «Recherche et création de variétés de caféiers résistantes à l'antracnose des baies». Cette étude sera effectuée avec la participation du *Centro de Investigação* (Portugal), de la *Coffee Research Foundation* (Kenya) et de l'Institut de recherches agronomiques (Cameroun). Sa durée est de quatre ans. Le responsable scientifique en est Dominique Berry. Le sujet de la seconde proposition est : «Optimisation des techniques de sélection du palmier à huile à l'égard de la fusariose et prise en compte de l'interface racine/sol dans l'évaluation de la résistance». D'une durée de trois ans, cette étude sera réalisée avec la collaboration de l'Université de Bath (Grande-Bretagne), l'Université libre de Bruxelles, l'Université Claude Bernard de Lyon, l'Institut des Forêts (Côte d'Ivoire) et l'*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria* (Brésil). Le responsable scientifique en est Hubert de Franqueville. Ce projet, financé dans le cadre du programme Science et technique pour le développement III (STD 3), fait suite à l'étude intitulée : «Mécanismes des réactions de défense du palmier à huile vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. Etudes cytologiques et analyses biochimiques. Application au renforcement des critères de sélection». *CIRAD Information* 13/9/1994

■ Bilan positif de la dévaluation du franc CFA en Côte d'Ivoire

Lors de sa conférence de presse du 29/9/1994, le premier ministre ivoirien, M. Daniel Kablan Duncan, a dressé un bilan positif des effets de la dévaluation du franc CFA. Il a confirmé que la reprise de l'activité économique devrait donner à la Côte d'Ivoire un taux de croissance de 2 % en 1994 et de 6 % en 1995. Cette amélioration est due à la reprise de la compétitivité des exportations. Ainsi, on peut déjà noter une augmenta-

tion de production du caoutchouc (+ 7 %), de l'huile de palme (+ 17 %), de la banane (+ 4 %) et de l'ananas (+ 7 %). Le gouvernement a décidé d'augmenter les prix du café Robusta, trié et lavé, aux producteurs, en le portant à 530 francs CFA, soit une augmentation de 93 % en l'espace de neuf mois. Les prix aux producteurs de cacao passent à 315 francs CFA (+ 58 %), le coton premier choix à 150 francs CFA (+ 114 %). Les prix aux producteurs de l'hévéa et du palmier à huile ont, eux aussi été augmentés, de 50 % et de 39 % respectivement. *MTM* 14/10/1994

■ Côte d'Ivoire : la SIPH rachète les actions de la Soca 2

La Société internationale de plantations d'hévéa (SIPH) a signé le 1er juillet un protocole de rachat des actions de la Soca 2 (Société de réalisations et de gestion de projets café et cacao) détenues par des sociétés des groupes C3D (Caisse des dépôts développement) et Socfin (Société financière des caoutchoucs). *MTM* 19/8/1994

■ Privatisation contestée de la CDC au Cameroun

La *Cameroon Development Corporation* (CDC ou Camdev) figure parmi 14 autres entreprises publiques destinées à être privatisées. Aujourd'hui la Camdev, première entreprise agro-industrielle du pays, emploie en permanence 13 000 personnes, elle exploite 40 000 ha de cultures : thé, bananes, caoutchouc, poivre, palmier à huile, et assure la transformation et la commercialisation de ses produits. Fondée au début du siècle, elle acquiert sa structure actuelle en 1947.

