

Le Potassium dans les Cultures et les Sols Tropicaux

Potassium in Tropical Crops and Soils



Institut International de la Potasse 1973
International Potash Institute 1973

Le Potassium dans les Cultures et les Sols Tropicaux
Potassium in Tropical Crops and Soils

Le Potassium dans les Cultures et les Sols Tropicaux

Potassium in Tropical Crops and Soils



Compte rendu du 10^e Colloque de l'Institut International
de la Potasse organisé en décembre 1973
à Abidjan / République de Côte d'Ivoire

Proceedings of the 10th Colloquium
of the International Potash Institute held in December 1973
in Abidjan / Republic of Ivory Coast

Table des matières

Contents

		<i>Page</i>
Séance d'ouverture Opening session		
<i>Chaudet, P.</i>	Ouverture du Colloque	9
<i>Lorougnon Guédé, J. G.</i>	Discours de Bienvenue	13
<i>Drouineau, G.</i>	Exposé d'introduction	17
	Opening address	19
1 ^{re} Séance de travail 1st Working session	Le potassium dans les sols tropicaux Potassium in tropical soils	
<i>Pedro, G.</i>	La pédogénèse sous les tropiques humides et la dynamique du potassium	23
<i>Acquaye, D. K.</i>	Factors determining the potassium supplying power of soils in Ghana	51
<i>Moutappa, F.</i>	Soil mapping in relation to the use of fertilizers in the humid tropics	71
<i>Boyer, J.</i>	Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés	83
<i>Dabin, B.</i>	Techniques analytiques: Valeur comparée des différentes méthodes pour la détermination du potassium assimilable des sols	103
<i>Sobulo, R. A.</i>	Evaluation of analytical methods for determining potassium status of Nigerian soils	119
<i>Ataga, D. O.</i>	Release and fixation of potassium in some soils supporting the oil palm (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) in Nigeria	131
<i>Laudelout, H.</i>	Rapport du coordonnateur de la 1 ^{re} Séance de travail	143
2 ^e Séance de travail 2nd Working session	Physiologie et nutrition potassique des plantes tropicales Physiology and potassium nutrition of tropical crops	
<i>Tanaka, A.</i>	Influence of special ecological conditions on growth, metabolism, and potassium nutrition of tropical crops (as exemplified by the case of rice)	147
<i>Tinker, P. B.</i>	Potassium uptake rates in tropical crops	169

<i>Lacœuilhe, J. J.</i>	Rythme d'absorption du potassium en relation avec la croissance; cas de l'ananas et du bananier	177
<i>du Plessix, C. J., Eschbach, J. M. et Cornier, A.</i>	Effets de la fumure potassique sur des hévéas francs de pied cultivés sur sables tertiaires en savane de basse Côte d'Ivoire	185
<i>Bouychou, J. G.</i>	Evolution de la nutrition minérale de l'hévéa en Côte d'Ivoire en fonction du cycle végétatif d'après le diagnostic foliaire	209
<i>Ollagnier, M. et Ochs, R.</i>	Interaction entre l'azote et le potassium dans la nutrition des oléagineux tropicaux	215
<i>Martin-Prével, P.</i>	Influence de la nutrition potassique sur les fonctions physiologiques et la qualité de la production chez quelques plantes tropicales	233
<i>Ng Siew Kee</i>	The influence of nutrition on the chemical properties of some tropical plantation crop products	249
<i>Braud, M.</i>	Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier	265
<i>Dubernard, J.</i>	L'apparition d'une déficience potassique au cours de rotations coton/cultures vivrières sur un sol ferrallitique en République Centrafricaine	279
<i>Hainnaux, G., Talineau, J.-C., Fillonneau, C., Bonzon, B., Picard, D. et Sicot, M.</i>	Bilan et dynamique du potassium sous cultures fourragères en zone tropicale humide	291
<i>Roose, E. J. et Talineau, J.-C.</i>	Influence du niveau de fertilisation sur le bilan des éléments nutritifs majeurs de deux plantes fourragères cultivées sur un sol sableux de basse Côte d'Ivoire	305
<i>Bernhard-Reversat, France, Mme</i>	Le cycle du potassium en forêt tropicale humide	321
<i>Mengel, K.</i>	Report of the Co-ordinator of the 2nd Session	329
3 ^e Séance de travail 3rd Working session	Le potassium et la fertilisation des cultures tropicales The role of potassium in the manuring of tropical crops	
<i>Richard, L.</i>	La fertilisation potassique en relation avec les autres facteurs de production	333
<i>Walker, P.</i>	Problems of experimental design in tropical regions	359

<i>Loué, A.</i>	Analyse du sol et de la plante pour le contrôle de l'expérimentation	375
<i>Mathieu, M.</i>	La réponse à la fumure potassique dans le Programme Engrais de la FAO en Afrique (1961-1972)	399
<i>Anderson, G. D.</i>	Potassium responses of various crops in East Africa	413
<i>Obigbesan, G. O.</i>	The Influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops	439
<i>Velly, J.</i>	La réponse du riz au potassium à Madagascar	453
<i>Heathcote, R. G.</i>	The use of fertilizers in the maintenance of soil fertility under intensive cropping in Northern Nigeria	467
<i>Compagnon, P.</i>	Progression de l'usage des fertilisants et plus particulièrement de la fumure potassique en rapport avec la productivité de l'hévéa	475
<i>Déat, M.</i>	Etude du redressement de la fertilité sur des terres à coton carencées en potasse	485
<i>Uriyo, A. P.</i>	Response of sweet potato (<i>Ipomea Batatas</i>) to potassium fertilization on a red oxisoil in Tanzania	495
<i>Nwinyi, S. C. O.</i>	Some factors affecting effective fertiliser use in the agriculture of Nigeria	499
<i>Ahenkorah, Y.</i>	Residual effects of phosphorus and potassium fertilizers on shaded cocoa (<i>Theobroma cacao</i> L.) in Ghana	507
<i>Haque, I.</i>	Crop responses to potash in Sierra Leone (summary)	513
<i>Nwoboshi, L. Ch.</i>	The effects of potassium supply on growth and nutrient composition of teak (<i>Tectona grandis</i> L. f.) seedlings (summary)	513
<i>Arnon, I.</i>	Rapport du coordonnateur de la 3 ^e Séance de travail	515

4^e Séance de travail
4th Working session

**Recherche agronomique et vulgarisation en
Côte d'Ivoire – leur rôle dans le développement
de la consommation d'engrais**

**Research and extension in the Ivory Coast –
their role in the development of fertilizer use**

*du Plessix, C. J.,
Lohoury, G. G.,
de Dinechin, B. D. et
Lazzarino, C.
Lanfranchi, J.*

La programmation de la recherche agrono- 523
mique en Côte d'Ivoire

Les liaisons de la recherche en Côte d'Ivoire
avec l'organisation française de la recherche
agronomique dans les pays d'outre-mer 543

*Aubert, G.
Chaminade, R.*

Les recherches de base et le développement 551
Travaux récents réalisés par l'IRAT en
matière de fertilisation potassique des sols
tropicaux 557

*Ministère de l'Agriculture
de la République de
Côte d'Ivoire
Arnon, I.*

Vulgarisation et commercialisation des
engrais en Côte d'Ivoire 561

Methods for introducing fertilizer use into
farming practice 569

Steiner, R. W.

The role of fertilizers in overall economic
development and obstacles hindering the
increase of fertilizer use in tropical Africa 585

Quintanilla Rejado, P.

Rapport du coordonnateur de la 4^e Séance
de travail 595

Séance de clôture
Closing meeting

*Lorougnon Guédé, J. G.
Chaudet, P.*

Discours conclusif 597

Discours de clôture 601

**Chacun des articles en langue anglaise est suivi d'un résumé en français
Each paper in french language is followed by an extended summary in English**

Ouverture du Colloque

P. Chaudet, Ancien Président de la Confédération Helvétique; Président de l'Institut International de la Potasse, Berne/Suisse

Excellence, M. le Ministre *J. G. Lorougnon Guédé*
Messieurs les Ministres,
Monsieur le Grand Chancelier,
Messieurs les Directeurs des Stations de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire,
Messieurs les Directeurs Généraux des Sociétés de Développement de Côte d'Ivoire,
Messieurs les membres du Conseil scientifique de l'Institut International de la Potasse,
Messieurs les Présidents des séances du Colloque,
Messieurs les Conférenciers,
Mesdames et Messieurs,

En ouvrant le premier Colloque que l'Institut International de la Potasse organise en pays tropical, je salue dans cet événement l'aboutissement de nombreux travaux consacrés à la recherche scientifique et à l'agriculture en vue de promouvoir un progrès qui ne se localise pas au seul continent européen.

Nous sommes reconnaissants aux Autorités de la Côte d'Ivoire, à Son Excellence Monsieur le Président *Félix Houphouët-Boigny*, à M. le Ministre *Lorougnon Guédé* et à Messieurs les membres du Gouvernement d'avoir agréé notre proposition de siéger à Abidjan et d'associer ainsi plus directement à nos efforts les Ministères et les Centres de Recherche concernés par les activités de notre Institut.

Nous savons, et nous aurons l'occasion au cours de cette semaine de l'apprendre mieux encore, ce que le pays qui nous accueille a fait pour assurer le développement de sa vie politique, économique et sociale. En fixant le lieu de notre colloque, nous avons voulu tirer parti d'une expérience dont les effets peuvent s'étendre à d'autres régions du monde. Il s'agit donc ici d'une information réciproque dont tous les partenaires peuvent faire leur profit.

La décision d'organiser le Colloque d'Abidjan a été prise par le Conseil Scientifique de l'Institut International de la Potasse, qui est composé de 15 chercheurs de haute réputation. Cette décision a été motivée par le fait que la production agricole des pays tropicaux et subtropicaux est d'une importance sans cesse croissante pour l'alimentation mondiale. Dans le cadre du cycle de travail actuel de l'Institut, il était donc logique de placer le Colloque sous le titre général du «*potassium dans les cultures et les sols tropicaux*». Ces études font suite, sur le plan de la recherche fondamentale, aux problèmes

traités précédemment, à savoir la physiologie des plantes cultivées et la science du sol, abordés par rapport aux zones tempérées en 1971 en Suède et en 1972 en Allemagne Fédérale.

Le choix de la Côte d'Ivoire s'imposait dans l'étape d'aujourd'hui en raison du fait que le pays est doté d'un réseau de stations expérimentales et de recherche dans le domaine agronomique. L'organisation déjà réalisée est considérée comme l'une des plus efficaces dans le monde, et cela grâce au plein appui que lui assure le Gouvernement de la République. En créant voici quelques années un *Ministère de la Recherche scientifique*, ce Gouvernement a permis de rationaliser ses efforts par une programmation qui utilise les méthodes les plus avancées.

Les activités de la recherche agronomique en Côte d'Ivoire ont pour but de développer les divers domaines de la sélection des plantes, des méthodes d'exploitation, de la fertilisation, en vue d'améliorer la production agricole en quantité et en qualité. Une attention particulière est consacrée à la transmission des résultats de la recherche vers la pratique de la production agricole. C'est précisément cet aspect d'une communication rapide entre recherche agronomique et pratique agricole que je voudrais situer comme l'un des «leitmotivs» de ce Colloque.

