

Influence du climat et du sol sur le niveau critique du potassium dans le diagnostic foliaire du palmier à huile ⁽¹⁾

M. OLLAGNIER (2), C. DANIEL (3), P. FALLAVIER (4) et R. OCHS (5)

Résumé. — Certains résultats expérimentaux obtenus en Indonésie sans déficit hydrique montrent que des teneurs des feuilles en potassium bien inférieures aux niveaux critiques normalement retenus permettent d'obtenir une production excellente et que la correction de cette carence apparente reste sans effet significatif sur la production globale. Au Bénin, la réponse aux apports de potassium est forte en présence d'un déficit hydrique important et faible sous irrigation. Pour une même teneur en potassium d'une feuille, la réponse aux apports de KCl dépend de l'alimentation en eau. Cette hypothèse semble confirmer, en retour, l'importance du rôle joué par la nutrition en K dans les phénomènes de résistance à la sécheresse. Le niveau critique de K dépend également du type de sol, particulièrement les minéraux argileux, le complexe absorbant et l'équilibre des cations échangeables. Les exemples donnés dans cette étude concernent un grand nombre de situations en Afrique, en Amérique et en Asie. Ils confirment la nécessité de disposer d'essais *in situ* afin de déterminer les niveaux critiques de K pour chacune des écologies considérées.

INTRODUCTION

La nutrition potassique du palmier à huile est considérée depuis longtemps comme un des facteurs importants de croissance et de production tant en Afrique [4] qu'en Extrême-Orient [1].

L'utilisation du diagnostic foliaire pour le contrôle et la gestion de la nutrition minérale des plantations passe par la connaissance des courbes de réponse aux engrais et des niveaux critiques. Or, les études effectuées au cours de ces dernières décennies montrent que les courbes de réponse et même les niveaux critiques n'ont pas un caractère universel et qu'il convient donc d'interpréter les résultats des analyses foliaires en tenant compte des conditions de milieu et particulièrement des régimes hydriques et des caractéristiques des sols.

En rassemblant les observations faites dans quelques situations très diverses, on tentera d'analyser les effets du climat et du sol sur la nutrition potassique, la réponse aux engrais potassiques et le niveau critique correspondant. C'est une analyse difficile en raison de la complexité des phénomènes mis en jeu et des interactions entre les effets du climat et du sol qu'il n'est pas toujours possible de distinguer.

Dans une expérience située sur la côte Ouest de Sumatra (SG 1), bénéficiant d'une climatologie très favorable sans aucun déficit hydrique on a constaté avec surprise qu'il était possible d'obtenir un rendement moyen sur trois campagnes de 26,6 t de régimes/ha avec des teneurs foliaires en K de 0,5 p. 100, c'est-à-dire très nettement inférieures aux niveaux critiques habituellement retenus, l'apport d'engrais potassique ne permettant d'obtenir qu'une modeste augmentation de rendement de 6,8 p. 100, non significative. Cette performance inhabituelle doit-elle être considérée comme résultant des conditions climatiques particulièrement favorables, ce qui relancerait la réflexion sur la double fonction de l'élément K, la première liée au

métabolisme et à la nutrition, la deuxième liée à la résistance à la sécheresse [3].

Pour privilégier l'étude du facteur alimentation en eau, les situations proposées dans cet article seront donc regroupées par classes de déficit en eau, et on étudiera dans chaque classe l'influence possible des caractéristiques du sol.

I. — LES SITUATIONS À TRÈS FORTS DÉFICITS HYDRIQUES

(> 400-500 mm/an, très courantes en Afrique, par ex. Côte d'Ivoire, Bénin, Nigeria).

Déjà en 1966, il avait été mis en évidence une relation entre l'insolation effective (donnée étroitement corrélée au déficit hydrique) et l'importance de la réponse à la fumure potassique [9]. Ceci fut confirmé en 1973 pour les conditions très sèches du Bénin : de Taffin et Ochs [10] montraient que les niveaux optimaux de K et les doses rentables d'engrais variaient selon l'intensité de la sécheresse qui influençait à la fois les teneurs foliaires et le potentiel de production des arbres.

Pour l'effet de la sécheresse sur les teneurs foliaires [11] on peut admettre que, pour des déficits hydriques dépassant 400 mm (6) durant la période sèche précédant immédiatement le prélèvement foliaire, la teneur en K diminue de 0,03 p. 100 par tranche de 100 mm supplémentaire de déficit [2, 8].

Les résultats de deux expériences du Bénin, soumises à des déficits hydriques annuels élevés entre 400 et 800 mm, confirment (Fig. 1, 2) :

- l'inutilité des fortes doses de KCl,
- l'augmentation de l'efficacité de l'engrais lorsque le déficit hydrique diminue, et ce, malgré une absorption toujours importante de l'élément K (Fig. 3).

Ces expériences sont sur un sol ferrallitique rouge sablo-argileux à argileux, moyennement désaturé, formé sur des

(1) Communication présentée aux « 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences — Progress and Prospects », 23 juin-1^{er} juillet 1987 Kuala Lumpur (Malaisie).

(2) Directeur des Recherches, IRHO-CIRAD, 11, Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(3) Division Agronomie, IRHO-CIRAD (*).

(4) Directeur, Laboratoire Analyse des Sols, CIRAD (*).

(5) Directeur, Division Agronomie, IRHO-CIRAD (*).

(*) CIRAD, B. P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

(6) Dans tout ce qui suit les déficits hydriques sont déterminés à partir d'une méthode simplifiée de calcul de l'évapotranspiration, méthode IGM 12 de l'IRHO.

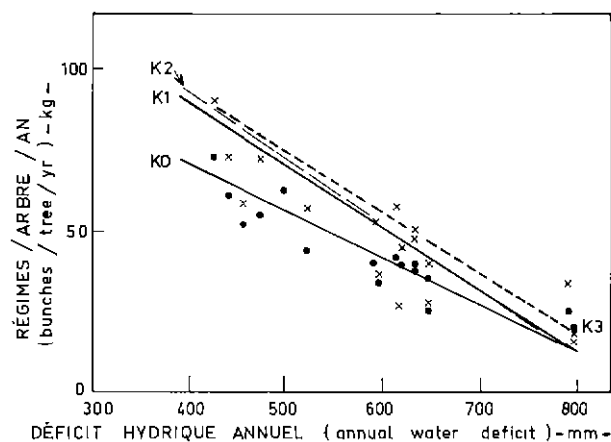


FIG. 1. — Niveau de production et réponse à KCl en fonction du déficit hydrique annuel (*Production level and response to KCl depending on annual water deficit*). Bénin-PO-CP 20 ; plantings 1961 & 1968.

• — K0 = 0 kg }
 × — K1 = 0,9 kg } KCl/arbre/an (/tree/yr)
 — K2 = 1,8 kg }
 — K3 = 2,7 kg }
 K0 $r = -0,91^{***}$ $kg = -0,151 \overline{DH} + 132,35$
 K1 $r = -0,86^{***}$ $kg = -0,198 \overline{DH} + 169,89$
 DH = déficit hydrique (*water deficit*).

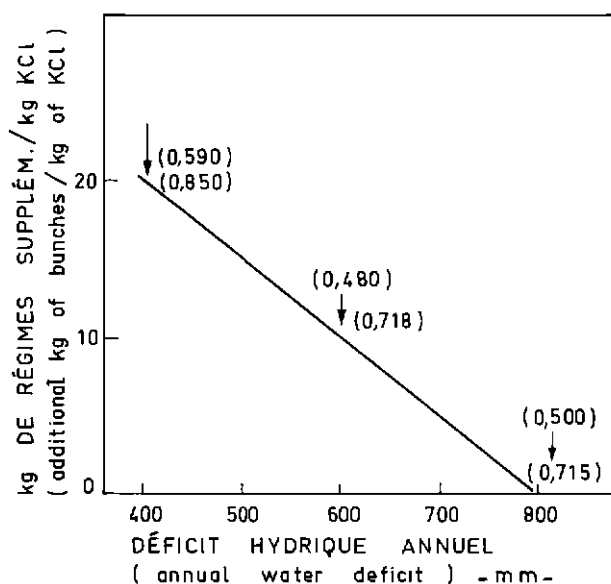


FIG. 2. — Production de régimes supplémentaires par kg de KCl épandu/arbre (*Production of additional bunches per kg of KCl applied/tree*). PO-20

$r = -0,69^{***}$
 $y = 38,96 - 0,048x$
 — Teneurs (*Contents*) $\left\{ \begin{array}{l} \text{sans (without) KCl, K0} \\ \text{avec (with) KCl, K1} \end{array} \right.$

sédiments tertiaires. Un essai de lessivage en continu en colonnes de terre a été conduit sur un échantillon remanié de sol (Tabl. IIb). Il a montré que, dans les conditions expérimentales utilisées, 61 p. 100 du K apporté (1 meq/100 g de terre) sous forme de KCl étaient retenus par le sol dont 58 p. 100 sous forme échangeable, suite à l'élué d'une quantité équivalente de Ca + Mg échangeables. L'effet des apports de KCl sur les teneurs foliaires du palmier s'explique bien par le fait que le K apporté par les engrais, étant retenu essentiellement sous forme échan-

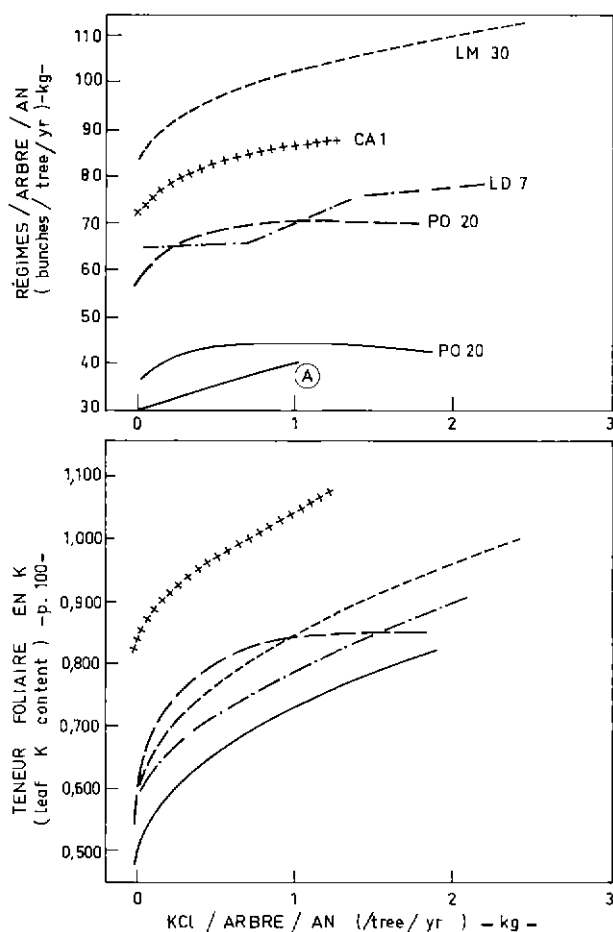


FIG. 3. — Quelques exemples de courbes de réponse (production et teneur foliaire en K) sous déficit hydrique (DH) compris entre 170 et 610 mm (*A few examples of response curves — production and leaf K contents — with a water deficit between 170 and 610 mm*)

— PO-20 $\left\{ \begin{array}{l} \text{— DH = 610 mm} \\ \text{— DH = 470 mm} \end{array} \right.$
 — (A) Equivalence des valeurs — 10 kg de régimes pour 1 kg de KCl (*Equivalence of values — 10 kg of bunches for 1 kg of KCl*).

geable, passe facilement dans la solution de sol dans laquelle il est disponible pour la plante sous réserve que l'alimentation hydrique permette l'absorption des éléments minéraux.