Cependant, la Caisse française de développement (CFD), un des principaux bailleurs de fonds du Cameroun, conditionne ses financements à une volonté manifeste de privatisation des entreprises publiques. D'après M. Jurgensen, directeur général de la CFD «il faut que l'argent des contribuables des pays donateurs soit utilisé à bon escient». Le gouvernement camerounais a une dette de 220 millions de FF à la *Commonwealth Development Corporation* (CDC) laquelle s'intéresse à prendre des parts dans la Camdev. *MTM* 26/8/1994 ; *LAE* 5/9/1994 ; *LAE* 26/9/1994

■ Le groupe Saga s'intéresse aux plantations de palmier et d'hévéa du Cameroun

M. Pierre Aim, président-directeur général du groupe Saga (Société anonyme de gérance des armements) a déclaré à Yaoundé le 21/10/1994 que son groupe était intéressé par la reprise de

Nouvelles des filières

cinq sociétés camerounaises détenues majoritairement par l'Etat et en passe d'être privatisées. Dans le secteur agro-industriel il s'agit de Sodecoton, Socapalm et Hévécam. *MTM* 28/10/1994 ; *LAE* 31/10/1994

■ Subventions et prêts à la Guinée

Pour la troisième phase du programme de développement de la culture du palmier et de l'hévéa en Guinée forestière lancé en 1986, la Soguipah (Société guinéenne de palmiers à huile et d'hévéas) va recevoir 45 millions de FF de subventions et 10 millions de FF de prêts de la part de la Caisse française de développement. Cette phase a pour but de mettre en place les usines de traitement de l'huile de palme et du caoutchouc et de consolider la privatisation de Soguipah. Le coût total du projet est estimé à 243 millions de FF. La BEI (Banque européenne d'investissement), le FED (Fonds européen de développement) et la BAD (Banque africaine de développement) contribuent à ce financement. *AA* 9/1994

■ Harrisons & Crosfield cède son secteur plantations indonésiennes

Les plantations d'hévéa, de palmier, de cacaoyer, de caféier, de cocotier et de théier, ainsi que leur usines de transformation, de la *London Sumatra Indonesia* (Lonsum) du groupe *Harrisons & Crosfield* PLC ont été vendues au groupe indonésien *PT Pentanirwana Persada* (Napan) pour 275 millions de dollars. Lonsum comprend 19 plantations industrielles, couvrant 46 600 ha au Nord Sumatra, à l'est et à l'ouest de Java et au sud de Sulawesi. En 1992, Lonsum a produit : 27 933 t de caoutchouc, 20 561 t de palmiste, 80 791 t d'huile de palme, 5 113 t de cacao, 952 t de coprah, 1 402 t de thé et 1 212 t de café. Lonsum employait 12 000 personnes. Napan, nouveau groupe dans le secteur des plantations agro-industrielles, est dirigé par Henry Priyadi. Napan s'est surtout, jusqu'à présent, occupé de pétrochimie, de caoutchouc synthétique, de plastique... *Asian Wall Street Journal* 1/8/1994

■ Incendies de plantations

Des incendies auraient détruit au moins 1 210 ha de plantations de palmier à huile et d'hévéa dans la province de Riau, au centre de l'Indonésie. *MTM* 9/9/1994

■ Commerce Vietnam-Syrie

Le Vietnam et la Syrie ont signé, pour 1995, un protocole commercial d'un montant de 40 millions de dollars. Le Vietnam exportera du caout-

chouc en échange de coton, de fibres et de tabac fournis par la Syrie. *ERJ* 10/1994

■ Papouasie-Nouvelle-Guinée : l'huile de palme va dépasser le café

D'après l'Association des producteurs d'huile de palme de Papouasie-Nouvelle-Guinée, cette production supplantera bientôt le café à la première place des cultures d'exportation de ce pays. La production d'huile de palme de Papouasie-Nouvelle-Guinée a atteint 214 000 t en 1993, elle devrait augmenter de 15 % (30 000 t) durant les trois prochaines années. Au cours de l'année 1993, le gouvernement a dû déboursier plus de 37,4 millions de dollars pour soutenir les prix du café alors que l'huile de palme ne nécessite que peu ou pas de soutien. *Aprima* 5/94