Les projets réalisés en Côte d'Ivoire constituent une preuve de la nécessité et de l'importance du développement de l'agriculture, qui occupe une place prépondérante dans le développement d'ensemble de beaucoup de pays. Tous ceux qui sont liés à l'agriculture – et j'en parle en connaissance de cause en ce qui me concerne – se réjouissent de pouvoir constater à quel point cette agriculture est redevenue aujourd'hui l'une des préoccupations prioritaires de beaucoup de pays. Car son sort est lié à celui du développement industriel, dont elle constitue la base de départ et le pourvoyeur en de nombreux secteurs de transformation et de consommation.

Les manifestations internationales de l'Institut International de la Potasse ont toujours eu pour but principal de réunir des chercheurs venant de différents pays afin de leur permettre l'échange direct de leurs expériences et la discussion sur les résultats obtenus quant aux problèmes qui les préoccupent. Les thèmes d'études du Conseil Scientifique ont été choisis en fonction des besoins d'avenir, et cette préoccupation domine tout particulièrement le programme du Colloque d'Abidjan.

Trop longtemps peut-être, l'idée a régné que les réserves de terres quasi illimitées dont dispose le continent africain rendaient superflue toute mesure d'intensification de la production. Nous verrons au cours de nos travaux l'évolution qui s'est produite à cet égard dans les esprits. De nombreux pays africains ont choisi délibérément la voie des systèmes agricoles intensifs, plus intensifs en tout cas que le système des «*Shifting cultivations*» en s'efforçant d'augmenter les rendements. Les cultures vivrières font en particulier l'objet d'efforts bien orientés et soutenus.

On s'est rendu compte par ailleurs que l'intensification des mesures de fertilisation constitue l'un des moyens indispensables pour atteindre une production de matières alimentaires permettant d'augmenter les exportations. Du point de vue des échanges, le problème de la fertilisation est donc devenu d'une brûlante actualité. Les bases scientifiques de l'emploi des engrais, plus particulièrement les problèmes en relation avec l'élément nutritif potassium nous préoccuperont ces jours-ci, car ils vont de pair avec l'intensification de la production végétale.

Nous ouvrons le Colloque d'Abidjan en constatant avec beaucoup de satisfaction combien nombreux sont les chercheurs compétents d'Afrique, d'Asie et d'Europe qui sont venus participer à nos débats. Des contributions de haute valeur nous y sont assurées.

Il est donc permis d'espérer que la recherche agronomique des pays africains s'en trouvera enrichie. Au surplus, notre rencontre répond à un autre but, en aidant à éliminer les obstacles linguistiques qui, trop fréquemment encore, et en dépit des techniques de communication ultra-rapides, entravent les contacts entre les chercheurs des différentes régions.

En effet, si nos manifestations se doivent d'être placées sous le signe d'une haute tenue scientifique, elles concourent aussi à faire régner entre participants un climat de bonne entente et d'harmonie. A côté des moyens que représentent les compétences de chaque chercheur, la volonté et l'esprit qui animent nos rencontres contribuent à donner à l'effort du savant un rayonnement plus grand. Je souhaite que cette tradition caractérise une fois de plus le Colloque d'Abidjan. Ce sera une manière de répondre à l'accueil d'un pays qui s'efforce de mettre en pratique, des sentiments d'amitié et de fraternité dans ses relations avec les autres peuples et les autres nations. En voudrions-nous un exemple, il n'est que de constater la coopération étroite qui s'est instituée entre les Autorités ivoiriennes et les Instituts français de Recherches agronomiques outre-mer. Savoir tourner de cette manière une page de l'histoire, dans un sens aussi positif et aussi constructif, nous vaut le plus magnifique exemple de ce que peut accomplir un Gouvernement lorsqu'il s'est fixé pour but de servir un idéal élevé. Nous verrons au cours de la semaine les résultats d'une telle coopération. Nous apprendrons avec bonheur qu'elle s'inspire exactement de l'esprit dont l'Institut International de la Potasse s'est imprégné pour agir sur la voie où il peut répondre aux espoirs qui ont été placés dans ses activités.

Je ne saurais mettre un terme à ce propos d'introduction sans dire encore nos sentiments de gratitude envers Son Excellence Monsieur le Président *Félix Houphouët-Boigny*, envers les membres de son Gouvernement, singulièrement Monsieur le *Ministre de la Recherche Scientifique*, envers toutes les personnalités ivoiriennes qui ont collaboré à la préparation de notre Colloque et qui ont soutenu avec efficacité nos projets et nos démarches.

Je forme le vœu que la rencontre d'Abidjan contribue au progrès scientifique que nous recherchons et qu'il permette de resserrer des liens d'amitié et de confiance entre représentants de si nombreux pays rassemblés ici sous le signe d'une préoccupation commune obéissant en définitive à un besoin profondément humain.

Discours de Bienvenue

Son Excellence, M. J. G. Lorougnon Guédé, Ministre de la Recherche Scientifique de la République de Côte d'Ivoire

Monsieur le Président,
Messieurs les Professeurs,
Messieurs les Directeurs,
Mesdames, Messieurs,

Lorsqu'un étranger arrive dans un village ivoirien la tradition veut que, devant les notables réunis, il «donne la nouvelle», c'est-à-dire explique les raisons de sa venue. Bien que n'étant plus depuis longtemps un étranger pour notre pays, ne serait-ce qu'en raison de la vieille amitié qui le lie au Président *Félix Houphouët Boigny*, Monsieur le Président *Chaudet* a bien voulu ce matin encore respecter la tradition avec toute la clarté et la cordialité que nous lui connaissons. Mes premières paroles de bienvenue seront donc pour le remercier, d'abord d'avoir pris l'initiative de proposer au *Gouvernement ivoirien* le choix d'Abidjan pour la tenue de ce Colloque, ensuite, d'avoir su réunir autant de personnalités éminentes de la communauté scientifique internationale, et enfin d'avoir apporté tout son soutien pour que l'organisation de ce Colloque soit une réussite.

A tous les participants présents ce matin, au-delà des formules de bienvenue habituelles, je suis heureux de faire part des remarques que m'inspire ce Colloque. Elles se regroupent autour de quatre thèmes: la complémentarité des pays et des Organismes représentés, la présentation de la communauté scientifique ivoirienne qui est heureuse de participer à ce Colloque, le programme de travail prévu, et, enfin, ce que la Côte d'Ivoire me semble devoir attendre de ce Colloque.

La complémentarité des participants m'apparaît d'abord dans la diversité des pays représentés: au-delà de la rencontre heureusement fréquente entre pays développés européens et pays en voie de développement, je suis heureux de saluer ici les représentants d'autres pays africains tels que le Ghana, le Nigéria et l'Uganda avec lesquels la Côte d'Ivoire a en commun bien des préoccupations voisines dans la lutte pour le développement au service de l'homme. La présence de chercheurs venus d'Extrême-Orient (Malaisie et Japon) m'apparaît également significative à cet égard.

Quant à la complémentarité des Organismes, outre les interlocuteurs habituels de la Côte d'Ivoire que sont l'ORSTOM et les Instituts du GERDAT, il m'est agréable de souligner ici la participation d'Organismes qui pour nous être moins familiers ne nous en paraissent pas moins importants; je pense, notamment, à l'INRA, à l'Institut des

Sciences de la Terre de Louvain, à l'Université de Leeds, et aux Instituts de recherches et Universités des pays africains. Je tiens enfin à souhaiter que la présence de représentants de la FAO nous soit un encouragement au développement de la coopération régionale, thème qui nous est cher.

Le constat de cette complémentarité m'amène à souhaiter que ce Colloque vous soit l'occasion de manifester une fois de plus l'efficacité de la concertation pour le progrès de la Science. A ce propos, si le peu de temps dont nous disposons ce matin ne me permet pas de vous présenter une image fidèle de la communauté scientifique de mon pays, c'est bien de l'esprit de concertation de cette communauté qu'il m'apparaît nécessaire de vous entretenir. En effet, la diversité de la Recherche est grande en Côte d'Ivoire: elle se manifeste autant dans la nature des Organismes et des programmes, que dans la nationalité des chercheurs, et l'origine des financements. Au total plus de 300 chercheurs entraînant le travail de plus de 3500 personnes représentent cette communauté scientifique qui dispose cette année de 3 milliards CFA pour mener à bien la tâche qui lui est confiée, à savoir l'orientation et la réalisation de la Recherche au mieux des intérêts combinés de l'avancement des connaissances et du progrès de l'homme ivoirien dans tous les domaines.

Devant cette diversité mon Département Ministériel s'est efforcé depuis sa création de créer un langage commun qui permette une réelle concertation pour l'orientation et la conduite des recherches et le dégagement des moyens de financement nécessaires. A ce propos je souhaite que la communication qui vous sera présentée demain après-midi par mes collaborateurs vous révèle toute l'importance que nous avons donnée en Côte d'Ivoire à l'esprit de dialogue pour la programmation de la Recherche.

Revenant aux travaux qui vous attendent, il ne fait pas de doute que votre dialogue sera soutenu pour l'étude du rôle du potassium dans les cultures et sols tropicaux. Le nombre élevé d'intervenants faisant partie d'Organismes effectuant des recherches en Côte d'Ivoire suffirait à vous convaincre de l'intérêt de vos travaux pour mon pays. Je me permets cependant de porter à votre connaissance d'autres éléments d'appréciation de l'importance des problèmes de fertilisation pour le développement rural de la Côte d'Ivoire: 10% de notre effectif de chercheurs y consacrent leurs efforts, et nous prévoyons de donner une importance particulière à la formation d'agro-pédologues ivoiriens pour augmenter de 50% cet effectif d'ici 1980.

Les quatre thèmes de travail qui vous sont proposés sont révélateurs du bien fondé des étapes que vous vous êtes fixés. En effet à partir de l'étude des facteurs qui conditionnent la disponibilité du potassium dans les sols tropicaux et son utilisation par la plante vous vous proposez d'étudier les moyens d'accroître par la fertilisation potassique l'efficacité des mécanismes naturels ainsi mis en cause, et cela avec assez de clarté pour que des recommandations pratiques puissent être mises à la disposition de ceux qui dans les grandes opérations de développement rural ont à prendre des décisions importantes quant aux campagnes de fertilisation à entreprendre.

Il me reste maintenant à vous exprimer quelques souhaits quant aux résultats de vos travaux. En premier lieu il me paraît important que ce Colloque soit une étape de progrès sur la voie difficile de la coopération régionale; je souhaite en particulier que les contacts qui se seront noués ici entre chercheurs aux préoccupations économiques et humaines communes aient des prolongements dans des actions de coopération scientifique auxquelles mon Département sera toujours prêt à s'associer dans la limite d'une bonne concordance avec nos priorités nationales. Dans cette perspective l'étude de la fertilisation comme facteur de stabilisation des cultures me paraît un thème prioritaire

dont les incidences humaines et économiques peuvent être grandes pour l'avenir des populations rurales. A ce thème très général peut être rattaché celui, plus spécifique du rôle de la matière organique dans la capacité d'échange des sols. Une deuxième orientation souhaitable des résultats de vos travaux est sans doute l'outil spécifique que représente la fertilisation potassique pour l'intensification des cultures. Au demeurant cette orientation s'accompagnera sans doute de perspectives nouvelles pour les recherches de physiologie permettant de mieux comprendre les mécanismes de l'action du potassium dans les plantes.