Les courbes de réponses des teneurs foliaires et des productions ajustées à une fonction $y = a - bx + \sqrt{x}$ (Fig. 3) permettent de déterminer les niveaux critiques de K en fonction des conditions économiques ; si, par exemple, le coût de 1 kg de KCl épandu représente la contrepartie en valeur de 10 kg de régimes, les niveaux critiques de K se situent à :

- 0,600 pour un déficit hydrique de 600 mm et
- 0,775 pour un déficit hydrique de 470 mm.

Les résultats d'une expérience, GD 6, située à l'Ouest de la Côte d'Ivoire confirment ceux du Bénin : ainsi les arbres âgés de 11-15 ans, ayant subi un déficit hydrique annuel moyen de 510 mm, présentent un niveau critique en K voisin de 0,75 p. 100 (Tabl. I et VII).

Pour des déficits très élevés, de 700 à 800 mm ou davantage, il n'est plus possible de déterminer un niveau critique à partir des données expérimentales disponibles ; on peut seulement indiquer que, dans les conditions précédentes, il ne sert à rien de vouloir porter les teneurs foliaires au-dessus de 0,50 p. 100.

II. — LES SITUATIONS À DÉFICITS HYDRIQUES MOYENS OU NULS

Les observations du paragraphe précédent laisseraient penser que la rentabilité de l'engrais et le niveau critique de K continueraient d'augmenter lorsque l'alimentation en eau des arbres s'améliore, et atteindraient leurs valeurs maximales pour les situations sans aucun déficit hydrique. En fait, cela n'apparaît pas comme une règle systématique, plusieurs autres facteurs devant intervenir, dont les caractéristiques de sol et le rôle de la nutrition potassique dans le comportement de l'arbre face à la sécheresse.

En 1984, Ollagnier [7] avait noté que dans une palmeraie irriguée au Bénin, les effets de l'engrais potassique étaient moins importants que ceux auxquels on aurait pu s'attendre. L'expérience SG 1 située sur la côte Ouest de Sumatra, et citée au début de cet article, montre une augmentation très modeste de production par l'application d'engrais potassique alors que, selon leurs teneurs foliaires en K, les arbres seraient classés comme très déficients d'après les normes habituelles (Tabl. I).

Dans le présent paragraphe sera mise en évidence, par quelques comparaisons, la diversité des situations quant aux niveaux de nutrition potassique des arbres et à leur réponse à l'engrais.

1. — Climatologie à déficit hydrique compris entre 200 et 400 mm.

— Sols ferrallitiques très désaturés.

Les résultats des expériences LD-7 au Cameroun, LM-30 A et LM-23 en Côte d'Ivoire figurent au tableau I. L'absorption de K y est comparable et se fait bien, en accord avec les caractéristiques de ces sols ferrallitiques très désaturés, jaunes, sableux à sablo-argileux et formés sur sédiments tertiaires. Un effet comparable de la fumure potassique sur la nutrition minérale est observé au Cameroun dans l'expérience CA 1 située sur des sols ferrallitiques formés sur des grès du tertiaire.

Les résultats des essais conduits sur colonnes de terre avec des sols analogues à ceux du LM-30 A (Tabl. II b) montrent que, selon les conditions expérimentales (intensité du lessivage), 17 à 29 p. 100 seulement du K apporté (2,3 ou 1 meq/100 g) sont retenus par le sol dont 17 (la totalité) à 25 p. 100 sous forme échangeable, d'une part en remplacement du Ca et du Mg déplacés, et d'autre part peut-être par fixation sur de nouvelles liaisons négatives dues à une augmentation de la force ionique de la solution après l'apport de KCl. Le K apporté, étant semble-t-il retenu de façon très peu énergétique par le complexe absorbant du sol, est ainsi facilement mobilisable par la plante ; ce qui explique l'augmentation sensible des teneurs foliaires, même pour des doses modestes de KCl.

Compte tenu des déficits hydriques moindres de Côte d'Ivoire, le potentiel de production de LM-30 A, et sa réponse à l'engrais pour une même augmentation de teneur en K, y sont supérieurs à ceux du Bénin (Fig. 3). Le niveau critique économique de K, toujours pour une équivalence en valeur de 10 kg de régimes pour un kg de KCl, se situe à 0,900 (Fig. 3).

Au Cameroun, les expériences LD-7 et CA-1, bien que soumises à des déficits hydriques moindres que ceux de Côte d'Ivoire, ont des productions plus faibles que celles de LM-30 A. La plus faible production de CA-1 peut

s'expliquer par un taux élevé de gravillons dans le sol, réduisant d'autant les réserves d'eau. Par contre, pour LD-7, l'examen des caractéristiques physico-chimiques habituelles des sols (granulométrie, matière organique, complexe absorbant) ne permet pas de trouver une explication, ce qui fait penser à l'existence d'autres facteurs limitants, tels la dégradation de la structure des sols, le parasitisme racinaire... A noter, de plus, que pour LD-7, la courbe de réponse de la production aux apports de KCl ne présente pas le même ajustement que les autres essais (du type $y = a - bx + c\sqrt{x}$) ; pour CA-1 le calcul donne un niveau critique de 0,97 obtenu avec un apport de 0,5 kg de KCl/arbre/an (les teneurs natives atteignaient déjà 0,83). Pour LD-7, par contre, on ne peut qu'estimer le niveau critique en K aux environs de 0,90 p. 100.

2. — Climatologie à déficit hydrique faible (< 300 mm).

— Sols formés sur alluvions fluviales et matériel d'origine volcanique de Sumatra.

a) Les deux expériences AL-1 et AK-1 (plantations d'Aek Loba, sous un climat favorable, déficit hydrique variant selon les années entre 0 et 300 mm), présentent des caractéristiques différentes de la nutrition potassique : pour AL-1 la teneur en K se situe à 0,80 (arbres de 22-26 ans) contre seulement 0,64 pour AK-1 (arbres de 6-7 ans) (Tabl. III) ; il s'agit dans les deux cas des teneurs des objets sans engrais potassique ni phosphoré (ce dernier réduisant les teneurs en K par le jeu de l'antagonisme K-Ca).

L'expérience AL-1 est située sur un sol ferrallitique andique dont les propriétés se sont avérées différentes en laboratoire (Tabl. II b) de celles des sols ferrallitiques précédents (Afrique de l'Ouest). Les résultats des essais montrent que, selon les conditions expérimentales, 46 à 85 p. 100 (2,3 ou 1 meq/100 g) du K apporté par KCl est retenu dont, respectivement, 39 et 68 p. 100 sous forme échangeable après élution de Ca, Mg, NH₄, le reste étant probablement rétrogradé comme le montre l'extraction à l'acide nitrique bouillant faite sur l'échantillon de sol originel. La quantité relative de K retenue sous forme échangeable est donc élevée, et pourtant l'apport de KCl dans les parcelles qui ne reçoivent pas d'autre engrais n'entraîne pas d'augmentations des teneurs foliaires en K. Mais si l'on admet que la composition de la solution ayant percolé au travers des colonnes qui ont reçu du KCl est analogue, en première grandeur, à celle de la solution de sol, on constate que la concentration relative en K vis-à-vis du Ca, $\frac{K}{K + Ca}$ p. 100

est beaucoup plus faible pour le sol de AL-1 (23 p. 100) que pour les sols du Bénin (55 p. 100) et surtout pour celui de Côte d'Ivoire (92 p. 100). La teneur très élevée en Ca des percolats du sol de AL-1 provient non seulement d'un déplacement du Ca⁺⁺ échangeable mais aussi probablement d'une dissolution du calcium total dont la teneur est très élevée.

La « pression calcique » plus élevée qui existerait dans la solution de sol à AL-1 est à rapprocher du fait que le K apporté n'est pas assimilé par les palmiers, tout au moins au niveau des feuilles, d'autant plus que les teneurs foliaires des arbres qui ne reçoivent aucun engrais sont déjà naturellement élevées (0,90 p. 100).

Ainsi, dans cette expérience les apports de KCl seraient inutiles tant pour l'augmentation des teneurs foliaires que pour celle des productions, s'il n'était pas nécessaire de corriger préalablement des déficiences en N et P ; pour

TABLEAU Ia. — Réponse à l'engrais potassique (KCl) ;
quelques résultats expérimentaux classés par déficit hydrique décroissant
(Response to potassium fertilizer - KCl - a few experimental results - classed in order of decreasing water deficit)

Exp.	Pays (Country)	Types de sol N° (Soil types No.) (Tabl. Ib)	Age des arbres (of trees) (ans - yrs)	Déficit hydrique (Water deficit) (mm)	Traitements retenus (Treatments used)	Doses de KCl (kg/arbre) (KCl rates - kg/tree)				Teneurs foliaires en K (Leaf K contents)				Kg de régimes/arbre (Kg of bunches/tree)				Réponse à l'engrais (Response to fertilizer)	
						K0	K1	K2	K3	K0	K1	K2	K3	K0	K1	K2	K3	(1)	(2)
PO-20	Bénin	1	8-18	400-700	Ensemble essai (Complete trial)	0	0,90	1,8	2,7	0,527	0,742**	0,827**	0,855**	42	51*	52*	55*	10	4
GD-6		2	11-15	510		0	0,75	1,5	—	0,528	0,762**	0,892**	—	89	104*	107*	—	20	6
LM-30		2	8-10	410		0	0,80	1,6	2,4	0,572	0,815**	0,956**	1,002**	84	100*	108**	111**	20	6
LM-23	Côte d'Ivoire	2	8-18	220-230	Objets Mg1 (Treatments)	0	1,00	3	—	0,782	0,963**	1,026**	—	96	107*	111**	—	11	6
CA-1		3	7- 9	190		0	0,60	1,2	—	0,827	0,985	1,073	—	72	84**	88**	—	13	6
LD-7		2	13-15	170		0,75	1,50	2	—	0,469	0,813**	0,935**	—	98	119**	129**	—	28	6
DA-13	Bénin	1	8-11	100	Objets NI P1 (Treatments)	0,70	1,6	2,5	3,5	0,743	0,875	0,945	0,911	143	149	173*	159	17	15
AK-1	Sumatra Est (East Sumatra)	4	6- 7	75	idem P1	0	1,8	—	—	0,509	0,732	—	—	158	204	—	—	26	21
AK-3		—	6- 7	75	idem PT	0	1	2	—	0,650	0,773**	0,852**	—	80	91	102*	—	11	11
AL-1		5	22-26	50	idem P1 + P2	0	1	2	—	0,755	0,819	0,821	—	131	154	157	—	23	36
MRS-2		6	10-12	25	Ensemble essai (Complete trial)	0	2	4	—	0,587	0,849**	0,872**	—	147	168**	173**	—	11	8
SG-1	Sumatra Ouest (West Sumatra)	7	8-10	0	Objets P1 (Treatments)	0	1,5	3	—	0,507	0,780**	0,864**	—	198	215	205	—	12	6
LB-1		8	10-11	0		0	1	2	—	0,544	0,739**	0,871**	—	126	169	170	—	43	22
SA-1	Colombie (Colombia)	9	13-17	170	Ensemble essai (Complete trial)	0	1	2	—	0,802	0,783	0,782	—	140	161	154	—	—	Effet de Cl
TT-1	Equateur (Ecuador)	10	8- 9	160		0	1	2	—	1,072	1,010	0,963	—	169	178	182	—	—	Effet de Cl

Notes :

AL-1 : P1-P2 = 2,25 - 4,5 kg/arbre/an de phosphate tricalcique (/tree/year of tricalcium phosphate).