■ Gestion des ressources naturelles au Brésil

Le PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) fait mention de deux projets intitulés «Coopération technique pour la gestion des ressources naturelles», l'un pour le Mato Grosso, l'autre pour le Rondonia. La capacité des organismes gouvernementaux et non gouvernementaux sera renforcée de manière à mener à bien des projets de développement économiquement, socialement et écologiquement durables. Les fonds seront utilisés pour la formation, la rémunération de consultants et les contrats de sous-traitance dans des domaines tels que la cartographie, les études de marché, les inventaires de ressources naturelles et les essais industriels. Les projets seront mis en oeuvre par les bureaux de planification des Etats. Principal agent d'exécution gouvernemental : l'Agence brésilienne de coopération. Montants des prêts BIRD (Banque internationale pour la reconstruction et le développement) : 12 855 130 dollars pour le Mato Grosso, 15 683 953 dollars pour le Rondonia. *PNUD Actualités* 3/10/1994

■ Chute des importations russes de matières premières

Des sources officielles signalent que les importations russes de café, thé, caoutchouc naturel et d'autres produits de base, ont chuté de 25 à 50 % durant les cinq premiers mois de 1994 par rapport à la même période de l'année précédente. *ERJ* 9/1994

COCOTIER

■ L'Inde augmente ses exportations de coïr

Durant la campagne 1993-1994, les exportations de coïr de l'Inde ont atteint 37 020 t. Le *Coïr Board* a pris des mesures pour moderniser son

industrie en vue de commercialiser le Polycoïr (mélange de 75 % de fibre brune et de 25 % de résine) qui est un excellent substitut du bois. *Cocomunity* 31/8/1994

■ Micropropagation du cocotier : coopération de l'Europe avec les pays producteurs

Le rapprochement des principales équipes travaillant sur la multiplication *in vitro* du cocotier a récemment abouti à la présentation d'un projet dans le cadre du programme européen Science et Technique pour le Développement. Le projet retenu par la CEE vise à approfondir les connaissances sur la physiologie des tissus de cocotier *in vitro* de façon à mieux maîtriser l'embryogenèse somatique chez cette plante réputée particulièrement récalcitrante à la régénération. L'ORSTOM, le CIRAD-CP, le *Wye College* (Angleterre), le laboratoire des marqueurs moléculaires de l'université de Hanovre (Allemagne), le *Centro de Investigación Científica de Yucatan* (CICY, Mexique), le *Philippine Coconut Authority* (PCA, Philippines) et la station d'amélioration du cocotier de l'Institut des forêts (Port Bouet, Côte d'Ivoire) participeront à ce projet sur trois ans (1995-1997). L'équipe mixte ORSTOM / CIRAD-CP a été désignée par l'ensemble des partenaires comme coordinateur du projet. *CIRAD Information* 13/9/1994

■ Volcanisme et coprah en Papouasie-Nouvelle-Guinée

Deux volcans, le Tavurvur et le Vulcan, sont récemment entrés en éruption près de Rabaul, un des principaux centres de production du coprah en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les fumées se sont élevées à plusieurs kilomètres et les cendres blanches se sont déposées sur une épaisseur de 75 cm tandis que la lave s'échappait des cratères. La ville de Rabaul a été sévèrement endommagée. L'état d'urgence a été décrété, la région compte 40 000 réfugiés rassemblés dans des centres d'hébergement et de soins. En 1992, Rabaul avait exporté 65 575 t de coprah (60 % du total national), et 42 967 t en 1993 (34 %). *Cocomunity* 30/9/1994

■ Recherche sur *Eriophyes guerreronis*, acarien du cocotier, en Jamaïque

Le CARDI (Institut de recherche et de développement de l'agriculture des Caraïbes - Trinidad) étudie l'incidence de l'acarien *Eriophyes guerreronis* sur la production du coprah, en Jamaïque. Cinq catégories de dommages ont été étudiées : 1 (= fruit non endommagé) à 5 (= fruits ayant plus de 80 % de dégâts et plus de 30 % de pertes). Dans les zones étudiées, les pertes en coprah ont atteint jusqu'à 80 % dans les fruits endommagés