Enfin il me reste à espérer que dans cette approche de l'intensification de la fertilisation potassique l'intérêt du paysan soit assez clairement défini de sorte qu'une solution réellement rentable soit trouvée pour l'intégration rationnelle de ce type de fumure dans l'ensemble des techniques qui lui sont proposées, dans le cadre des actions de développement rural.

Monsieur le Président, Messieurs les Professeurs, Messieurs les Directeurs, Mesdames et Messieurs puissent les quelques remarques que je viens de proposer à votre réflexion vous apparaître comme le gage de l'intérêt que je porte à vos travaux et pour le bon déroulement desquels je suis heureux maintenant de déclarer ouvert le 10^e Colloque de l'Institut International de la Potasse sur le thème «Le Potassium dans les cultures et les sols tropicaux».

Exposé d'introduction

G. Drouineau, Conseiller scientifique de l'Institut National de la Recherche scientifique, Paris/France;
Membre du Conseil scientifique de l'Institut International de la Potasse

*Monsieur le Président,
Messieurs les Délégués et chers Collègues,
Mesdames, Messieurs,*

C'est au nom du *Conseil Scientifique* de l'Institut International de la Potasse que je voudrais vous dire quelques mots sur les concepts qui ont déterminé l'organisation scientifique de ce colloque.

Les deux colloques qui ont précédé notre réunion en Côte d'Ivoire ont eu un caractère résolument fondamental. Le Potassium en Biochimie et Physiologie a été traité à Uppsala (Suède) en 1971, et le Potassium dans les Sols, à Landshut (République Fédérale d'Allemagne) en 1972.

Les problèmes de la fertilisation en général et de la fertilisation potassique en particulier, en zone tropicale, n'ont été que fort peu abordés par l'Institut, sauf au Congrès d'Antibes (France) en 1970. Ce dernier avait pour thème le rôle de la fertilisation dans l'intensification de la production agricole, et dépassait le cadre des zones tempérées. Depuis une vingtaine d'années, les recherches sur la fertilisation ont fait de grands progrès dans les régions tropicales, ainsi que les techniques de développement de l'utilisation des engrais. Des réunions récentes en témoignent. Citons en particulier le Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux à Tananarive (1967) et le Séminaire régional de Nairobi (1972) concernant surtout les pays anglophones d'Afrique et les aspects «développement».

Il était donc souhaitable qu'un colloque de l'Institut International de la Potasse soit consacré au milieu et aux productions tropicales, en mettant l'accent sur les caractères spécifiques des régions tropicales humides.

Il était utile qu'un dialogue puisse s'établir entre les spécialistes appartenant aux deux grands groupes linguistiques de ces régions, sur le continent africain.

Enfin, vous percevrez aisément une des raisons du choix d'Abidjan, tant sur le plan développement de l'utilisation, que sur le plan expérimentation et application sur le terrain au cours des excursions prévues au voisinage immédiat de la capitale de la Côte d'Ivoire. Il est seulement regrettable que nous disposions d'un temps beaucoup trop limité.

En dehors de ces visites sur le terrain et dans les stations expérimentales, notre activité va être répartie en quatre séances de travail suivies d'une séance de conclusions.

Elles progresseront à partir des données fondamentales existantes, dont nous pourrions apprécier les lacunes, jusqu'aux applications aux productions végétales, pour lesquelles nous disposons d'informations suffisantes.

La première séance est en effet consacrée au *potassium dans les sols tropicaux* et les relations entre la pédogénèse et la dynamique de cet élément. Nous pourrions discuter de l'intérêt des cartes de sols et des méthodes d'évaluation de l'aptitude des sols à la fourniture de potassium.

Dans la deuxième séance, c'est la *physiologie des plantes tropicales* qui retiendra notre attention. Quels sont les facteurs écologiques qui influent sur l'absorption et l'utilisation du potassium dans ces espèces cultivées? Quel est l'intérêt des rythmes d'absorption? Comment doit-on concevoir les interactions entre le potassium, l'azote et d'autres éléments nutritifs?

A la fin de cette séance de physiologie de la nutrition, les problèmes de qualité des produits récoltés seront abordés.

La *fertilisation* sera traitée dans la troisième séance. A la suite de discussions sur les méthodes d'expérimentation au champ et les techniques de contrôle de l'alimentation, des exemples de réponses aux engrais de différentes cultures seront présentés.

La quatrième séance nous permettra de faire connaissance avec les *Structures de la Recherche Agronomique en Côte d'Ivoire*, ainsi qu'avec ses liaisons avec la vulgarisation et les organisations de développement. L'introduction de la fertilisation dans la pratique agricole, l'étude des obstacles à l'intensification de l'emploi des engrais sont d'une importance primordiale pour la croissance économique générale. Il est certain que nous trouverons, dans le pays qui nous accueille, des exemples à méditer.

Ce programme peut paraître très ambitieux et nous n'aurons pas une minute à perdre; j'espère cependant qu'il permettra de fructueux échanges de vue, qu'il nous apprendra beaucoup et que le *Colloque d'Abidjan*, en marquant une étape, sera bénéfique pour le progrès agricole dans les pays tropicaux.

Opening Address

G. Drouineau, Scientific Consultant of the National Institute of Agronomic Research, Paris/France;
Member of the Scientific Board of the International Potash Institute

*Mr. President,
Honoured Delegates and dear Colleagues,
Ladies and Gentlemen*

It is on behalf of the Scientific Board of the International Potash Institute that I should like to say a few words on the concepts which have determined the scientific organization of this colloquium.

The two colloquia which took place before our meeting in Ivory Coast had a definitely fundamental character. *Potassium in Biochemistry and Physiology* was treated at Uppsala (Sweden) in 1971 and *Potassium in Soils at Landshut* (Fed. Rep. of Germany) in 1972.

Manuring problems in general and potassic fertilization in particular in tropical zone have been but very little approached by the Institute except at the congress of Antibes (France) in 1970. This latter had for topic the role of fertilization in the intensification of agricultural production and overstepped the frame of the temperate zones.

Since about twenty years research work on fertilization has made great strides in the tropical regions together with developing techniques of fertilizers usage. Recent meetings are bearing witness to this. Let us mention in particular the colloquium on tropical soils fertility at Tananarive (1967) and the regional meeting of Nairobi (1972) concerning mostly African English speaking countries and the 'developing' aspects. It was therefore desirable that a colloquium of the International Potash Institute be devoted to the tropical productions and environment by laying stress on the specific characters of wet tropical regions.

It was useful that a dialogue could be established between specialists belonging to two great linguistic groups of those regions on the African continent.

Finally you will easily see one of the reasons of the choice of Abidjan as well on the level of usage development as on the level of field experiment and application during the excursions foreseen in the immediate vicinity of the capital of Ivory Coast. It is only to regret that we have too short a time at our disposal.

Beside those visits on the field and in the experiment stations, our activity has been distributed in four working sessions followed by a conclusions session. They will advance from the existing fundamental data of which we shall be able to investigate

the gaps up to the applications to crop production for which we have enough data at our disposal.

The 1st session is in fact devoted to *potassium in tropical soils* and the relations between the pedogenesis and the dynamics of this nutrient. We shall discuss the interest of soil maps and assessment methods of soil capacity to provide potassium. In the 2nd session, *tropical plant physiology* will retain our attention. What are the ecological factors which influence the uptake and utilization of potassium in the grown varieties? What is the interest of absorption rhythms? How can one conceive the interactions between potassium, nitrogen and other nutrients?

At the end of this session of nutrition physiology, problems of quality of harvested crops will be taken up.

Fertilization will be studied in the 3rd session. After discussion on field experiment methods and nutrition control techniques, some examples of fertilizer responses of various crops will be shown.

The 4th session will enable us to make acquaintance with the *Structures of the Agricultural Research in Ivory Coast* together with its connections with extension work and development organizations. The introduction of fertilization in the agricultural praxis, the study of hindrances to the intensification of fertilizer usage are of prime importance for the general economical growth. It is certain that we shall find in the host country examples to ponder over.

This programme may seem very ambitious and we shall not have a minute to lose. I do hope however that it will enable profitable exchanges of views, that it will teach us much and that the Abidjan colloquium marking another milestone will be beneficial to the agricultural progress in the tropical countries.

1^{re} Séance de travail
1st Working session

Le potassium dans les sols tropicaux

Potassium in tropical soils

Président de la séance
Chairman of the session

Prof. G. Aubert
Chef du Service des Sols, ORSTOM,
Paris/France

Coordonnateur
Co-ordinator

Prof. H. Laudelout
Institut des Sciences de la Terre, Laboratoire de
Physico-Chimie Biologique, Louvain/Belgique;
Membre du Conseil Scientifique de l'Institut
International de la Potasse

La pédogénèse sous les tropiques humides et la dynamique du potassium

G. Pedro, INRA, Département d'Agronomie, Laboratoire des Sols, CNRA, Versailles/France

Résumé

A partir du moment où l'on admet que le potassium doit être considéré, au même titre que les autres comme un élément de la biosphère, il est clair que l'ensemble de son comportement au cours de la pédogenèse peut s'expliquer en termes de géochimie et de cristalochimie et qu'il dépend de ce fait de la nature géochimique des processus pédologiques mis en jeu. C'est la raison pour laquelle il a paru nécessaire de définir, dans une première partie, le cadre général de l'évolution des constituants minéraux à la surface du globe et de préciser les caractéristiques géochimiques des processus résultant de l'altération hydrolytique, avant de situer les différents sols des régions tropicales en fonction du degré d'évolution de leur fraction minérale.

Un certain nombre de conséquences relatives aux problèmes de fertilité naturelle et plus spécialement liés à la dynamique du potassium dans les tropiques humides sont ensuite envisagées au cours d'une seconde partie.

Il est classique depuis longtemps d'envisager l'existence d'une relation directe entre la nature des roches mères et la fertilité naturelle des sols qui en dérivent. En revanche, les rapports entre les phénomènes de pédogenèse et les problèmes de fertilité n'ont jamais été aussi étroits qu'ils auraient dû l'être normalement; ceci tient au fait, d'une part que les études agronomiques concernant la fertilité naturelle sont restées plutôt statiques et de type substantialiste, et d'autre part que les travaux pédologiques consacrés essentiellement à l'observation et à la description morphologique n'étaient qu'implicitement géochimiques. Or, à partir du moment où l'on considère que *le potassium est un élément comme les autres de la pédogéochimie*, il devient évident que l'ensemble de son comportement dans le milieu superficiel pourra s'expliquer en termes de géochimie, cristalochimie et minéralogie et qu'il découlera ainsi parfaitement de la connaissance des processus pédogénétiques habituels (G. Pedro et A. B. Delmas [19]). C'est la raison pour laquelle nous allons aborder la question en caractérisant dans une première partie les processus géochimiques de la pédogenèse et en particulier de la pédogenèse tropicale, avant de présenter un certain nombre de conséquences relatives aux problèmes de fertilité naturelle et plus spécialement à la dynamique du potassium dans les sols de la zone tropicale humide.