AK-1 : P1 = 1,5 kg/arbre/an de phosphate tricalcique (/tree/year of tricalcium phosphate).

AK-3 : PT = 2 kg/arbre/an de superphosphate triple (/tree/year of triple superphosphate)

LD-7 : Mg1 = 0,7 kg de Kiésérite/arbre/an (/tree/yr).

LB-1 : P1 (8- 9 ans - years -) = 1,5 kg de phosphate tricalcique (of tricalcium phosphate).

P1 (10-11 ans - years -) = 1,0 kg de superphosphate triple (of triple superphosphate).

BN-9 : NI = 1,5 kg/arbre/an de sulfate d'ammoniaque (/tree/yr of ammonium sulphate).

P1 = 1,8 kg/arbre/an de phosphate bicalcique (/tree/yr of bicalcium phosphate).

(1) Kg de régimes supplémentaire/kg de KCl (Additional kg of bunches/kg of KCl).

(2) Kg de régimes supplémentaire/tranche d'augmentation de 0,1 % de la teneur foliaire en K (Additional kg of bunches/0,1 % step increase in leaf K content).

TABLEAU Ib. — Types de sols
(Soils types)

1	Ferrallitique moyennement désaturé formé sur sédiments tertiaires du Continental terminal (<i>Moderately desaturated ferrallitic soils formed on tertiary sediments of the Continental Terminal</i>).
2	Ferrallitique très désaturé formé sur sédiments tertiaires (<i>Very desaturated ferrallitic soils formed on tertiary sediments</i>).
3	Ferrallitique désaturé sur grès (<i>Desaturated ferrallitic soils on sandstone</i>).
4	Ferrallitique sur sédiments tertiaires (<i>Ferrallitic soils on tertiary sediments</i>).
5	Ferrallitique à caractère andique (<i>Ando-like ferrallitic soils</i>).
6	Ferrallitique désaturé sur sédiment (<i>Desaturated soils on sediment</i>).
7	Hydromorphe à nappe sur alluvions argileuses (<i>Waterlogged soils with water table on clayey alluvial deposits</i>).
8	Ferrallitique désaturé (<i>Desaturated ferrallitic soils</i>).
9	Alluvions récentes (<i>Recent alluvial deposits</i>).
10	Ferrallitique à caractère andique sur sédiments volcaniques (<i>Ando-like ferrallitic soils on volcanic sediments</i>).

cette dernière l'apport de phosphate entraîne une réduction de l'absorption en K et l'on observe alors un effet de l'engrais KCl à la fois sur les teneurs foliaires et la production (Tabl. III).

L'expérience AK-1 bien que voisine est en fait située sur des sols ferrallitiques sur sédiments tertiaires dont les propriétés sont plus proches de celles des sols ferrallitiques d'Afrique que ceux d'Aek Loba.

C'est ainsi que les résultats d'un essai de lessivage en colonnes de terre montrent que 56 p. 100 du K apporté (1 meq/100 g) par du KCl est retenu dont 50 p. 100 sous forme échangeable, suite à l'éluion de Ca, Mg, NH₄.

Le rapport $\frac{K}{K + Ca}$ p. 100 des percolats atteint 54 p. 100.

Il est donc bien supérieur à celui de AL-1 (23 p. 100) et égal à celui du sol ferrallitique du Bénin. Il y a donc concordance entre tests de laboratoire et résultats agronomiques : d'une part une faible teneur foliaire native en K (0,65) qui s'explique par une teneur en K échangeable du sol très faible et, d'autre part, une augmentation sensible jusqu'à 0,9 p. 100 des teneurs des arbres sous l'effet des apports de KCl (Tabl. III) car l'absorption du K de la solution de sol n'est pas empêchée.

La comparaison de AL-1 et AK-1 est illustrée à la figure 4 où l'on note des intensités de réponse à l'engrais potassique très différentes. Une autre expérience, AK-3 située dans une écologie comparable à celle de AK-1, présente une réponse à KCl encore d'un autre type avec un rendement de l'engrais identique à la dose 1 ou 2 kg/arbre. Des comportements si différents nécessitent l'approfondissement des recherches.

b) *Les deux expériences de SG-1 et LB-1* (plantations de Seunagan et Lae Butar sur la côte Ouest de Sumatra) sont toutes deux caractérisées par des pluviométries abondantes ne faisant jamais apparaître de déficit hydrique ; de plus la plantation de Seunagan bénéficie d'une nappe phréatique proche. Par contre, les caractéristiques physico-chimiques des sols en sont très différentes (Tabl. IIa) :

- texture argilo-limoneuse pour SG-1 et sableuse pour LB-1 ;
- bonnes richesses en matière organique et en azote total pour SG-1, nettement moins élevées sur LB-1 ;
- excellente capacité d'échange et bonnes teneurs de Ca et Mg échangeables pour SG-1, toutes valeurs nettement plus faibles pour LB-1 ;

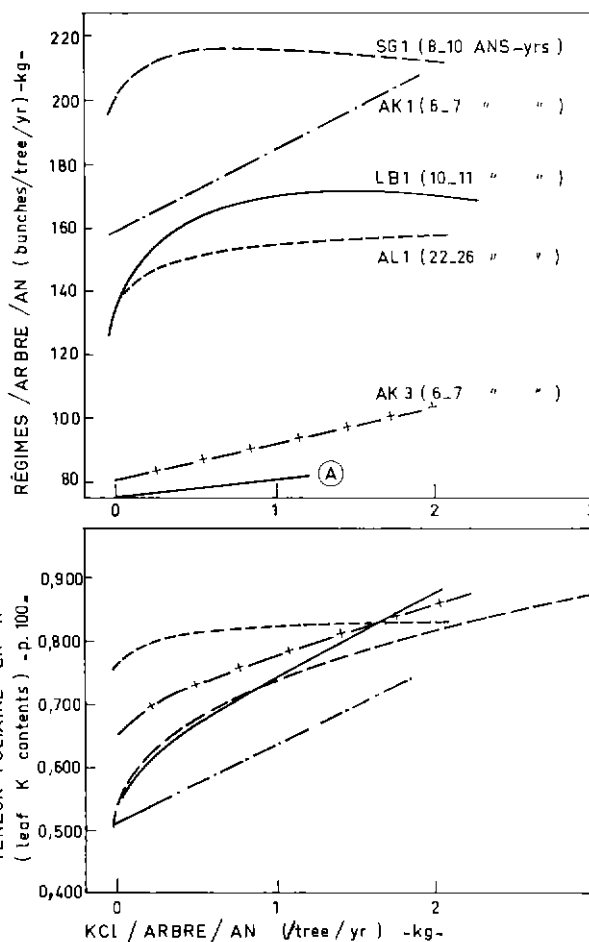


FIG. 4. — Quelques exemples de courbes de réponse (production et teneur foliaire en K) sous déficit hydrique inférieur à 100 mm (*A few examples of response curves — production and leaf K contents — for a water deficit under 100 mm*).

(A) Equivalence des valeurs, 5 kg de régimes et 1 kg d'engrais (*Equivalence of values, 5 kg of bunches and 1 kg of fertilizer*).

- bonnes teneurs en P du sol pour SG-1 et teneurs annonciatrices d'une déficience pour LB-1 ;

- les deux situations seraient par contre mal pourvues en K surtout d'ailleurs à Seunagan au regard des teneurs très élevées des cations bivalents et de la CEC.

Ainsi, l'expérience SG-1 bénéficie de toutes les conditions requises pour donner de fortes productions, mise à part la nutrition potassique très faible de l'objet K0 dès l'âge de 3 ans, teneur qui n'a cessé de décroître depuis (Fig. 5).

L'expérience LB-1, placée en conditions de sol nettement moins favorables, a un potentiel moins élevé et, malgré une moins grande richesse du sol en K que celle de SG-1, présente des teneurs en K fortes (complexe moins riche en Ca que celui de SG-1 et moindres exportations d'élément K par les régimes).

Dans les deux expériences les teneurs en K des objets K0 baissent régulièrement d'année en année (Fig. 5) pour atteindre en 1986 les valeurs très basses de 0,45 et 0,42 respectivement pour SG-1 (objet K0) et LB-1 (objet PIK0). Sur cette figure 5 on peut observer le comportement différent des deux expériences : pour SG-1 la teneur de l'objet K0 sans KCl peut descendre jusqu'à moins de 0,50 p. 100 sans que le rendement de l'engrais n'augmente, alors que dans LB-1 pour une teneur native diminuant de 0,72 à 0,55

TABLEAU IIa. — **Caractéristiques physico-chimiques des sols des expériences (couche superficielle 0-20 cm)**
(*Physicochemical characteristics of experiment soils-topsoil : 0-20 cm*)

Pays (Country)	Minéraux argileux (Clayey minerals)	Argile (Clay) p. 100	C p. 100	N p. 1 000	P Olsen ppm	pH eau (water)	C.E.C.	Cations échangeables (Exchangeable cations)		
								K+	Ca++	Mg++
								meq/100 g		
Cameroun/CA-1 (Cameroon)	Kaolinite	44	3,50	2,36	24	4,40	12,10	0,11	2,30	0,39
Sumatra/SG-1		52	4,13	4,45	96	4,70	27,79	0,17	5,90	3,78
Sumatra/LB-1		20	2,03	1,82	20	5,00	9,81	0,10	1,40	0,22
Cameroun/LD-7 (Cameroon)	Kaolinite	15		1,19			5,20	0,09	1,30	traces
Equateur/TT-1 (Ecuador)	Kaolinite Quartz	15 (1)	2,41	3,22	87	6,15	12,40	0,19	10,95	1,83

TABLEAU IIb. — **Caractéristiques physico-chimiques des sols pour essai en colonnes de terre**
(**Echantillons composites prélevés dans la couche superficielle 0-20 cm**)
(*Physicochemical characteristics of soils for earth core-samples-composite samples taken from the topsoil — 0-20 cm*)

Pays (Country)	Minéraux argileux (Clayey minerals)	Argile (Clay) p. 100	C p. 100	N p. 1 000	P Olsen ppm	pH eau (water)	C.E.C.	Cations échangeables (Exchangeable cations)		
								K+	Ca++	Mg++
								meq/100 g		
Bénin/PO-20	Kaolinite	5	0,70	0,64		6,6	2,45	0,04	1,72	0,55
Côte d'Ivoire/LM-30 LM-23	Kaolinite	12	0,93	0,99	38	4,70	1,11	0,04	0,13	0,30
Sumatra/AL-1	Kaolinite Gibbsite	23	1,24	1,21	7	5,20	1,69	0,10	1,10	0,14
Sumatra/AK-1	Kaolinite	51	1,76	1,52	19	6,15	1,57	0,06	0,54	0,16
Colombie/SA-1 (Colombia)	Montmorillonite Vermiculite Illite Kaolinite	21 (2)	1,14	1,00	45	7,90	16,57	0,10	10,50	3,50

(1) Le sol d'Equateur contient également 31 % de limons fins (*Ecuadorian soil also contains 31 % fine silt*).