1. Géochimie des phénomènes pédogénétiques

Dans les régions intertropicales de la surface du globe, caractérisées par un climat à la fois chaud * et humide **, existe généralement toute une série de sols profonds et bien typés, très différents des sols présents dans les autres zones climatiques.

Le problème de leur genèse, qui se pose depuis longtemps, peut être résumé en évoquant les 2 points suivants :

- La pédogenèse mise en jeu dans les sols des régions tropicales est-elle spécifique et liée à l'action de facteurs externes correspondant aux données climatiques actuelles de la zone tropicale humide ?
- Ou bien l'individualisation des sols des régions tropicales résulte-t-elle d'une très longue histoire, qui leur a nécessairement imprimé un degré d'altération et une profondeur inaccoutumée en d'autres lieux ?

Actuellement la réponse, qui sans aucun doute fait intervenir les deux aspects, ne peut être donnée à partir de la *seule* étude des sols en place. C'est la raison pour laquelle il s'avère nécessaire d'envisager la question :

- a) en étudiant tout d'abord les fondements géochimiques de la pédogenèse aussi bien du point de vue théorique qu'expérimental ;
- b) en replaçant ensuite l'évolution typiquement tropicale au sein d'un cadre général englobant l'ensemble des processus géochimiques représentés à la surface du globe.

1.1. Cadre général de l'évolution géochimique à la surface du globe

1.1.1. Définition du système d'évolution superficielle

Les roches qui affleurent à la surface du globe ne sont pas la plupart du temps *en équilibre* avec les conditions qui règnent dans le milieu superficiel (en particulier, elles ne sont pas dans les conditions qui ont présidé à leur genèse). Elles évoluent donc obligatoirement en donnant naissance à un sol, ce qui implique non seulement une perte de massivité du matériau de départ, mais encore un changement plus ou moins important dans sa composition chimique et sa constitution minéralogique. Naturellement, l'intensité de l'altération et la profondeur de la zone décomposée d'une part, la nature chimique et minéralogique des sols engendrés d'autre part, sont essentiellement variables suivant les conditions du milieu superficiel qui président à cette évolution de la fraction minérale. A ce propos, l'équation la plus générale permettant de caractériser le système d'évolution à la surface du globe peut s'écrire de la façon indiquée dans la figure 1.

L'évolution obtenue dépend donc de 3 sortes d'éléments :

- 1° la nature du minéral de départ (conditions *lithologiques*)
- 2° la nature des réactifs d'attaque : composition, état de dissociation ionique, pH, concentration... (conditions *physicochimiques*)
- 3° la valeur des paramètres réglant l'équilibre thermodynamique : température, pression, vitesse de circulation des solutions liée au débit (pluviosité) et à la perméabilité... (conditions *thermohydriques*).

* Température moyenne supérieure à 20 °C, ce qui correspond à l'ancienne zone thermique tropicale de *Köppen*.

** Pluviosité abondante, de l'ordre annuel de 1200 mm, tombant pendant une période de 6 mois au moins.

Les éléments lithologiques constituent des facteurs passifs (la roche primaire subit l'évolution), alors que les éléments physicochimiques et thermohydriques sont responsables à proprement parler de l'altération et représentent les facteurs *actifs* du système; ce sont eux qui nous intéressent au plus haut chef.

Nous allons donc envisager leur rôle successivement après avoir indiqué que, du point de vue lithologique, nous nous intéressons ici aux seuls *aluminosilicates*. A ce sujet, rappelons simplement la composition minéralogique des principales roches cristallines de la lithosphère (tableau 1) et présentons succinctement les caractéristiques structurales et chimiques des constituants minéraux essentiels (tableau 2).

Tableau 1. Constitution minéralogique des principales roches cristallines

Présence ou absence des trois principaux constituants	Roches avec feldspaths potassiques		Roches sans feldspaths K et quartz
	Avec quartz Roches acides	Sans quartz Roches neutres et alcalines	Roches basiques
Sans plagioclases (< 10%)	Granites alcalins Rhyolites Obsidienne	—	—
Avec plagioclases (> 10%)	Granites calco-alcalins Granodiorites Diorites quartzifères	Syenites Trachytes Trachyandesites	Diorites Andésites Gabbros Basaltes

1.1.2. Rôle des conditions physicochimiques: Mise en évidence des principaux mécanismes de l'évolution à la surface du globe

Les conditions physicochimiques du milieu d'altération dépendent avant tout des réactifs présents dans les eaux pluviales qui arrivent au contact des roches. Ils peuvent être ainsi, soit d'origine *atmosphérique* (O₂, CO₂...), soit d'origine *lithosphérique* résultant de la dissolution de constituants solubles (NaCl, Ca CO₃...) ou des réactions d'altération (SiO₂, cations basiques...), soit enfin d'origine *biosphérique*. Dans ce dernier cas, les réactifs engendrés résultent d'une synthèse consécutive à la dégradation physicochimique et microbiologique des litières végétales et des excréments animaux; leur nature dépend alors de la composition des produits bruts de départ (composés carbonés, azotés, soufrés) et des conditions générales de l'évolution: aérobie – anaérobie, attaque fongique ou bactérienne, humidité... Signalons ainsi qu'à la surface du globe, il peut se former par synthèse de nombreux produits organiques plus ou moins polymérisés. Mais si l'on s'en tient aux corps *solubles*, qui seuls nous intéressent ici en tant que facteurs de pédogenèse *, il n'existe grosso modo en milieu aérobie que deux grandes possibilités lors de la décomposition des résidus carbonés, à savoir:

– la production de gaz carbonique (et éventuellement NH₃) dans les conditions les plus générales de la surface du globe,

* Les autres composés synthétisés, qui sont polymérisés et non hydrosolubles, sont naturellement très importants. Mais ils le sont alors surtout en tant que *constituant organique du sol* et non comme facteur de pédogenèse.

– la production en quantité très appréciable d'acides organiques hydrosolubles, volatils ou non, et toujours plus ou moins complexants, dès que le climat devient froid et humide (par exemple, dès que le nombre de mois ayant une température moyenne supérieure à 10°C devient inférieure à 4).

Tableau 2. Caractéristiques cristallographiques des principaux minéraux

Présence ou absence de cations compensateurs		Tectosilicates		Phyllosilicates cristallins
		Réseau mal organisé	Réseau ordonné	
Alumino-silicates à cations compensateurs	K	Verres	Feldspaths potassiques (Orthose, Microcline, Sanidine) Feldspathoïdes (Leucite)	Micas (Muscovite, Biotite)
	Na-Ca		Feldspaths calcosodiques (Albite, Plagioclases) Feldspathoïdes (Nepheline)	–
Silice (sans cations compensateurs)			Quartz*	

* Seuls les aluminosilicates sont susceptibles d'engendrer des minéraux argileux; les autres, dont le quartz, subissent néanmoins un phénomène de dissolution.

La nature des réactifs de différentes origines étant ainsi succinctement inventoriée, les principaux types de milieux physicochimiques caractéristiques d'un mécanisme évolutif spécifique peuvent être définis en considérant les 2 critères physicochimiques classiques: la concentration en protons H^+ (pH) et la concentration des eaux en corps salins solubles (degré de minéralisation).

Les limites retenues concernant le pH sont précises et fonction des éléments constituant les aluminosilicates, c'est-à-dire aluminium ($pK_{Al} = 5,0$) et silice ($pK_1 \text{ ac. silicique} = 9,6$). Quant à la charge saline, la limite retenue est voisine de N/1000 d'après les travaux expérimentaux de M. Robert [22]; en dessous de N/1000, on peut considérer en effet que les solutions sont diluées du point de vue thermodynamique, puisque la théorie de Debye-Hückel relative aux électrolytes s'applique jusqu'à des concentrations de N/100.

En combinant les limites de pH et de concentrations, on arrive ainsi à définir 4 grands mécanismes physicochimiques d'évolution (tableau 3).

Tableau 3. Principaux mécanismes d'évolution des aluminosilicates en fonction des caractéristiques physicochimiques des solutions d'altération

Concentration en éléments salins	pH < 5	5 < pH < 9.6	pH ≥ 9.6	Regroupement pédogénétique
Solutions diluées (environ < N/1000)	Acidolyse Acidocomplexolyse Chelolyse	Hydrolyse	–	Automorphie
Solutions salines plus concentrées	–	Salinolyse	Alcalinolyse	Halomorphie

La nature des réactifs physicochimiques mis en jeu et la répartition des milieux d'altération à la surface du globe sont présentés succinctement dans le tableau 4.

Tableau 4. Répartition géographique et caractéristiques chimiques des réactifs provoquant la mise en œuvre des quatre mécanismes fondamentaux.

Mécanisme physicochimique		Caractéristiques générales des eaux d'attaque	Milieu géographique correspondant
Automorphie	Acidolyse	Acides organiques hydrosolubles ($pK < pK_{Al}$)	Zone boréale froide et humide (Taïga)
	Hydrolyse	Eaux pures et eaux chargées en CO_2 ou en réactifs dont le $pK > pK_{Al}$	Zones tempérée et intertropicale
Halomorphie	Salinolyse	Eaux chargées en sels d'acides forts (chlorures-sulfates)	Zones désertiques des ceintures tropicales
	Alcalinolyse	Eaux chargées en sels d'acides faibles (carbonates)	

Il résulte de ces données préliminaires que le seul mécanisme entrant réellement en ligne de compte dans l'évolution des régions drainées de la zone intertropicale est l'hydrolyse, c'est-à-dire la décomposition chimique des minéraux mise en œuvre sous l'influence des ions H^+ et OH^- provenant de la dissociation de l'eau pure et éventuellement de réactifs dissous, dont la constante d'acidité est comprise entre 5 et 9,6. Nous allons donc l'étudier plus en détail.

1.2. Etude théorique et expérimentale des phénomènes d'hydrolyse - conséquences pédogéochimiques

1.2.1. Rôle des conditions thermohydriques dans les phénomènes d'hydrolyse

En système ouvert, c'est-à-dire lorsque le drainage est librement assuré, et pour des conditions physicochimiques données (correspondant ici à l'hydrolyse), les paramètres fondamentaux sous la dépendance desquels se trouve le second membre de la réaction d'évolution (fig. 1) sont :

- la température de la réaction,
- le temps de contact entre le minéral et la solution externe; or celui-ci, qui résulte de la vitesse de circulation des fluides, dépend du débit pluvial d'une part et de la surface du matériau (granulométrie) d'autre part.

Les données résultant de travaux expérimentaux sont rares sur un tel sujet. Sans entrer dans le détail, citons en dehors des études globales réalisées antérieurement par G. Pedro [14], les recherches de A. B. Delmas effectuées dans notre laboratoire. Il s'agit d'une étude exhaustive portant sur l'hydrolyse de l'olivine SiO_4Mg_2 réalisée en présence de drainages variés et de températures allant depuis 5 °C jusqu'à 95 °C (G. Pedro et A. B. Delmas, [20] - A. B. Delmas, [5]). A titre de données de référence, rapportons ici simplement pour les températures de 5 à 60 °C, la variation de la concentration en SiO_2 exprimée en mg/l dans les eaux de lessivage en fonction de la vitesse de circulation du fluide (fig. 2) et la variation de la quantité totale de silice exportée, en 24 h par exemple, en fonction de la quantité d'eau ayant percolée (fig. 3).

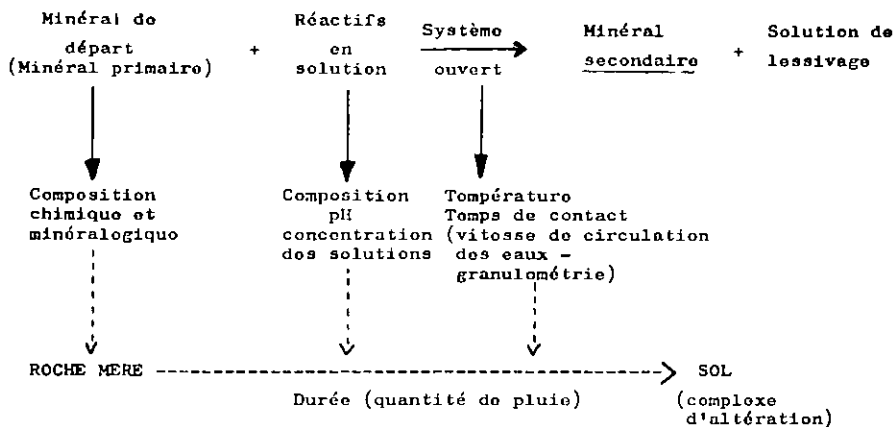


Fig. 1. Equation générale représentant le «système d'évolution» de la fraction minérale à la surface du globe.

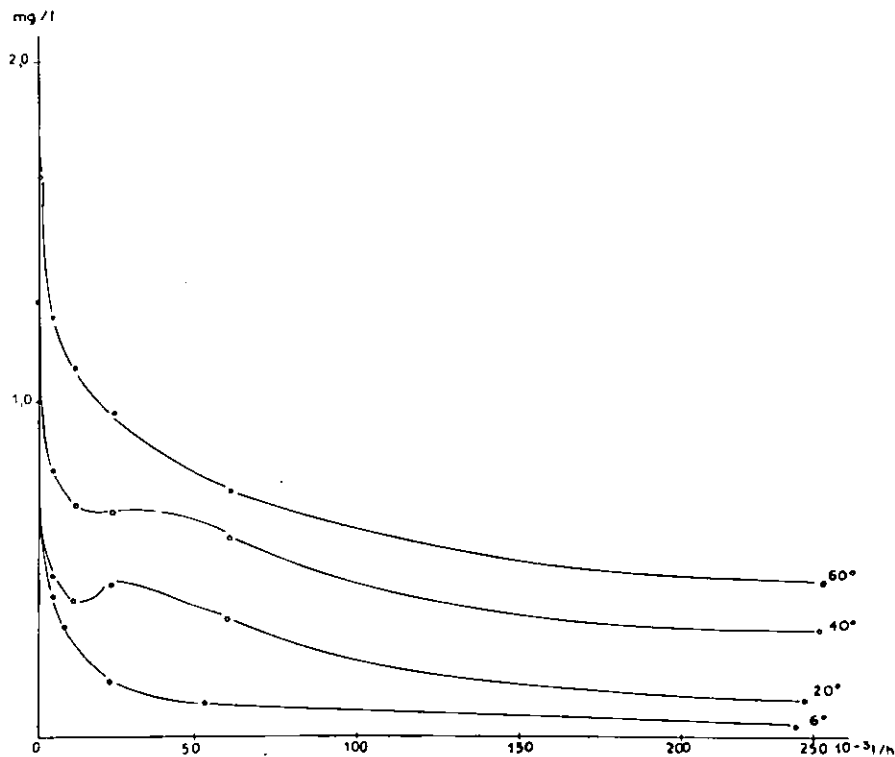


Fig. 2. Variation de la concentration en SiO₂ des eaux de drainage en fonction de la température et de la vitesse de circulation de l'eau de lessivage (Altération expérimentale de l'olivine - A. B. Delmas).

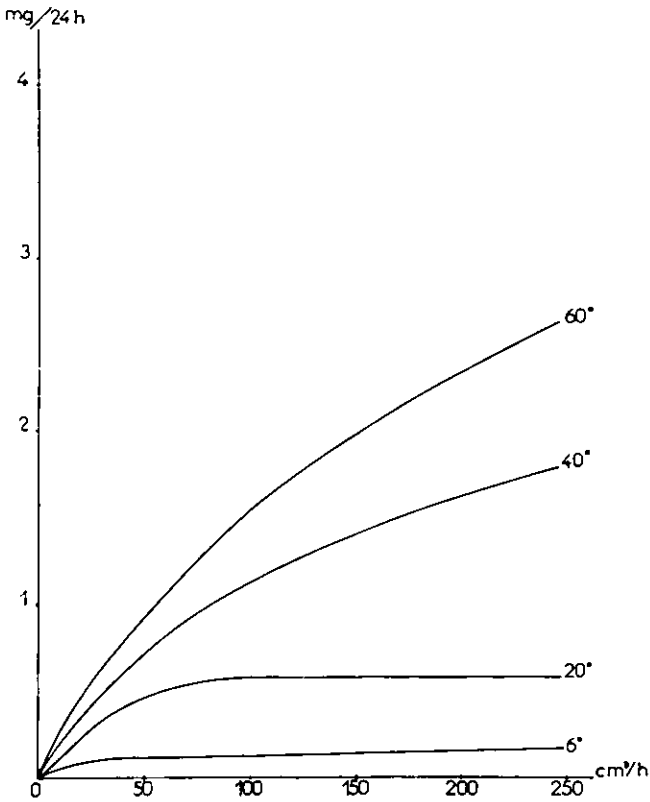


Fig. 3. Variation de la quantité de SiO_2 exportée en 24 heures en fonction de la température et du volume de drainage (Altération expérimentale de l'olivine - A. B. Delmas).

L'examen de ces 2 figures permet de faire ressortir quelques points essentiels :

- Sur le plan du degré d'hydrolyse tout d'abord, celui-ci mesuré par la quantité de SiO_2 éliminée quotidiennement, est incontestablement d'autant plus important que la température et le drainage sont plus élevés (fig. 3). De ce fait, seuls les climats chauds et humides permettent effectivement de très puissantes altérations.

- Sur le plan de la nature de l'hydrolyse, on peut noter ensuite que :

a) Les concentrations des solutions d'altérations sont d'autant plus faibles, donc les milieux sont d'autant plus dilués, que l'eau circule rapidement au contact des minéraux (fig. 2).

b) Lorsque la vitesse de percolation est faible, l'influence de la température devient négligeable: les concentrations, qui sont relativement élevées, sont grosso modo les mêmes quelle que soit la température. En revanche, avec une circulation rapide, l'importance de la température devient primordiale (fig. 2).

Ainsi, c'est donc bien dans les régions chaudes et abondamment drainées du globe qu'on peut s'attendre aux hydrolyses les plus complètes, tandis que dans les régions moins bien arrosées, les hydrolyses resteront généralement limitées.

Au demeurant il paraît nécessaire, à ce stade de l'analyse, d'envisager les conséquences minéralogiques d'un tel état de chose en considérant l'altération d'un aluminosilicate de composition et de stabilité bien déterminées.

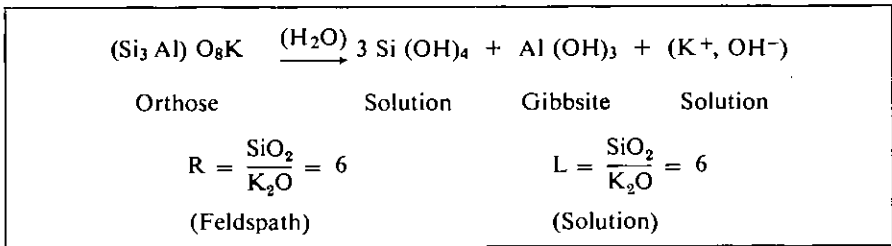
1.2.2. Caractérisation géochimique et cristallochimique des processus de l'altération hydrolytique

Du fait qu'il existe 2 grands groupes structuraux d'aluminosilicates pouvant subir les phénomènes d'hydrolyse (tableau 2), nous envisagerons successivement le cas des tectosilicates (feldspaths), puis des phyllosilicates (micas).

a) Hydrolyse des tectosilicates

L'hydrolyse provoquée peut être plus ou moins complète suivant les conditions du milieu et engendrer ainsi des minéraux secondaires de nature et de composition différente. A la suite d'études expérimentales (*G. Pedro [14, 15, 16, 17]*), le problème géochimique se présente aujourd'hui de la façon suivante :

- Lorsque l'hydrolyse est *totale*, les 3 éléments constituant le feldspath : Si, Al et K sont complètement libérés. Ils apparaissent alors dans le milieu d'altération sous forme d'hydroxydes dissociés ou non, solubles, peu solubles ou insolubles.



La silice et les cations basiques restent en solution et sont donc exportés en système ouvert. En outre, comme $L = R$, cela signifie :

- que toute la silice du minéral de départ est éliminée (désilicification totale),
- que la vitesse d'évacuation de SiO_2 est au moins égale à celle des cations basiques.

Le résultat de l'altération consiste en une individualisation in situ d'hydroxydes d'aluminium phylliteux de type gibbsite, qui sont les seuls produits de la réaction à être réellement insolubles. Le processus mis en jeu correspond donc à l'*allitisation* d'Harrassowitz [7].

- En revanche, l'hydrolyse est partielle lorsque une partie de la silice extraite réagit avec l'aluminium libéré pour former des sels basiques insolubles, qui sont représentés ici par des hydroxysilicates alumineux (argiles). C'est la *siallisation*.

Par exemple, la kaolinisation d'un feldspath résulte de la réaction :

les micas noirs (*M. Robert*). La seule évolution affecte les espaces interfoliaires et se traduit par l'évacuation du K et son remplacement par d'autres cations plus hydratés: Ca, Na... C'est une simple *transformation* (par opposition à la néoformation). Elle aboutit à l'apparition de vermiculites (*bisiallittisation apparente*).

Si en revanche, les conditions de l'altération sont plus agressives, il y a véritablement hydrolyse des micas ce qui se traduit par une destruction de la carcasse phylliteuse et une désalcalinisation totale du réseau. La réorganisation conduit alors, suivant les cas, à des argiles 1/1 ou à des hydroxydes (*G. Pedro et al. [18]*).

Tableau 5. Hydrolyse et néoformation — Caractéristiques géochimiques et cristallichimiques des trois grands processus

Degré d'hydrolyse	Hydrolyse totale		Hydrolyse partielle	
Géochimie de la désilicification	Désilicification totale $L \geq R$		Désilicification partielle $L < R$	
Types de minéraux néoformés et nature des processus cristallichimiques	<i>Allitisation</i>		<i>Siallittisation</i>	
	Hydroxydes d'aluminium Gibbsite		Phyllites 1/1 Kaolinite	Phyllites 2/1 Montmorillonite
	<i>Allitisation</i>		<i>Monosiallittisation</i>	<i>Bisiallittisation</i>
Géochimie de la désalcalinisation	Désalcalinisation totale $L > R_k$		Désalcalinisation partielle $L < R_k$	

NB. 1. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{cations basiques}$ (Na_2O , K_2O , CaO ...) est désigné par R dans la roche-mère et L dans les eaux de drainage.