(2) Le sol de San Alberto contient aussi 20 % de limons fins (*San Alberto soil also contains 20 % fine silt*).

TABLEAU III. — **Sumatra : plantations d'Aek Loba ; quelques réponses comparées à KCl**
(*Aek Loba plantations, comparative responses to KCl*)

Expérience (Experiment)	Age (ans - years)	Objets (Treatments)	Teneurs en K (K contents)			Kg de régimes/arbre (Kg of bunches/tree)		
			K0	K1	K2	K0	K1	K2
AL-1	17-19	P0	0,898	0,871	0,845	105	92	109
		P1 + P2	0,794	0,839	0,818	134	153	147
AK-1	6-7	P0	0,641	0,912	—	108	123	—
		P1	0,419	0,685	—	147	212	—
AK-3	6-7	P0	0,766	0,863	0,889	60	59	66
		P2	0,650	0,773	0,852	80	91	102

AL-1 : P1 & P2 = 2,25 & 4,50 kg de phosphate tricalcique/arbre/an (*of tricalcium phosphate/tree/year*)

AK-1 : P1 = 1,5 kg }
AK-3 : P2 = 2 kg } de TSP/arbre/an (*of TSP/tree/year*).

l'augmentation de production due au premier kilo de KCl appliqué passe de 25 à 43 kg de régimes. Les courbes de réponse (Fig. 4) pour des teneurs à corriger comparables (objets sans K) déterminent pour les deux essais des niveaux critiques voisins, soit :

— Kc = 0,70 pour SG-1 une teneur obtenue avec un apport de KCl, de 0,6 kg/arbre/an,

— Kc = 0,75 pour LB-1, teneur atteinte avec une dose de KCl de 1,10 kg/arbre/an.

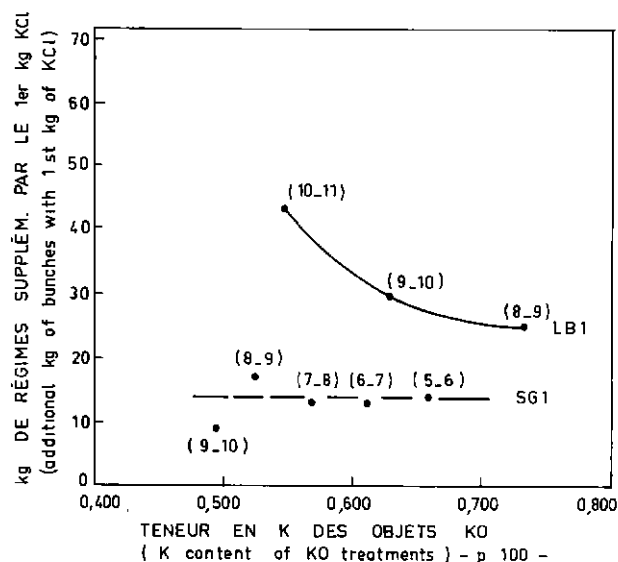


FIG. 5. — Expériences SG-1 et LB-1 (Sumatra). Comparaison des augmentations de production obtenues par le premier kg de KCl appliqué (Experiments SG-1 and LB-1 — Sumatra. Comparison of production increases obtained with the first kg of KCl applied).

• Les chiffres entre parenthèses indiquent l'âge (The figures in parentheses indicate age).

Discussion.

Dans l'expérience SG-1, bien que les teneurs foliaires en K descendent jusqu'à la valeur très basse de 0,5 (à l'âge de 10 ans), l'engrais potassique présente un rendement faible par rapport à ce qui est observé dans l'essai LB-1 et ce pour une correction comparable des teneurs.

Ainsi, dans des conditions très favorables d'alimentation en eau avec, de plus, des sols présentant toutes les caractéristiques susceptibles de générer un potentiel élevé de production, les arbres peuvent présenter des teneurs en K très basses sans pour autant manifester de fortes réponses à l'engrais potassique.

Il est probable que la décroissance des teneurs foliaires se poursuivant d'année en année, les réponses devraient s'accroître et en tout état de cause une fumure potassique même modeste paraît nécessaire pour compenser, en partie du moins, les exportations de l'élément K. Cependant, sous d'excellentes conditions de culture le niveau de la nutrition potassique ne présente pas la même importance que sous climat moins favorable ou lorsque d'autres facteurs sol sont plus limitants.

3. — Climatologie à fort déficit hydrique naturel (> 700 mm) réduit par l'irrigation à 100 mm.

— Sol ferrallitique moyennement désaturé du Bénin.

L'expérience BN-9 située au sein d'une palmeraie irriguée de 900 ha a subi, pour les 4 dernières campagnes de production, un déficit hydrique annuel ramené à 100 mm après irrigation. Il n'est pas possible d'ajuster les données

de production à une équation. On note cependant un effet relativement modeste de la fumure potassique bien que la teneur de l'objet recevant la plus faible dose d'engrais ne soit que de 0,74 p. 100. Le niveau critique en K ne peut qu'être estimé voisin de 0,95 p. 100. Ce résultat sera repris dans la discussion générale.

4. — Climatologie à faible déficit hydrique (< de 200 mm).

— Sols alluviaux de Colombie et sols formés sur matériau d'origine volcanique d'Equateur.

Les sols alluviaux de San Alberto en Colombie se caractérisent par une CEC incomparablement plus élevée que celles des sols précédents et 63 p. 100 de cette CEC sont saturés par du Ca.

Les résultats des essais en colonnes de terre montrent que 96 p. 100 du K apporté par le KCl (0,2 ou 0,3 meq/100 g ce qui correspond à une dose de 1 et 1,5 kg de KCl/arbre, épandu sur un cercle de 3 m de rayon), sont retenus par le sol, dont 60 p. 100 sous forme échangeable. La quantité relative de K retenu sous forme échangeable facilement assimilable par la plante est donc élevée et pourtant l'apport de KCl n'entraîne pas d'augmentation des teneurs foliaires en K malgré un niveau natif peu élevé de 0,80 p. 100. Au contraire, on constate même une baisse des teneurs foliaires en K due à une augmentation des teneurs en Ca. Mais comme pour les sols d'Aek Loba, et même à un degré beaucoup plus marqué, la concentration relative moyenne de K pour l'ensemble des percolats par rapport à celle du Ca est extrêmement faible aussi bien dans les colonnes témoin que dans les colonnes qui reçoivent du KCl puisque $\frac{K}{K + Ca} \text{ p. 100} = 4$.

On est amené à considérer que la très forte « pression calcique » qui existerait dans la solution de sol est peut-être responsable du statut tout à fait particulier de la nutrition potassique des palmiers à San Alberto. L'obstacle opposé à l'absorption du K est tel que des apports annuels de 10 kg de KCl par arbre, répétés pendant 5 ans dans le cadre de l'essai agronomique SA-1, se sont révélés incapables d'augmenter les teneurs foliaires en K (Tabl. IV).

Et pourtant la teneur en K échangeable de la couche superficielle de sol (0-30 cm) passait d'une valeur faible 0,086 meq/100 g à une teneur très élevée 0,365 meq/100 g pour le traitement 10 kg. On peut remarquer que la fixation du K sur le complexe absorbant n'est pas proportionnelle aux quantités de KCl car si un apport annuel de 1 kg de KCl/arbre multiplie la teneur native par 1,6 fois, la dose de 10 kg ne l'augmente que de 4,2 fois.

On retrouve sensiblement la même situation sur les sols d'origine volcanique de la plantation de Tatiana en Equateur, où les applications de KCl provoquent une sensible diminution des teneurs en K tout en augmentant le rendement par le biais d'une amélioration de la nutrition en Cl.

TABLEAU IV. — Colombie, expérience SA-1 : effet des fortes doses de KCl (Colombia, experiment SA-1 - effect of high KCl rates)

Objets (Treatments)	Doses de KCl (KCl rates) Kg/arbre/an (Kg/tree/yr)	Période d'application (Period of application)	Teneur foliaire en K (Leaf K contents) 1983-1986
K0	0	de (from) 1981	0,798
K1	1	à (to) 1985	0,767
K2	10		0,775

III. — DISCUSSION-CONCLUSION

1. — Dynamique du K dans le sol, disponibilité pour l'arbre.

Les cellules végétales ont une perméabilité élevée vis-à-vis du potassium. De ce fait, en règle générale, le potassium présent dans la solution de sol, même à une concentration très inférieure à celle du Ca est absorbé préférentiellement par la plante. Ceci se vérifie pour les sols ferrallitiques désaturés (Bénin, Côte d'Ivoire, Sumatra à Aek Kwasan) où des apports de KCl augmentent facilement les teneurs foliaires en K, mais pas dans le cas de certains sols alluviaux (Colombie) ou ferrallitiques à caractère andique (Sumatra à Aek Loba). Les analyses physico-chimiques habituelles de sol, y compris celles du complexe absorbant, ne permettaient pas d'expliquer clairement cette différence de comportement du palmier, sauf peut-être pour le sol de Colombie où, cependant, les rapports $\frac{K}{CEC}$ et $\frac{K}{K+Ca}$ du complexe absorbant ne sont pas très différents de ceux trouvés au Bénin. Les résultats des tests standardisés réalisés en laboratoire en percolant du KCl au travers de colonnes de terre apportent déjà certaines explications si l'on admet que la composition des percolats peut représenter dans une certaine mesure celle de la solution de sol à un instant donné après l'application de l'engrais en plantation. Les résultats montrent en effet que la concentration relative en K par rapport au Ca $\left(\frac{K}{K+Ca} \text{ p. } 100\right)$ de la solution de sol est sensiblement plus faible pour les deux situations où l'on obtient peu ou pas de réponse des teneurs foliaires aux apports de KCl. La quantité élevée de

Ca dans la solution est due dans le cas de Aek Loba à une mise en solution partielle du calcium total consécutive à l'apport de KCl tandis qu'à San Alberto, elle serait due à la teneur très élevée en Ca échangeable (la teneur en Ca total est également très élevée mais son rôle n'a pas été étudié) (Tabl. V).

Le cas du sol alluvial semble être tout à fait particulier car la colonne retiendrait la presque totalité du K apporté, dont **60 p. 100 sous forme échangeable**, ce qui est en contradiction avec les dosages du K échangeable effectués dans les parcelles d'expérience qui ont reçu annuellement 10 kg de KCl/arbre pendant 5 ans sur un cercle de 10 m² de surface (Tabl. VI).

La quantité de K retenu sous forme échangeable entre 0 et 30 cm de profondeur (les quantités de K fixées entre 50 et 70 cm sont faibles, KCl 0 : 0,092 meq/100 g, KCl 1 : 0,117, KCl 10 : 0,147) est donc de l'ordre de 15 p. 100 de la quantité annuelle pour la petite dose de KCl et de **9 p. 100** pour la forte dose de KCl. C'est-à-dire que dans le dernier cas, le sol n'aurait retenu sous forme échangeable que 1,7 p. 100 du K apporté en 5 ans, évidemment ce bilan ne tient pas compte du K qui pourrait être fixé sous une autre forme.

Ces remarques montrent combien l'étude de la dynamique des éléments apportés à certains types de sol peut être complexe. D'autres méthodes de laboratoire, tels les tests de rétention, la cinétique de dilution isotopique du potassium, les isothermes d'échanges (variation des équilibres sol-solution pour des concentrations variables en cations de la solution) que le CIRAD commence à appliquer aux différents types de sols cultivés en palmiers à huile, devraient permettre de mieux connaître les phénomènes mis en jeu.