2. Le paramètre R_k correspond au rapport: $\frac{\text{SiO}_2 - 2 \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{cations basiques}}$ caractérisant la roche-mère.

Tableau 6. Evolution superficielle des micas

Type d'altération	Aucune hydrolyse (transformation)	Hydrolyse et néoformation	
Stabilité du feuillet 2/1	Stabilité du feuillet 2/1	Instabilité du feuillet 2/1	
Géochimie de la désalcalinisation et de la désilicification	Echange des cations basiques interfoliaires	Appauvrissement en cations basiques (désalcalinisation totale)	
		Désilicification partielle	Désilicification totale
Processus cristallichimique	<i>Bisiallittisation apparente</i> Vermiculite	<i>Monosiallittisation</i> Kaolinite	<i>Allitisation</i> Gibbsite

1.2.3. Conséquences générales

Elles sont de 3 ordres:

a) Détermination géochimique du type d'évolution d'un constituant primaire donné grâce à l'analyse des eaux de drainage

La considération des 3 réactions envisagées ci-dessus fait apparaître immédiatement la possibilité que l'on a aujourd'hui de déterminer le type d'évolution par la seule analyse des éléments *en solution*, et ce aussi bien du point de vue qualitatif que quantitatif. Nous avons indiqué dans le tableau 5 le comportement des éléments solubles en examinant le rapport $\text{SiO}_2/\text{cations basiques}$ dans les eaux résultant de l'altération et en le comparant à la valeur du même paramètre dans les minéraux de départ. *R. M. Garrels [6bis]*, après avoir considéré les réactions à l'équilibre et déterminé ainsi la valeur des constantes thermodynamiques de ces équilibres, a pu préciser les différents domaines de stabilité dans le cas du système $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-H}_2\text{O}$ (fig. 4). La détermination de la nature du processus mis en jeu revient alors, au moins théoriquement, à une simple mesure des concentrations en protons H^+ , en ions à caractères alcalins (K^+ , Na^+ ...) et en silice au sein des solutions de lessivage.

La leçon essentielle de ces quelques considérations réside en définitive dans le fait que *la composition chimique des eaux de drainage d'un sol naturel n'est pas quelconque, mais possède une signification pédochimique fondamentale.*

b) Caractérisation de la limite pédogéochimique majeure à la surface du globe

L'examen du comportement des phyllosilicates permet de montrer que la limite principale relative aux différents processus géochimiques de l'altération normale n'est pas celle correspondant à l'hydrolyse partielle ou totale, c'est-à-dire à la désilicification ménagée ou intégrale comme on l'a toujours pensé, mais plutôt celle relative à une désalcalinisation limitée ou complète.

De ce fait, on peut distinguer à la surface du globe 2 grandes voies d'altération (tableaux 5 et 6):

- La première correspond à la stabilité des feuillets 2/1, primaires ou secondaires, qui se maintiennent (transformation) ou s'édifient (néoformation). C'est la *bisiallittisation* apparente ou vraie, qui se traduit pas une désalcalinisation *limitée*.
- La seconde est celle où la désalcalinisation est *totale*: les feuillets 2/1 deviennent instables avec néoformation, soit de silicates argileux 1/1, soit d'hydroxydes d'aluminium: *monosiallittisation* et *allittisation*.

c) Nature des processus et conditions du milieu

En système ouvert, la figure 4 montre que la mise en œuvre des 3 processus de bi, monosiallittisation et allittisation va de pair avec la présence de solutions d'altération de plus en plus diluées. Ainsi, plus les régions chaudes seront abondamment drainées et plus il y aura formation de minéraux totalement désalcalinisés (1/1), puis même complètement désilicifiés (hydroxydes). Mais nous manquons encore aujourd'hui d'études précises permettant de définir avec suffisamment de rigueur les limites pédoclimatiques correspondant aux différents processus.

1.3. Développement des phénomènes d'hydrolyse dans le milieu naturel: Essai de caractérisation géochimique des sols des régions tropicales

Afin de mieux situer au sein du milieu naturel les différents processus mis en évidence dans le paragraphe précédent, il s'avère indispensable à ce stade de l'étude de considérer deux aspects complémentaires:

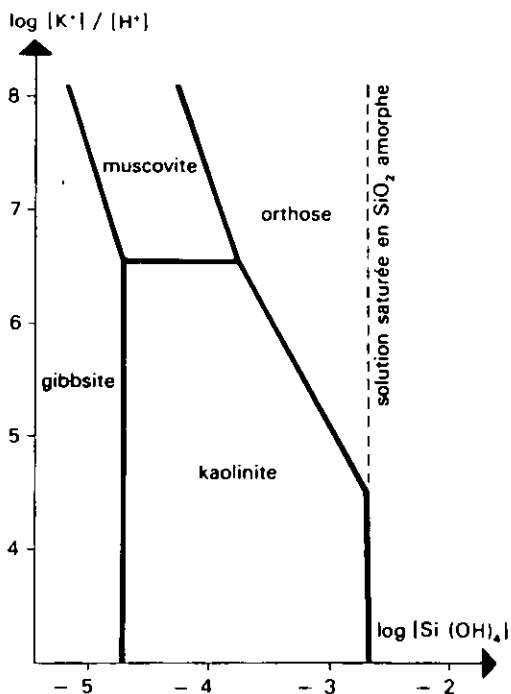


Fig. 4. Diagramme de stabilité dans le système $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-H}_2\text{O}$ à 25 °C et à la pression atmosphérique (R. M. Garrels).

- tout d'abord, celui relatif à l'évolution, non pas d'un *seul* minéral, mais d'un *mélange* de constituants de stabilité différente, c'est-à-dire d'une roche,
- ensuite de faire entrer succinctement en ligne de compte l'aspect cinétique, afin de ne plus envisager les phénomènes uniquement d'un point de vue *instantané*. *Un sol*, en effet, *ce n'est pas seulement l'existence in abstracto d'un phénomène géochimique d'altération, c'est le développement réel d'un processus bien déterminé pendant un certain temps.*

1.3.1. Rôle de la nature de la roche-mère

Toute roche est constituée par un *ensemble* de minéraux dont la stabilité est bien évidemment différente. Si l'on se réfère à la séquence de Goldich, qui a été maintes fois vérifiée, la résistance à l'hydrolyse des constituants essentiels des roches suit l'ordre ci-après :

Muscovite – Feldspath K – Biotite – Plagioclase

De ce fait, pour comprendre l'évolution d'une roche quelconque, il devient nécessaire de connaître :

1. Le comportement spécifique de ses minéraux constitutifs, pris *indépendamment* les uns des autres.

2. Le comportement des différents minéraux envisagés *simultanément* au sein d'un ensemble, de façon à examiner les choses d'un point de vue plus global comme cela se produit dans la nature. En réalité, le problème ne sera abordé que sous l'angle d'une interprétation qualitative, étant donné que nous manquons encore complètement de données expérimentales sur ce sujet.

a) Comportement spécifique des principaux minéraux aluminosilicatés

Bien que les différents silicates primaires ne soient pas stables dans toutes les conditions du milieu superficiel (cf. l'introduction à la définition du système d'évolution), on peut toutefois les considérer comme résistants (métastabilité) tant que les paramètres caractérisant les conditions externes ne dépassent pas certaines valeurs, bien déterminées pour chaque espèce, et que la vitesse d'hydrolyse reste de ce fait négligeable.

Il en résulte que le développement d'une altération relativement sensible pour un minéral donné nécessite la mise en jeu de conditions d'autant plus agressives que le constituant possède une stabilité intrinsèque plus élevée.

Si l'on se limite au comportement des 3 minéraux cardinaux : plagioclases, biotites et feldspaths potassiques, il est possible de distinguer plusieurs cas :

- I – Les plagioclases sont seuls hydrolysés ; les biotites ne sont que transformées.
- II – Les plagioclases et les biotites s'hydrolysent, tandis que les feldspaths potassiques sont très peu atteints.
- III – Les 3 minéraux sont hydrolysés.

D'après les données dont nous disposons aujourd'hui (cf. en particulier les travaux de Y. Tardy [26] et F. K. Seddoh [25]), les principaux constituants secondaires caractérisant ces 3 cas sont les suivants :

I – Plagioclases —————> Argiles 2/1 et 1/1
Biotites —————> Vermiculites (transformation)
II – Plagioclases —————> Argiles 1/1 et Gibbsite
Biotites —————> Argiles 1/1
III – Plagioclases —————> Argiles 1/1 et Gibbsite
Biotites —————> Argiles 1/1 et Gibbsite
Feldspaths K —————> Argiles 1/1

En n'envisageant alors que les 2 derniers cas, qui correspondent à la désalcalinisation totale des minéraux en voie d'altération et qui sont de ce fait particulièrement représentatifs des régions tropicales humides, la situation géochimique peut être résumée ainsi que cela est rapporté dans le tableau 7.

Tableau 7. Géochimie des altérations spécifiques dans les cas II et III

Cas	Complexe d'altération		Réserve minérale Minéraux primaires non altérés	Processus global d'altération de la roche
	Minéraux primaires altérés	Type évolutif		
II	Plagioclases Biotites	Monosiallitisaiton	Feldspaths potassiques	Kaolinisation incomplète
III	Plagioclases Biotites Feldspaths K	Monosiallitisaiton (allitisation)	–	<i>Latéritisaiton</i> (kaolinisation généralisée et alliti- sation éventuelle)

b) Comportement global des roches (mélange de minéraux dont l'altération est envisagée simultanément)

Le problème ne se présente pas tout à fait tel qu'on vient de l'indiquer du fait qu'il y a en réalité, au cours de l'évolution, interaction des différents constituants les uns avec les autres (*S. Hénin, G. Pedro et M. Robert [9]*), y compris d'ailleurs avec le quartz qui apparaît comme un fournisseur de silice. C'est pourquoi l'attaque d'un minéral donné, en étant à l'origine d'une augmentation de la concentration en SiO_2 et cations basiques du milieu, retarde l'altération et peut même faire regresser l'hydrolyse d'un autre constituant plus résistant.

Ainsi, dans le cas des roches riches en feldspaths potassiques, qui sont en général quartzieuses, la concentration en silice dans le milieu d'altération est toujours plus élevée que celle qui correspondrait à l'évolution de l'orthose seule. Or, ceci entraîne au moins 2 conséquences:

a) Elle retarde l'altération des feldspaths potassiques; ceux-ci exigent, de ce fait, des conditions externes encore plus agressives que celles nécessaires à l'évolution du feldspath isolé.

b) Elle empêche l'allitisation de se développer (*R. Fauck [6], G. Millot et R. Fauck [13]*). Comme le quartz est presque toujours représenté dans les roches de la lithosphère, il est évident qu'une telle interaction permet de comprendre l'importance de la monosiallitisaiton (kaolinisation) dans les zones tropicales et ce, au détriment de l'allitisation.

Ceci étant, les conditions de développement à la surface du globe des cas II et III définis précédemment se présentent de la façon suivante:

– Si, compte tenu de l'ambiance lithologique, les conditions externes permettent l'altération du constituant *le plus stable* (feldspath K), tous les minéraux de la roche subissent une évolution *simultanément* (cas III). En outre, comme cette altération s'effectue à des vitesses peu différentes, l'évolution se développe *brutalement et complètement* sans laisser dans le sol de minéraux altérables non hydrolysés. C'est ce qui se produit par exemple au cours du phénomène de *latéritisaiton* ou de *ferrallitisation* au sens strict. Si, en revanche, les conditions sont moins agressives et qu'elles touchent beaucoup plus aux plagioclases et biotites qu'aux feldspaths potassiques, les sols présentent dans leurs

horizons des minéraux altérables et leur composition minéralogique est alors beaucoup moins uniforme (cas II). Mais à ce moment là, le facteur temps commence à jouer un certain rôle dans le développement des profils.

1.3.2. Influence de la durée de l'évolution

Lorsque les conditions sont suffisamment agressives pour que les phénomènes d'altération atteignent simultanément, dans un espace donné, *toutes* les espèces minérales de la roche, l'action du temps se limite à provoquer un épaississement des profils (passage par exemple d'un sol peu évolué ferrallitique – ferralic cambisol – à un sol ferrallitique).

Mais, pour des conditions externes plus ménagées qui n'atteignent pas toutes les espèces minérales à la fois, la concentration des solutions de lessivage dépend alors, non seulement du type de réaction engendrée, mais aussi de la quantité de minéraux non encore altérés présents dans le volume considéré, c'est-à-dire en définitive du stade d'altération. Plus ce dernier est avancé, plus la concentration du milieu en SiO_2 et cations basiques va s'abaisser et plus l'hydrolyse tendra à se développer complètement. En d'autres termes, si le temps est suffisamment long, il est possible d'imaginer pour peu que les conditions soient suffisamment agressives, toute une série d'équilibres successifs. Ainsi peut-on concevoir par exemple la destruction des argiles 2/1 du stade initial avec formation de kaolinite ou encore, si le matériau ne contient pas de quartz, la désilicification de la kaolinite (cf. *G. Pedro et al. [18]*) que *J. B. Harrison [8]* avait dénommée «latéritisation secondaire». Il s'agit alors de phénomènes se développant d'une manière *progressive* et qui contribuent à changer la nature des minéraux caractéristiques de l'évolution géochimique.

1.3.3. Place des sols des régions tropicales en fonction du degré d'évolution de leur fraction minérale

Les sols de la zone tropicale ont été décrits, dénommés et classés depuis plusieurs décades suivant différents systèmes de classification, dont les plus connus sont ceux de *G. Aubert* et de ses collaborateurs ORSTOM [*1954–1966*], *J. V. Botelho da Costa [1960–1964]*, *C. Sys et al. [1960–1961]*, *J. D'Hoore [1964]*, de l'*USDA [1960–1967]* et de la *FAO [R. Dudal, 1968]*. En réalité, il n'est pas toujours aisé, à travers les diverses appellations de bien se rendre compte du processus évolutif caractérisant chaque type de sol considéré. C'est la raison pour laquelle nous avons essayé au terme de cette présentation, de les regrouper sur le plan de leur évolution géochimique et cristallogénétique. Nous avons réalisé ce regroupement en partant du principe que *si la pédogenèse affectant un sol est définie à partir du seul type d'évolution géochimique, un sol lui est caractérisé, du point de vue minéral, à la fois par un processus évolutif et par un certain degré d'altération du matériau initial.*

- Le *type évolutif* se traduit essentiellement par l'apparition de minéraux secondaires spécifiques au sein du complexe d'altération : minéraux argileux 2/1, 1/1 ou hydroxydes notamment, suivant que l'hydrolyse est ménagée, partielle ou totale (tableau 8).
- Quant au *degré d'altération*, il est évalué d'après la *proportion* de minéraux altérables non encore hydrolysés au sein des horizons diagnostiques du sol.

En utilisant alors les caractéristiques habituelles des différents types de sols de la zone tropicale, il devient possible de préciser leur position d'une manière synthétique, ainsi que cela a été réalisé dans la figure 5.

Tableau 8. Nature des minéraux secondaires caractéristiques des différents sols tropicaux

Nature du minéral principal	Nature du constituant complémentaire	Type de sol
Argile 1/1 (Kaolinite-Halloysite)	Allophanes	Andosols ferrallitiques
	Argiles 2/1	Sols bruns eutrophes Sols bruns tropicaux
	-	Ferrisols Sols ferrugineux tropicaux
	Gibbsite	Sols ferrallitiques Ferralsols Oxisols

2. La dynamique du potassium dans les sols des régions tropicales

La teneur d'un sol ou d'un horizon en potassium ainsi que le comportement de ce dernier dans un profil (état échangeable lié au complexe d'altération – état soluble dans les eaux de drainage) dépendent, comme pour tout autre élément de la lithosphère, de 2 sortes de facteurs :

1. Des données *péetrographiques*, qui déterminent à la fois l'abondance de cet élément dans la roche-mère et l'état sous lequel il s'y trouve.
2. Des données *pédologiques* relatives à la nature de l'évolution géochimique engendrée sous l'influence de conditions externes bien déterminées, puis à son intensité et enfin à sa durée.

Ce sont ces 2 aspects que nous allons aborder maintenant.

2.1. Le potassium dans les minéraux et les roches - Abondance et problèmes de stabilité intrinsèque

L'abondance du potassium dans les roches est essentiellement variable, ainsi qu'il résulte de l'examen du tableau 9. Ceci découle avant tout de la présence ou de l'absence, au sein des matériaux, de minéraux potassiques où K est un constituant à part entière (élément *majeur*) (tableau 10) (C. I. Rich [21]). Mais K peut aussi se trouver comme élément *mineur* dans un certain nombre de minéraux non potassiques des roches, tels plagioclases, verres basiques... Or, l'existence de ces constituants n'est pas à négliger, surtout lorsqu'on envisage le problème de la dynamique de cet élément au cours de l'altération pédogénétique.

Quant à la facilité avec laquelle le potassium est extrait lors de l'hydrolyse des minéraux, celle-ci dépend de l'énergie de liaison de cet élément au sein du réseau considéré. A ce propos, au moins pour les minéraux potassiques, nous disposons depuis quelques années d'un certain nombre de déterminations expérimentales portant sur la valeur de l'énergie d'activation exprimée en Kcal/mole. Celles-ci sont consignées dans le tableau 11.

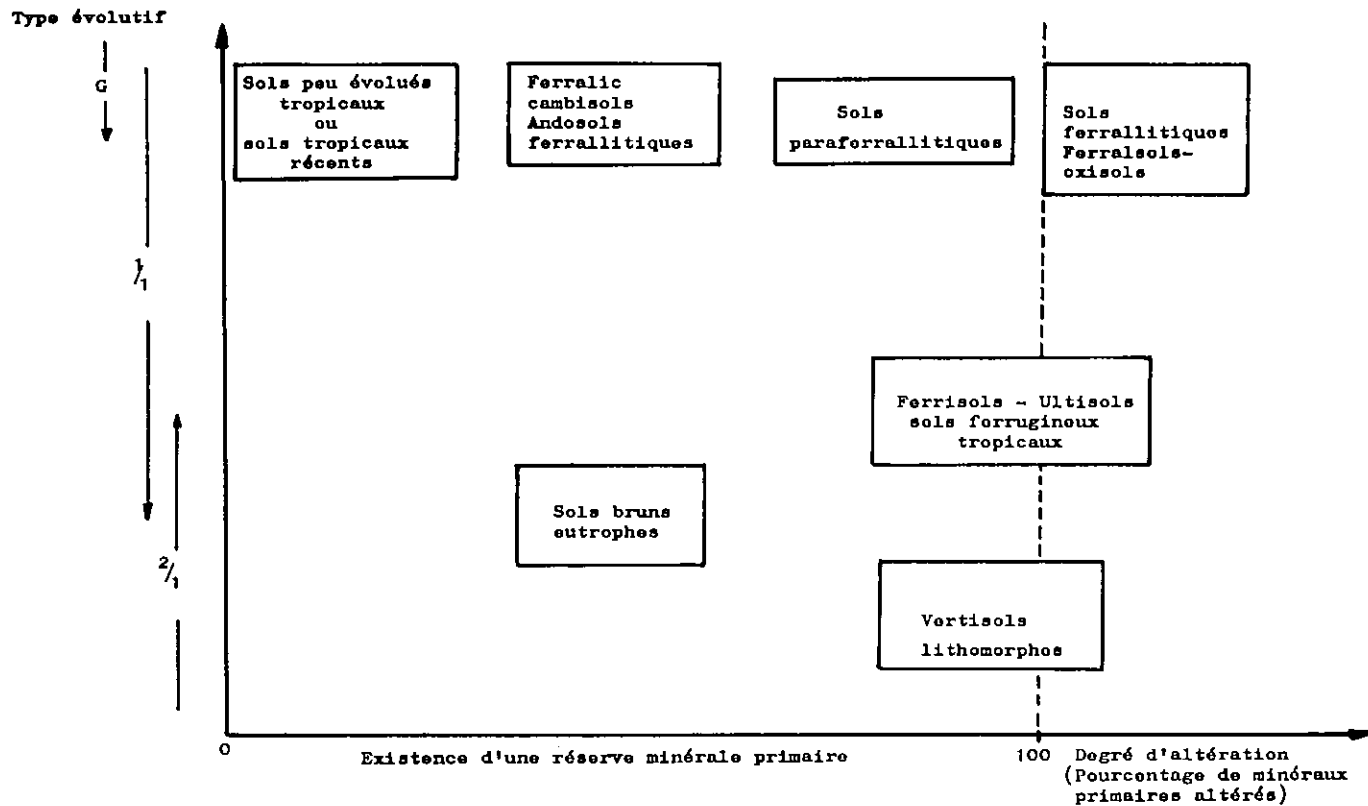


Fig. 5. Place des principaux sols tropicaux en fonction de la nature minéralogique du complexe d'altération et de la présence de minéraux primaires altérables dans le profil.

L'examen de ce tableau appelle 2 commentaires :

- Feldspaths potassiques et muscovites sont bien les minéraux potassiques les moins altérables; ceci est d'autant plus net que l'énergie d'activation du potassium correspond sensiblement à celle des éléments du réseau (*J. C. Arvieu et J. Chaussidon [1] - $Al^{3+} = 21$ Kcal/mole - $Fe^{3+} = 21$ Kcal/mole...*).
- En revanche, non seulement les biotites sont plus altérables, mais encore du fait de la grande différence entre l'énergie d'activation du potassium interfoliaire (14 Kcal/mole), K peut sortir préférentiellement sans qu'il y ait hydrolyse du feuillet 2/1; d'où, comme nous l'avons vu, la possibilité de transformation des phyllosilicates lors de l'évolution superficielle.