TABLEAU V. — Relation K-Ca dans quelques sols (*K-Ca relationship in a few soils*)

Situation (Location)	Effet des apports de KCl sur les teneurs foliaires en K (Effect of KCl applications on leaf K contents)	Rapport K/K + Ca en % (K/K + Ca ratio in %)			
		K éch./CEC %	Complexe absorbant (Absorbing complex)	dans percolat (percolated)	
				sans (no) KCl	avec (with) KCl
Bénin- Côte d'Ivoire Sumatra Aek Kwasan	KCl élève les teneurs foliaires en K (KCl raises leaf K content)	1,6 3,6 3,8	2,3 11,8 10,0	37 51 25	55 92 54
Sumatra Aek Loba	KCl élève très peu les teneurs en K (KCl raises leaf K content very little)	3,2	8,3	18	23
Colombie (Colombia)	KCl n'élève pas les teneurs en K (KCl does not raise leaf K content)	0,6	0,9	3	4

TABLEAU VI. — SA-1 : Bilan du K apporté au sol (*Details of K applications to soil*)

Apport annuel de KCl en kg/arbre pendant 5 ans (Annual application of KCl in kg/tree for 5 years)	Quantité de K apporté (Quantity of K applied)		Quantité moyenne de K en meq/100 g pour la couche 0-30 cm (Mean quantity of K in meq/100 g for the 0-30 cm layer)	
	Kg/arbre (kg/tree)	équivalent	apporté (applied)	restant (remaining)
0	0	0	0	0,086 (100 %)
1	0,562	14,4	0,32 (100 %)	0,0135 - 0,086 = 0,049 (15,3 %)
10	5,62	144,0	3,2 (100 %)	0,365 - 0,086 = 0,279 (8,7 %)

Déjà les isothermes ont montré que la capacité de rétention sous forme échangeable du K est limitée à une certaine valeur qu'il est impossible de dépasser même si la concentration du cation dans la solution continue d'augmenter. C'est peut-être le cas du sol de San Alberto dont le très fort pouvoir apparent de rétention du K constaté en colonnes serait en fait dû à une vitesse de descente très lente du cation dans la colonne consécutive à une vitesse d'échange également très lente, qui a déjà été constatée pour d'autres sols. La durée d'arrosage aurait donc été insuffisante alors qu'elle a suffi à lessiver une fraction très importante du K dans les sols ferrallitiques où les phénomènes d'échanges sont extrêmement rapides.

Ces quelques remarques montrent donc que les phénomènes d'échange entre le complexe absorbant et la solution de sol peuvent être très différents d'un sol à l'autre. Les moyens d'étude en laboratoire qui deviennent de plus en plus précis devraient permettre d'éclairer ce phénomène. Au champ la dynamique des éléments apportés n'est pas seulement contrôlée par les seuls phénomènes d'échange mais elle dépend aussi de la structure (micro-structure, macro-structure), des alternances d'humectation et de dessiccation du sol et de la présence du système racinaire. De plus, ce dernier absorbe les éléments dans une partie extrêmement restreinte du sol, le rhizocylindre, dont les caractéristiques physico-chimiques peuvent être très différentes de celles de la matrice. C'est pour aller plus avant dans l'explication des phénomènes concernant la dynamique des cations que l'IRHO envisage de mener parallèlement des études de laboratoire et des études *in situ* pour quelques situations-types.

2. — Les niveaux critiques en K de la feuille ; influence du déficit hydrique.

L'importance de l'effet sol sur les différents paramètres de la nutrition potassique impose la prudence pour toute comparaison entre situations. Il a cependant paru intéressant de rapprocher niveaux critiques et déficits hydriques.

Pour les expériences où il y a réponses positives à la fois pour les teneurs en K et pour les productions, les niveaux critiques ont été déterminés de la manière suivante :

— ajustement des courbes de réponse des productions et des teneurs foliaires en K en fonction des doses de KCl à une équation de la forme $y = a - bx + c\sqrt{x}$;

— détermination de la dose de KCl permettant l'obtention d'un supplément de production dont la valeur équilibre le coût de l'engrais. Dans ce qui suit « dy » représen-

tera le rapport des poids $\frac{\text{régimes}}{\text{engrais}}$ qui correspond à cet

équilibre financier ;

— la dose de KCl ainsi calculée détermine le niveau critique de K, à partir de la courbe de réponse des teneurs foliaires en fonction des doses d'engrais (Fig. 3, 4).

Le tableau VII récapitule les niveaux critiques ainsi obtenus pour deux valeurs de dy, 5 et 10, qui caractérisent deux « environnements économiques » dans lesquels des productions supplémentaires (dues à l'engrais) de 5 et 10 kg de régimes ont des valeurs nettes équivalentes au coût de 1 kg de KCl épandu.

TABLEAU VII. — Récapitulation des niveaux critiques en K déterminés sur les expériences présentant des réponses positives à KCl, tant pour la production que pour la teneur foliaire
(Récapitulation of K critical levels determined on experiments with a positive response curve for KCl, for both production and leaf contents)

Exp.	Pays (Country)	Déficit hydrique annuel (Annual water deficit) (mm)	Age des arbres (Ages of trees) ans (years)	Niveau critique de K (K critical level) (Kc)		Kg de KCl/arbre nécessaire pour atteindre Kc (Kg of KCl/tree necessary to reach Kc)	
				5 (1)	10 (1)	5 (1)	10 (1)
PO-20	Bénin	> 700	8-18	≤ 0,50	≤ 0,50	—	—
PO-20	Bénin	610	8-18	0,63	0,60	0,3	0,2
GD-6	Côte d'Ivoire	510	11-15	0,82	0,71	1,1	0,5
PO-20	Bénin	470	8-18	0,82	0,77	0,6	0,3
LM-30	Côte d'Ivoire	410	8-10	≤ 0,95	0,91	≤ 1,6	1,5
PO-20	Bénin	400	12-13	0,92	0,84	1,65	0,95
LM-23	Côte d'Ivoire	330	16-18	0,87	0,78	1,0	0,35
LM-23	Côte d'Ivoire	220	8-10	1,05	1,00	0,8	0,3
CA-1	Cameroun	190	7- 9	≈ 1,07	0,93	≈ 1,2	0,3
LD-7	Cameroun	170	13-15	0,90	0,90	2,2	2,2
DA-13	Côte d'Ivoire	130	9-11	0,92	0,83	2,6	1,6
BN-9	Bénin	100 (2)	8-11	≤ 0,95	≤ 0,95	≤ 2,5	≤ 2,5
AK-1	Sumatra E	75	6- 7	≈ 0,75	≈ 0,75	≈ 1,8	≈ 1,8
AK-3	Sumatra E	75	6-7	≈ 0,85	≈ 0,85	≈ 2,0	≈ 2,0
AL-1	Sumatra E	50	22-26	0,82	0,82	1,1	0,65
MRS-2	Sumatra E	25	10-12	0,83	0,75	1,4	0,5
LB-1	Sumatra W	0	10-11	0,75	0,72	1,1	0,85
SG-1	Sumatra W	0	8-10	0,69	0,67	0,6	0,45

(1) 5 ou 10 = Rapport $\frac{\text{valeur régimes}}{\text{coût engrais}}$ = poids de régimes supplémentaires de valeur nette équivalente au coût de 1 kg de KCl épandu

(5 or 10 = $\frac{\text{value of bunches}}{\text{cost of fertilizer}}$ = weight of additional bunches of net value equivalent to cost of 1 kg of KCl applied).

(2) Déficit hydrique résiduel avec irrigation (Residual water deficit with irrigation).

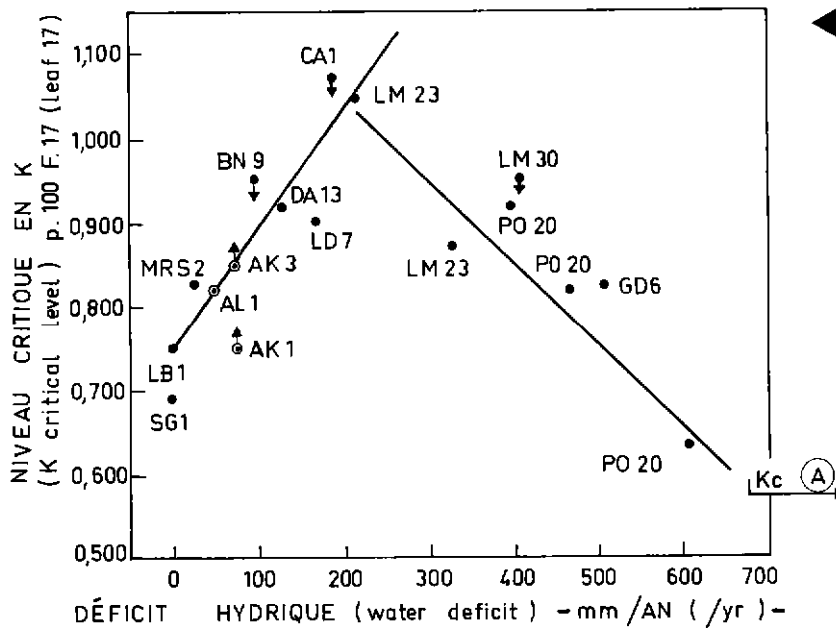


FIG. 6. — Déficit hydrique et niveau critique en K déterminé selon un critère économique ($dy = 5$) (Water deficit and K critical level, determined according to an economic criterion — $dy = 5$).

⊙ : Point non pris en compte dans la détermination de la régression (Point not taken into account in regression determination)

(A) Indéterminé (undetermined).

Certains niveaux critiques n'ont pu qu'être estimés :

- pour LM-30 et CA-1, les doses calculées pour $dy = 5$ sont supérieures aux doses étudiées dans l'essai ;
- pour LD-7, l'impossibilité d'ajuster la courbe de réponse à une équation (Fig. 3) implique d'estimer le niveau critique égal à la teneur obtenue avec l'objet K3 pour lequel $dy = 6,4$; même remarque pour BN-9 ;
- pour AK-1, qui n'étudie que deux doses de KCl, on ne peut qu'estimer le niveau critique comme étant supérieur ou égal à la teneur de l'objet K1 ;
- pour AK-3, la courbe de réponse des productions étant une droite, on ne peut qu'estimer le niveau critique comme étant supérieur ou égal à la teneur de l'objet K2 ;
- pour AL-1, il n'est pas certain que l'expérience ait permis la mise en évidence du véritable niveau critique puisqu'entre les doses K1 et K2 ni les productions ni les teneurs en K n'augmentent.

La figure 6 représente les niveaux critiques en K en relation avec les déficits hydriques supportés par les arbres.

Commentaires :

1. — Les résultats expérimentaux ne permettent pas de définir les niveaux critiques pour les déficits hydriques supérieurs à 700 mm : le potentiel de production des arbres est alors tellement faible que l'augmentation des teneurs au-dessus de 0,50 p. 100 reste sans effet.

2. — Dans la gamme des déficits hydriques décroissant de 600 à 250 mm, les niveaux critiques augmentent de 0,62 à 1,05 p. 100 (corrélation négative de 0,93***). Ce résultat pourrait indiquer qu'au fur et à mesure que le déficit décroît, le potentiel de production s'élève, permettant ainsi l'expression d'une meilleure nutrition potassique : l'élément K agit alors à la fois sur les plans de la nutrition et du comportement de l'arbre vis-à-vis de la sécheresse. On remarque un niveau critique plutôt faible pour LM-23 sous un déficit de 330 mm, qui pourrait s'expliquer par le fait que durant cette phase de l'expérience, 16-18 ans, les

teneurs foliaires sont en diminution constante avec les années, confirmant qu'il n'est pas toujours possible de déterminer avec précision le niveau critique lorsque la nutrition n'est pas relativement stable.

3. — Lorsque les déficits hydriques continuent à diminuer de 250 à 0 mm, les niveaux critiques baissent à nouveau de 1,05 à 0,69 p. 100 (corrélation positive de 0,92**). Tout se passe comme si l'expression de hauts potentiels de production par des arbres bien alimentés en eau ne nécessitait qu'une moindre richesse des feuilles en K, cet élément n'ayant plus de rôle à jouer dans la régulation stomatique et la résistance cellulaire sous stress hydrique. On remarque le niveau critique plutôt élevé de BN-9 pour un déficit hydrique calculé de 100 mm ; ceci pourrait s'expliquer par le fait que dans le climat du Sud Bénin, avec des périodes sèches caractérisées par de faibles hygrométries de l'air, le calcul du déficit hydrique supporté par des arbres irrigués ne rend pas exactement compte de leur situation. On a d'ailleurs pu remarquer que les stomates des arbres irrigués se fermaient partiellement en périodes très sèches.

Les caractéristiques des sols déterminent différents paramètres de la nutrition et de la fertilisation potassiques du palmier, tels que :

- teneurs foliaires natives ;
- absorption, de l'élément K apporté par les engrais, variant de forte (sur sols ferrallitiques plus ou moins désaturés) à nulle (sur certains sols alluviaux dits « à forte pression calcique ») ;
- réponse à l'engrais potassique, c'est-à-dire poids de régimes supplémentaires par kg de KCl, qui dépend à la fois des teneurs natives en K, des facilités d'absorption du K des engrais, et du potentiel de production (âge des arbres, toutes autres conditions...).

L'interaction de tous ces facteurs engendre des réponses à l'engrais très variables selon les situations (Tabl. I).

Le niveau critique de la feuille en K apparaîtrait alors comme relativement indépendant des conditions de sol, mais lié par contre à l'alimentation en eau des arbres. Les faibles niveaux critiques, entre 0,60 et 0,80 p. 100, se retrouvent à la fois sous très faibles et très forts déficits hydriques :

• dans le premier cas, l'élément K jouerait son rôle nutritionnel et n'interviendrait que peu ou pas dans la résistance à la sécheresse ;

• dans le second cas, des teneurs élevées en K seraient nécessaires pour participer à la résistance à la sécheresse, mais ici le potentiel des arbres est devenu insuffisant pour pouvoir extérioriser l'effet de telles teneurs.

Les plus forts niveaux critiques, de l'ordre de 0,90 à 1,00 p. 100, sont observés dans les situations moyennement sèches, déficits hydriques entre 200 et 400 mm, où le potentiel de l'arbre peut s'exprimer lorsque l'élément K en abondance dans l'arbre (feuilles et stipe) améliore le comportement vis-à-vis de la sécheresse.

Bien entendu l'utilisation pour le calcul du niveau critique d'une valeur uniforme de $dy = 5$, n'a d'intérêt que pour la démonstration et il convient, sur le plan pratique, de retenir pour chaque situation un dy convenable.

Ces observations et les conclusions qui en découlent mériteraient d'être reprises et vérifiées sur un plus grand nombre d'expériences, mettant en cause davantage de types de sol ; cet inventaire devrait être accompagné de recherches détaillées sur les caractéristiques des sols et les méthodes de détermination des déficits hydriques.

SUMMARY

The influence of climate and soil on potassium critical level in oil palm leaf analysis.

M. OLLAGNIER, C. DANIEL, P. FALLAVIER and R. OCHS, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 12, p. 435-449.

Certain experimental results obtained in Indonesia, with no water deficit, show that leaf potassium contents well below the critical levels normally accepted enable excellent yields to be obtained and that correction of this apparent deficiency remains without any significant effect on overall production. In Benin, response to potassium is strong under high water deficit conditions and weak when irrigation is given. For an identical potassium concentration level in the leaf, the response which can be expected from KCl applications depends on the water supply. This hypothesis would seem to provide « back-confirmation » of the extent of the role played by potassium nutrition in drought resistance phenomena. The potassium critical level also depends on the type of soil, particularly clay minerals, the absorbing complex and the exchangeable cation balance. The examples used in this study concern a great number of situations in Africa, America and Asia. They confirm the need for specific experiments *in situ* to determine potassium critical levels for each of the ecologies considered.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHAPMAN G. W., GRAY H. M. (1949). — Leaf analysis and the nutrition of the oil palm. *Annals of Botany*, 52, p. 415-433.
- [2] IRHO (1976). — Evolution saisonnière des teneurs en éléments des feuilles (*Note interne, non publiée*).
- [3] MENGEL K., KIRKBY E. A. (1982). — *Principles of plant nutrition*, International Potash Institute
- [4] OCHS R. (1965). — Contribution à l'étude de la fumure potassique du palmier à huile. *Oléagineux*, 20, N° 6, p. 365-368 ; N° 7, p. 433-436 ; N° 8-9, p. 497-501.
- [5] OLLAGNIER M., OCHS R., MARTIN G. (1970). — La fumure du palmier à huile dans le monde *Fertilité*, N° 36, p. 3-64.
- [6] 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 (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 39, N° 7, p. 349-368.
- [7] OLLAGNIER M. (1985). — Réactions ioniques et conduite de la fertilisation en liaison avec la résistance à la sécheresse des oléagineux pérennes (palmier à huile et cocotier) (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 40, N° 1, p. 1-10.
- [8] QUENCEZ P., TAFFIN G. (de) (1981). — Relation entre la nutrition potassique et la pluviométrie en culture de palmiers à huile et de cocotiers (bilingue fr.-angl.) *Oléagineux*, 36, N° 1, p. 1-7.
- [9] RUER P. (1966). — Relation entre facteurs climatiques et nutrition minérale chez le palmier à huile *Oléagineux*, 21, N° 3, p. 143-148.
- [10] TAFFIN G. (de), OCHS R. (1973). — La fumure potassique du palmier à huile au Dahomey *Oléagineux*, 28, N° 6, p. 269-273.
- [11] TUKEY H. B. (1970). — The leaching of substances from plants *Annual review of plant physiology*, Vol. 21, p. 305-323.

RESUMEN

Influencia del clima y del suelo en el nivel crítico del potasio, en el diagnóstico foliar de la palma africana.

M. OLLAGNIER, C. DANIEL, P. FALLAVIER y R. OCHS, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 12, p. 435-449

Algunos resultados experimentales obtenidos en Indonesia sin déficit hídrico muestran que unos contenidos de potasio en las hojas muy inferiores a los niveles críticos que suelen considerarse normalmente, permiten obtener una producción excelente, y que la corrección de esta carencia aparente no surte ningún efecto significativo en la producción de conjunto. En el Benín, la respuesta a los aportes de potasio es importante en presencia de un fuerte déficit hídrico, y es débil bajo riego. Para un mismo contenido de potasio de una hoja, la respuesta a los aportes de KCl depende del suministro de agua. Esta hipótesis parece confirmar de rechazo la importancia del papel desempeñado por la nutrición de K en los fenómenos de resistencia a la sequía. El nivel crítico de K depende también del tipo de suelo, en especial los minerales arcillosos, el complejo absorbente y el equilibrio de cationes intercambiales. Los ejemplos que se dan en este estudio se refieren a muchas situaciones en el África, en América y en el Asia. Confirman la necesidad de disponer de experimentos *in situ*, a fin de establecer los niveles críticos de K para cada una de las ecologías consideradas.

The influence of climate and soil on potassium critical level in oil palm leaf analysis (1)

M. OLLAGNIER (2), C. DANIEL (3), P. FALLAVIER (4) et R. OCHS (5)

INTRODUCTION

Oil palm potassium nutrition has long been considered to be a major growth and production factor both in Africa [4] and the Far East [1].

The use of leaf analysis in the monitoring and management of mineral nutrition on plantations involves a knowledge of fertilizer response curves and critical levels. Studies made over the last few decades show that response curves and even critical levels are not universally applicable, and that leaf analysis results should be interpreted in light of environmental conditions, particularly with reference to water supply conditions and soil characteristics.

By bringing together observations made in some very diverse situations, an attempt will be made to analyze the effects of climate and soil on potassium nutrition, response to potassium fertilizers, and the corresponding critical level. This is a difficult analysis because of the complexity of the phenomena involved and the interactions between the effects of climate and soil between which it is not always possible to distinguish.

In an experiment on the western coast of Sumatra (SG-1) with a highly favourable climate and no water deficit, it was surprising to discover that it was possible to obtain an average yield over three campaigns of 26.6 t of bunches/ha with leaf K contents of 0.5 p. 100 i.e. much lower than the critical levels usually accepted, while the use of potassium fertilizer enabled no more than a modest increase in yield of 6.8 p. 100, which is insignificant. This unusually high performance must be assumed to be the result of particularly favourable climatic conditions, which should give food for thought as to the dual function of K : the first linked to metabolism and nutrition, and the second to drought resistance [3].

To concentrate on the water supply factor, the situations mentioned in this paper will be categorized according to water deficit, we will then study the possible effect of soil characteristics for each category.

I. — HIGH WATER DEFICIT SITUATIONS

(more than 400-500 mm/year, which is very often the case in Africa, e.g. Côte d'Ivoire, Benin, Nigeria).

As early as 1966 it was shown that a relationship exists between effective sunshine (which is closely correlated to water deficit) and response to potassium fertilizer application [9]. This was confirmed in 1973 in the very dry conditions of Benin : de Taffin and Ochs [10] demonstrated that optimum K levels and cost-effective fertilizer rates varied according to the intensity of the drought, which influenced both leaf contents and tree production potential.

As for the effect of drought on leaf content [11] it can be assumed that, for water deficits of more than 400 mm (6) during the dry period immediately preceding leaf sampling, K contents fall by 0.03 p. 100 per additional 100 mm of deficit [2, 8].

The results of two experiments in Benin, where there were high annual water deficits of between 400 and 800 mm, confirm (Figs. 1 and 2) :

- that there is no point in using high rates of KCl,
- that fertilizer becomes more effective when the water deficit falls, despite the fact that K uptake is still high (Fig. 3).

These experiments were conducted on moderately desaturated loamy sand to clay red ferrallitic soils, formed on Tertiary

sediments. A continuous earth column leaching test was conducted on a prepared sample of soil (Table II b). It showed that, under the experimental conditions used, 61 p. 100 of the K applied (1 meq/100 g of earth) in the form of KCl was retained by the soil, 58 p. 100 in exchangeable form after elution of an equivalent quantity of exchangeable Ca + Mg. The effect of KCl applications on oil palm leaf contents can be explained by the fact that, as the K provided by the fertilizer is retained essentially in exchangeable form, it easily passes into the soil solution, where it is available for the plant, provided that the water supply enables the absorption of the mineral elements.

The response curves for leaf contents and production adjusted according to a function $y = a - bx + c\sqrt{x}$ (Fig. 3) enable the determination of K critical levels depending on economic conditions, if for example the cost of 1 kg of applied KCl represents the value equivalent to 10 kg of bunches, critical K levels are :

- 0.600 for a water deficit of 600 mm,
- 0.775 for a water deficit of 470 mm.

The results of an experiment (GD-6) in western Côte d'Ivoire confirm the Benin results : trees aged 11-15 years subjected to an annual average water deficit of 510 mm have a critical K level close to 0.75 p. 100 (Tables I and VII).

For very high deficits of 700-800 mm or more, it is impossible to determine a critical level on the basis of available experimental data ; it can merely be noted that, under the above conditions, there is no point in attempting to raise leaf contents above 0.50 p. 100.

II. — MODERATE OR ZERO WATER DEFICIT SITUATIONS

It might be concluded from the above paragraph that the cost-effectiveness of fertilizer and the critical K level would continue to rise if tree water supply improved, and would reach maximum values for situations in which there was no water deficit. In fact this is not a systematic rule, as several other factors come into play, such as soil characteristics and the role of potassium nutrition in the reaction of the tree to drought.

In 1984, Ollagnier [7] noted that in an irrigated palm grove in Benin, the effects of potassium fertilizer were less marked than might have been expected. Experiment SG1 on the western coast of Sumatra, which was mentioned at the start of this paper, shows a very modest increase in production with the application of potassium fertilizer, whereas on the basis of the leaf K contents the trees would be classified as extremely deficient according to normal standards (Table I).

The next paragraph will use comparisons to show the diversity of situations with regard to levels of tree potassium nutrition and their response to fertilizer.

1. — Climate with a water deficit between 200 and 400 mm.

— *On highly desaturated ferrallitic soils.*

The result of experiments LD-7 in Cameroon and LM-30 A and LM-23 in Côte d'Ivoire are shown in table I. K uptake is comparable and occurs normally, in line with the characteristics of these highly desaturated yellow sandy to loamy sand ferrallitic soils, formed on Tertiary sediments. A comparable effect of

(3) Agronomy Division, IRHO-CIRAD (*).

(4) Director, Soil Analyses Laboratory, CIRAD (*).

(5) Director, Agronomy Division, IRHO-CIRAD (*).

(*) CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

(6) From here onwards, water deficits are determined using a simplified method of evapotranspiration calculation (IRHO method IGM 12).

(1) Paper given at the « 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences. Progress and Prospects, Kuala Lumpur (Malaysia), 23/6-1/7.

(2) Director of Oil Crops Research, IRHO-CIRAD, 11, Square Pétarque, 75116 Paris (France)

potassium fertilizer on mineral nutrition is observed in Cameroon in experiment CA-1 located on ferrallitic soils formed on Tertiary sandstone.

The results of earth column tests on soils similar to those of LM-30 A (Table IIb) show that, depending on experimental conditions (leaching intensity), only 17-29 p. 100 of the K applied (2.3 or 1 meq/100 g) is retained by the soil, 17 p. 100 (totality) to 25 p. 100 in exchangeable form, partly through replacement of the displaced Ca and Mg and partly perhaps by fixing onto new negative bonds resulting from an increase in the ionic force of the solution after KCl application. The K applied seems to be very weakly retained by the absorbing complex of the soil and thus can be easily mobilized by the plant; this explains the marked increase in leaf contents, even at a modest KCl rates.

As a result of the lower water deficits in Côte d'Ivoire, the production potential of LM-30 A and its response to fertilizer for the same increase in K content are higher than those in Benin (Fig. 3). The economic critical K level (for a value equivalence of 10 kg of bunches for 1 kg of KCl) is 0.900 (Fig. 3).

Though subject to lower water deficits than in Côte d'Ivoire, experiments LD-7 and CA-1 in Cameroon produce less than LM-30 A. The lower production of CA-1 can be explained by a high gravel content in the soil, which reduces the water reserve. On the other hand for LD-7, an examination of the usual physicochemical characteristics of soils (texture, organic matter, absorbing complex) does not provide an adequate explanation, which suggests the presence of other limiting factors, such as the degradation of soil structure, or the presence of root parasites. It should be noted that for LD 7, adjustment of the production response curve for KCl applications is not the same as for the other trials (of the type $y = a - bx + c\sqrt{x}$); for CA 1 the calculation gives a critical level of 0.97 obtained with 0.5 kg of KCl/tree/year (natural contents were already 0.83). For LD 7, on the other hand, the critical K level can only be estimated at roughly 0.90 p. 100.

2. — Climate with a low water deficit (less than 300 mm).

— Soils formed on river deposits and volcanic material in Sumatra.

a) The two experiments AL-1 and AK-1 (Aek Loba plantations) under favourable climatic conditions, with a water deficit varying from year to year between 0 and 300 mm, have different potassium nutrition characteristics; for AL-1, the K content is 0.80 (22-26 year old trees) compared to only 0.64 for AK-1 (6-7 year old trees) (Table III); in both cases these contents are reached without the use of potassium or phosphorus fertilizer (the latter reducing K contents as a result of K-Ca antagonism).

Experiment AL-1 is located on ando-like ferrallitic soil whose properties were shown by laboratory tests (table IIb) to be different from those of the previous ferrallitic soils (West Africa). Trial results show that depending on experimental conditions, 46 to 85 p. 100 of the K applied (2.3 or 1 meq/100 g) through KCl is retained, including 39 p. 100 and 68 p. 100 respectively in exchangeable form after elution of Ca, Mg, NH₄, the remainder probably subject to retrogradation as was shown by boiling nitric acid extraction performed on the original soil sample. The relative quantity of K retained in exchangeable form is therefore high, and yet the application of KCl in plots which receive no other fertilizer does not increase leaf K contents. However, although the composition of the solution which percolated through the columns receiving KCl is, on the first measurement, similar to that of the soil solution, it can be seen that the concentration of K

in relation to Ca, $\frac{K}{K+Ca}$ % is far lower for the soil in AL-1

(23 p. 100) than for the soils in Benin (55 p. 100) and particularly in Côte d'Ivoire (92 p. 100). The very high Ca content of the soil percolates in AL1 originates not only from the displacement of the exchangeable Ca⁺⁺, but also probably from a dissolution of total calcium, the content of which is very high.

The higher « calcium pressure » which would seem to exist in the soil solution in AL-1 should be considered together with the fact that the K applied is not assimilated by the oil palms, at least at leaf level, particularly as the leaf contents of the trees receiving no fertilizer are already naturally high (0.90 p. 100).

Thus in this experiment KCl applications would appear to be useless in terms of increasing leaf contents or production, if it were not necessary to correct N and P deficiencies beforehand; for the latter, the application of phosphate causes a reduction in K uptake, and an effect of KCl fertilizer is then observed both on leaf contents and production (Table III).

Experiment AK-1, although quite close, is in fact located on ferrallitic soils on Tertiary sediments whose properties are closer to those of the ferrallitic soils of Africa than those of Aek Loba.

Thus the results of an earth column leaching test show that 56 p. 100 of the K (1 meq/100 g) added by KCl is retained, 50 p. 100 of which is in exchangeable form following the elution

of Ca, Mg, NH₄. The ratio $\frac{K}{K+Ca}$ % of the percolates

reaches 54 p. 100. It is therefore far higher than that of AL-1 (23 p. 100) and equal to that of the ferrallitic soil of Benin. Laboratory tests and agronomical results thus bear each other out; on the one hand, a low natural leaf K content (0.65) which is caused by a very low content of exchangeable K in the soil, and on the other hand a marked increase of up to 0.9 p. 100 in tree content under the effect of KCl applications (Table IV), as the uptake of K from the soil solution is not prevented.

The comparison between AL-1 and AK-1 is illustrated in figure 4, where very great differences in potassium fertilizer response intensities emerge. Another experiment, AK-3, located in an ecology which is comparable to that of AK-1 shows a response to KCl of another type, with a fertilizer yield equivalent to a rate of 1 or 2 kg/tree. Such different reactions show the need for more in-depth research.

b) The two experiments SG-1, and LB-1 (Seunagan and Lae Butar plantations on the west coast of Sumatra) are both characterized by abundant rainfall which means that there is never any water deficit; moreover, the Seunagan plantation benefits from a shallow water table. On the other hand, the physicochemical characteristics of the soils differ greatly (Table IIa):

- silty clay texture for SG-1 and sandy texture for LB-1;
- rich in organic matter and total nitrogen for SG-1, much lower for LB-1;
- excellent exchange capacity and high exchangeable Ca and Mg contents for SG-1; these values are all much lower for LB-1;
- high soil P contents for SG-1; content values which indicate a deficiency for LB-1;
- both situations would seem however to have low K contents, particularly at Seunagan, given the very high contents of bivalent cations and the CEC.

Thus experiment SG-1 benefits from all the conditions required to give high production, except for the very low potassium nutrition of treatment K0 from the age of 3 years, a content which has continued to fall since then (Fig. 5).

Experiment LB-1, situated on far less suitable soil, has lower potential and, despite a soil much less rich in K than on SG-1, has a higher K content (complex less rich in Ca than that of SG-1 and lower exports of K by bunches).

In both experiments K contents in K0 treatments fell steadily from year to year (Fig. 5), and in 1986 reached the very low values of 0.45 and 0.42 for SG-1 (treatment K0) and LB-1 (treatment P1K0) respectively. Figure 5 shows different reactions to K in the two experiments: for SG-1 contents in treatment K0 without KCl can fall to less than 0.50 p. 100 without an increase in fertilizer effect, whereas in LB-1, with natural contents falling from 0.72 to 0.55 the first kg of KCl applied increases production from 25 to 43 kg of bunches. The response curves (Fig. 4) for comparable contents which are to be corrected (treatments without K) determine similar critical levels for both trials.

— Kc = 0.70 for SG-1, contents obtained with an application of 0.6 kg of KCl/tree/year,

— Kc = 0.75 for LB-1, contents obtained with a KCl rate of 1.1 kg/tree/year.

Discussion.

In experiment SG-1, although leaf K contents fall to the very low level of 0.5 (at 10 years of age) potassium fertilizer has little effect compared to what is observed in test LB-1, for a comparable correction of contents.

Hence under very favourable water supply conditions, with soils having all the characteristics likely to generate high production potential, trees can have very low K contents without necessarily responding strongly to potassium fertilizer.

It is probable that as leaf contents decrease from year to year, responses will increase, and in any case, even modest potassium fertilizer applications seem necessary to compensate K exports at least in part. However, under excellent growing conditions, the potassium nutrition level is not as important as in less favourable climates or when other soil factors are more limiting.

3. — Climates with a considerable natural water deficit (> 700 mm) reduced by drip irrigation to 100 mm.

— Moderately desaturated ferrallitic soils in Benin.

Experiment BN-9, located in a 900 ha irrigated oil palm plantation, has been subject to an annual water deficit over the last 4 production campaigns which was reduced to 100 mm after irrigation. It is impossible to adapt production data to an equation. A relatively modest potassium fertilizer effect can be noted however, though contents in the treatment receiving the lowest fertilizer rate only 0.74 p. 100. The critical K level can only be estimated at around 0.95 p. 100. This result will be taken up in the general discussion

4. — Climate with a low water deficit (less than 200 mm).

— Colombian alluvial soils and soils formed on Ecuadorian volcanic material.

The San Alberto alluvial soils in Colombia are characterized by a CEC which is incomparably higher than that of the previous soils, and 63 p. 100 of this CEC is saturated by Ca.

The results of earth column tests show that 96 p. 100 of the K added by KCl (0.2 or 0.3 meq/100 g, i.e., a rate of 1 and 1.5 kg of KCl/tree, applied over a circular area with a radius of 3 m) is retained by the soil, 60 p. 100 of it in exchangeable form. The relative quantity of K retained in exchangeable form, which can easily be assimilated by the plant, is therefore high, though the KCl applications do not increase leaf K contents, despite a low natural level of 0.80 p. 100. On the other hand, even a drop in leaf K contents is observed which results from an increase in Ca contents. Nonetheless, as in the case of Aek Loba soils, and even more markedly so, relative mean K contents for all percolates compared to those for Ca are extremely low, both in the control column and in the column which receive KCl, since

$$\frac{K}{K + Ca} \% = 4.$$

This leads us to consider that the very high « calcium pressure » which apparently exists in the soil solution is perhaps responsible for the special status of potassium nutrition in oil palm at San Alberto. K uptake is so impeded that annual applications of 10 kg of KCl per tree over 5 years, as seen in trial SA-1, proved to be ineffective in increasing leaf K contents (Table IV).

Nevertheless, exchangeable K contents in the topsoil (0-30 cm) went from a low value of 0.086 meq/100 g to a very high value of 0.365 meq/100 g for a 10 kg treatment. It can be noted that the fixing of K in the absorbing complex is not proportional to the quantities of KCl applied, because although an annual application of 1 kg of KCl/tree multiplies natural contents 1.6 times, the 10 kg rate increases them only 4.2 times.

Almost the same situation is found in the soils of volcanic origin on the Tatiana plantation in Ecuador, where KCl applications cause a marked drop in K contents, whilst yields increase through an improvement in Cl nutrition.

III. — DISCUSSION-CONCLUSION

1. — K dynamics in the soil — availability for oil palm.

Plant cells are very permeable to potassium. As a result, the plant generally gives preference to uptake of the potassium present in the soil solution, even at a concentration far below that of Ca. This can be verified for desaturated ferrallitic soils (Benin, Côte d'Ivoire, Sumatra at Aek Kwasan) where KCl applications easily increase leaf K contents, though this is not the case for certain alluvial soils (Colombia) or ando-like ferrallitic soils (Sumatra at Aek Loba). Standard physicochemical analyses of the soils — including those of the absorbing complex — do not clearly explain these differences in oil palm behaviour, except perhaps in the case of the Colombian soil, where the ratios

$\frac{K}{CEC}$ and $\frac{K}{K + Ca}$ in the absorbing complex are not very

different from those found in Benin. The results of standard laboratory tests, which involve percolating KCl through earth columns, provide some explanation, if it is assumed that the composition of percolates more or less represents that of the soil

solution at a given instant, after fertilizer applications on the plantation. The results show, in fact, that relative K concentration

compared to the Ca $\left(\frac{K}{K + Ca} \% \right)$ of the soil solution is

markedly lower in the two situations where there is no or very little leaf content response to KCl applications. At Aek Loba, the large quantity of Ca in the solution is due to the fact that total calcium is partially dissolved following KCl applications, whereas at San Alberto, it would seem to be caused by very high exchangeable Ca contents (total Ca content is also very high, but its role has not been studied) (Table V).

The situation with alluvial soils appears to be special, as the column seems to retain almost all the added K, 60 p. 100 in exchangeable form. This contradicts the exchangeable K rates used in experimental plots which received 10 kg of KCl/tree annually for 5 years over a circular area of 10 m² (Table VI).

Hence, the quantity of K retained in exchangeable form at depths of 0 to 30 cm (quantities of fixed K between 50 and 70 cm are low, KCl 0 : 0.092 meq/100 g, KCl 1 : 0.117 ; KCl 10 : 0.147) is 15 p. 100 or so of the annual quantity for the low KCl rate and 9 p. 100 for the high KCl rate. In the latter case, the soil would have only retained in exchangeable form 1.7 p. 100 of the K applied over 5 years ; this figure obviously does not take into account the K which could be fixed in another form.

These remarks illustrate the complexity of studying the dynamics of elements added to certain types of soil. Other laboratory methods, such as retention tests, potassium isotopic dilution kinetics, exchange isotherms (variation of soil-solution balances for variable cation concentrations in the solution), which the CIRAD is beginning to apply to various types of soils used for oil palm cultivation, should enable a better understanding of the phenomena involved. Isotherms have already shown that the exchangeable K retention capacity is limited to a certain value which cannot be exceeded even if the cation concentration in the solution continues to increase. This is perhaps the case for San Alberto soils, whose very strong apparent K retention capacity observed in the column tests could in fact, be due to a very slow cation descent in the column, subsequent to a very slow exchange rate, which was already observed in other soils. Watering time would therefore seem to have been inadequate, though long enough to leach out a very considerable fraction of K in ferrallitic soils, where exchange phenomena are extremely rapid.

These remarks show that exchange phenomena between the absorbing complex and the soil solution can differ greatly from one soil to another. Increasingly accurate laboratory study methods should throw further light onto this phenomenon. The dynamics of elements applied in the field not only depend on exchange phenomena but also on structure (microstructure, macrostructure), alternate moistening and drying of the soil and the root system. Moreover, the latter absorbs elements in an extremely restricted part of the soil, the rhizosphere, whose physicochemical characteristics can be very different from those of the matrix. In order to improve our understanding of cation dynamics phenomena, the IRHO is considering undertaking parallel laboratory and field studies for some typical situations.

2. — Critical leaf K levels ; influence of water deficit.

The considerable effect of the soil on different potassium nutrition parameters calls for prudence when comparing situations. It does however seem useful to compare critical levels and water deficits.

For experiments where there are positive responses for both K contents and production, critical levels were determined as follows :

— adjustment to the equation $y = a - bx + c\sqrt{x}$, of the production response and leaf K content curves depending on KCl rates ;

— determination of the KCl rate at which production increases balance out the cost of fertilizers. In the following, dy will represent the bunch/fertilizer weight ratio which corresponds to this financial balance ;

— the KCl rate thus calculated determines the critical level of K, using the leaf content response curve depending on fertilizer rates (Figs. 3 and 4).

Table VII recapitulates critical levels obtained this way for two dy values, 5 and 10, which characterize two « economic environments » in which increased production (due to fertilizer applications) of 5 and 10 kg of bunches have net values equivalent to the cost of 1 kg of KCl, applied.

Some critical levels can only be estimated :

— for LM-30 and CA-1, the rates calculated for $dy = 5$ are greater than the rates studied in the trial ;

— for LD-7, it was impossible to adjust the response curve to an equation (Fig. 3) ; this means that the critical level must be estimated as being equal to the contents obtained with treatment K3, for which $dy = 6.4$; the same applies for BN-9 ;

— for AK-1, which studies only two KCl rates, the critical level can only be estimated as being greater than or equal to contents in treatment K1 ;

— for AK-3, given that the production response curve is a straight line, the critical level can only be estimated as being greater or equal to contents in treatment K2 ;

— for AL-1, it is not certain that the experiment was able to reveal the true critical level, as there is no increase in production or K contents between rate K1 and rate K2.

Figure 6 represents critical K levels in relation to water deficits which the trees withstand.

Remarks :

1. — Experimental results do not enable critical levels to be defined for water deficits over 700 mm ; production potential is then so low that the increase in contents above 0.50 p. 100 has no effect.

2. — With water deficits decreasing from 600 to 250 mm, critical levels increase from 0.62 to 1.05 p. 100 (negative correlation of 0.93***). This result may indicate that as the deficit decreases, the production potential increases leading to better expression of potassium nutrition : the K element then affects both nutrition and oil palm reaction to drought. At a deficit of 330 mm, a rather low critical level can be observed, which could be explained by the fact that during this phase of the experiment (16-18 years) leaf contents constantly fall with the number of years, confirming that it is not always possible to determine the exact level if nutrition is not relatively stable.

3. — For water deficits from 250 to 0 mm, critical levels fall from 1.05 to 0.69 p. 100 (positive correlation of 0.92**). It would seem that lower leaf K contents are sufficient for the expression of high production potentials in trees with a good water supply, as K has no further role to play in stomatic regulation and cellular resistance under water stress. The rather high critical level of BN-9 for a calculated water deficit of 100 mm is worth noting ; this

could be explained by the fact that under southern Benin climatic conditions, with dry periods and low relative humidity, calculating the water deficit which irrigated trees withstand does not reflect their true situation. It has also been noted that the stomata of irrigated trees close partially in very dry periods.

Soil characteristics determine various nutrition and potassium fertilization parameters concerning oil palm, such as :

— natural leaf content ;

— uptake of K from fertilizer applications, which varies from strong, in more or less desaturated ferrallitic soils to nil in certain « high calcium pressure » alluvial soils ;

— response to potassium fertilizer, i.e. weight of additional bunches per kg of KCl, which depends on natural K contents, ease of fertilizer K uptake, and production potential (age of trees, all other conditions...).

The interaction of all the factors gives rise to very variable responses to fertilizer depending on the situation (Table I).

The critical K level in the leaf would therefore seem to be relatively independent from soil conditions, but linked on the other hand to tree water supply. Low critical levels, between, 0.60 p. 100 and 0.80 p. 100, are found both under very low and very high water deficit conditions :

• in the first case, K would seem to play its nutritional role, and have little or no impact on resistance to drought ;

• in the second case high K contents would be required to play a role in resistance to drought, but here, tree potential has become insufficient to enable exteriorization of the effects of such contents.

The highest critical levels, from around 0.90 to 1.00 p. 100 are observed in moderately dry situations, with water deficits between 200 and 400 mm, where tree potential can be expressed when high K contents in the tree (leaves and stem) improve reaction to drought.

Of course, the uniform value $dy = 5$ for calculation of a critical level is only useful for demonstration purposes, and from a practical viewpoint a suitable dy should be adopted for each situation.

These observations and the resulting conclusions should be repeated and verified on a greater number of experiments, involving more types of soil ; this inventory should be accompanied by detailed research studies into the characteristics of soils and water deficit determination methods.

Bibliographie

RECENT ADVANCES IN CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF FATS AND OILS

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA CHIMIE ET LA TECHNOLOGIE DES CORPS GRAS

HAMILTON R. J., ed. ; BHATI A., ed.

Elsevier applied science, Barking (Gbr) 1987, 199 p.
(ISBN 1-85166 070-4)

Depuis la publication en 1980 par Elsevier de l'ouvrage « Huiles et graisses : chimie et technologie », des progrès importants ont été réalisés dans l'industrie des corps gras.

Cette monographie rassemble les connaissances les plus actuelles dans ce domaine. Elle comprend 8 chapitres :

- 1 — Propriétés physiques des huiles et des graisses : Birker P. J. M. W. L., Padley F. B. ;
- 2 — Méthode de détermination des séquences d'acides gras dans les triglycérides : Bhati A. ;
- 3 — L'oxydation des lipides et les problèmes qui en découlent dans l'industrie alimentaire : Allen J. C. ;
- 4 — Hydrogénation des huiles et des graisses : Patterson H. B. W. ;

- 5 — Technique d'analyse des lipides et spécialement de la graisse du lait : Christie W. W. ;
- 6 — Les lipides du grain de blé et leur rôle dans la fabrication du pain : Barnes P. J. ;
- 7 — Différences variétales dans la composition en acides gras des huiles de graines appartenant à la même espèce : Hamilton R. J. ;
- 8 — Les techniques de transformation et leurs applications industrielles : Podmore J.

L'ouvrage se termine par un index matières.

Pour toute commande, s'adresser à : Elsevier applied Science Publishers. Crown house, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU (England).