Cette différence de comportement au cours de l'altération entre les micas blancs et noirs apparaît nettement, si l'on examine les données obtenues expérimentalement par *A. D. Scott [24]* en utilisant comme réactif d'extraction le tétraphénylborate (fig. 6) ou par *M. Robert [22]* en provoquant un épuisement en Soxhlet sous la seule influence de l'eau (tableau 12).

Tableau 9. Teneur moyenne en K_2O des principales roches de l'écorce terrestre (%) d'après *K. H. Wedepohl [28]*

Roches endogènes	Roches acides	Roches neutres	Roches alcalines	Roches basiques	Roches ultrabasiqes
	Granites	Syenites	Syenites néphéliniques	Basaltes	Péridotites
	5,60%	6,53%	5,34%	0,82%	0,25%
Roches sédimentaires	Grès		Schistes argileux	Calcaires	
	1,30%		3,60%	0,57%	

Tableau 10. Teneur maximum en K_2O dans les constituants potassiques et teneur moyenne dans les autres édifices

Minéraux	Minéraux potassiques (K élément majeur)	Minéraux non potassiques (K élément mineur)
Feldspath potassique	16,9%	-
Plagioclases	-	0,3-0,4% *
Muscovite	11,8%	-
Biotite	10,5%	-
Leucite	21,5%	-
Verre	acide	5%
	basique	-

* A l'état de perthites.

** Dans le ciment de la mésostase vitreuse d'après *J. Trichet*.

Tableau 11. Valeurs de l'énergie d'activation du potassium pour divers minéraux

Groupes	Minéraux	Energie d'activation du potassium (K cal/mole)
Tectosilicates	Microcline	23 (P. M. Huang et al. [10])
	Leucite	13-14 (R. M. Barrer [2])
Aluminosilicates	Muscovite-Illite	20-22 (J. C. Arvieu et J. Chaussidon [1], P. M. Huang [10])
	Biotites	14 (P. M. Huang [10])

NB. Une énergie d'échange du potassium pour des minéraux, tels que montmorillonite ou zéolite, est de l'ordre de 4-5 KCal/mole.

Dans le cas où le potassium se trouve en dehors des minéraux potassiques, nous ne disposons pas de données thermodynamiques, mais les résultats expérimentaux obtenus en Soxhlet (tableau 12) montrent incontestablement que le K des constituants non potassiques, tel que celui de la mesostase vitreuse des roches volcaniques (basalte, trachyandesite...), est plus aisément extrait que celui d'un granite contenant 15% de feldspath potassique par exemple (G. Pedro [14]).

Cela ressort aussi des études statistiques effectuées par J. M. Wackermann [27] au Sénégal oriental et portant sur les relations entre la composition des eaux et celles des sols les contenant (aquifères). Dans une région à climat soudanoguinéen, où les précipi-

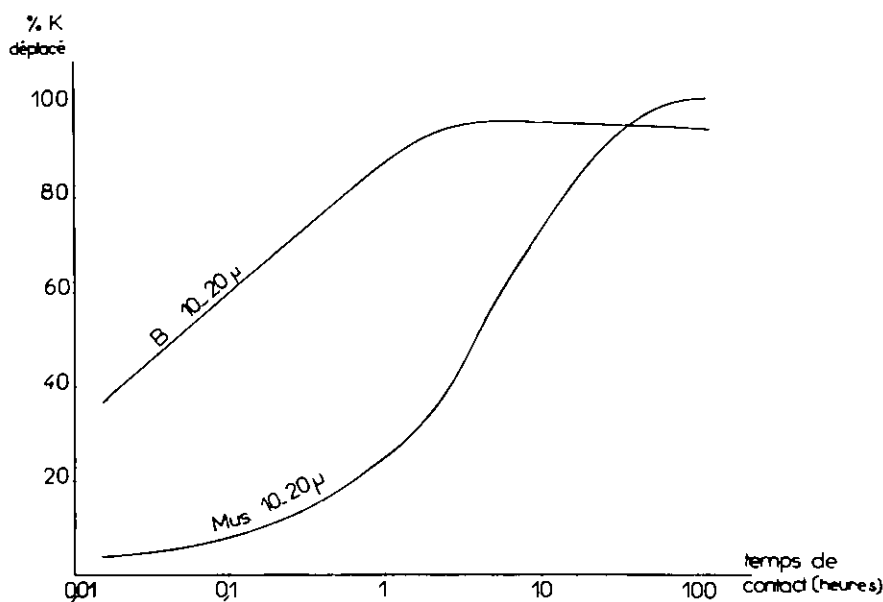


Fig. 6. Extraction du potassium des micas par le tétraphénylborate en fonction du temps de contact (A. D. Scott).

Tableau 12. Evolution en Soxhlet de divers matériaux sous l'influence d'un lessivage continu à 65 °C et à raison de 2000 mm/jour

Concentration des eaux d'altération	Basalte	Trachy-andésite	Granite	Phlogopite	Muscovite	KCl	K ₂ SO ₄
SiO ₂	1,6	2,7	0,75	0,67	0,1	-	-
K ₂ O	0,1	0,1	0,03	0,09	0,01	145	77
Matériaux	Roches (en mg/l) (G. Pedro [14])		Minéraux (en mg/l) (M. Robert [22])		Engrais (en g/l) (G. Pedro [inédit])		

pitations annuelles sont de 1000 mm et la température moyenne de 27 °C environ, l'application de la méthode des corrélations de rang fait apparaître que le potassium est le seul élément montrant une corrélation positive significative. Le graphique obtenu (fig. 7) met en outre en évidence qu'il existe 2 types de relations grossièrement linéaires :

- une pour le groupe des roches basiques sans minéraux potassiques, dans lesquelles le potassium en faible quantité est présent au sein de la mésostase vitreuse ou dans les plagioclases, c'est-à-dire dans des édifices relativement altérables.
- La seconde pour le groupe des roches acides à feldspaths potassiques et micas, qui sont beaucoup moins vulnérables.

La concentration des eaux d'altération en K₂O est donc bien fonction à la fois de la teneur de la roche-mère en potassium et de l'altérabilité des constituants où se trouve localisé le potassium.

2.2. Comportement du potassium en fonction des conditions externes et du développement du profil

2.2.1. Influence des conditions externes

Nous avons défini, au cours de la première partie, 3 grands ensembles d'altération (I, II et III) basés sur le type de minéral primaire (plagioclases, biotites et feldspaths potassiques) touchés respectivement par les phénomènes d'hydrolyse. Le problème qui reste à examiner, à ce stade de l'étude, est celui concernant les relations entre l'altération de tel ou tel constituant et l'intensité des conditions externes de l'évolution, en particulier des conditions climatiques actuelles.

Le meilleur moyen d'y arriver de manière globale serait, d'après les investigations de la première partie, d'étudier la variation de la composition des eaux de drainage en silice et en cations basiques K₂O, Na₂O et CaO des sols en voie de formation en fonction de la variation des conditions climatiques générales et pédoclimatiques. Comme il s'agit là de quelque chose qui est encore bien difficile à envisager à l'heure actuelle, il ne reste à notre disposition que les données fragmentaires portant sur un certain nombre d'eaux de drainage et de collecteurs fluviaux situées en divers régions du globe (N. Lencuf [11], Y. Tardy [26], A. Blot [3], J. M. Wackermann [27]) ou provenant de quelques essais lysimétriques.

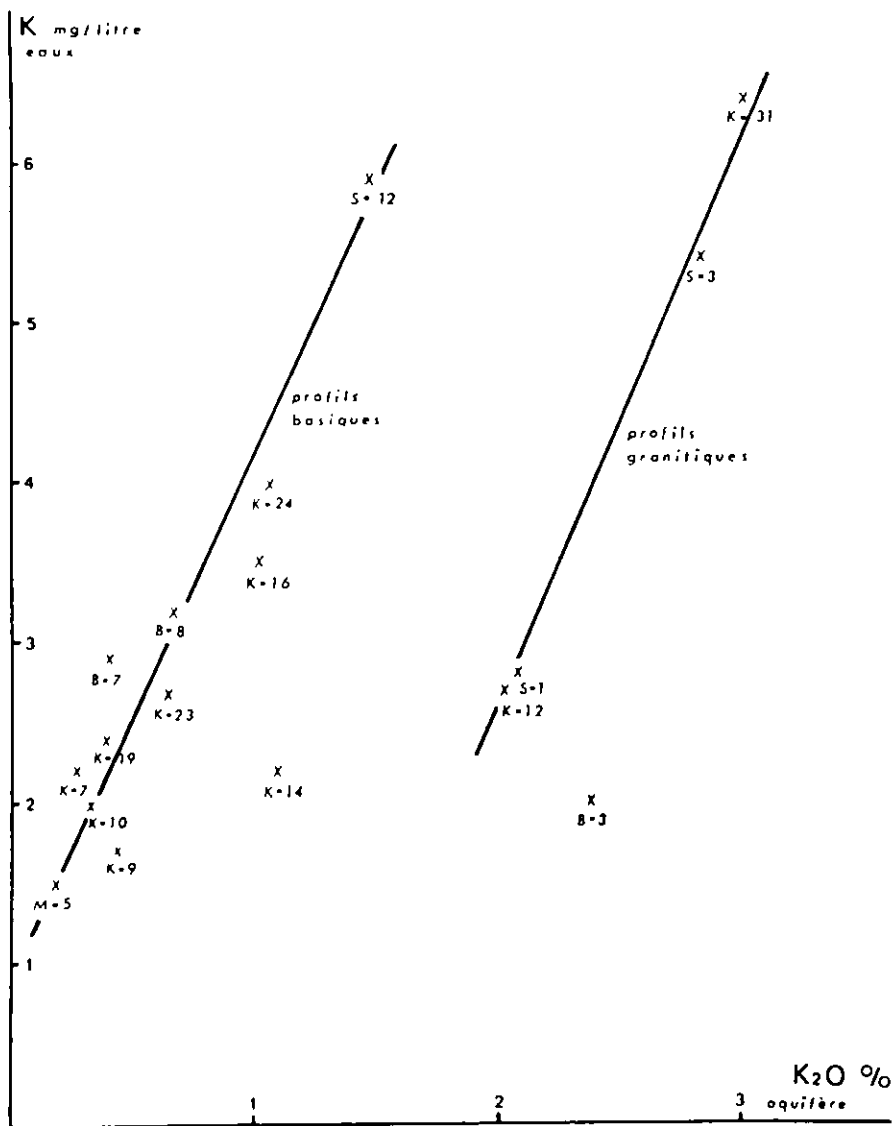


Fig. 7. Relations entre la concentration des eaux et la composition des horizons aquifères dans les sols du Sénégal oriental (J. M. Wackermann).

Les résultats de ces derniers, qui ont été rassemblés par C. Charreau [4], sont présentés dans le tableau suivant en ce qui concerne le potassium (tableau 13).

Quant aux données recueillies dans les eaux du milieu naturel, on peut en retenir quelques-unes relatives à des sols en voie de formation aux dépens de roches cristallines sous climats humides; celles-ci, qui sont reportées dans le tableau 14, paraissent très significatives.

Tableau 13. Concentration moyenne en K_2O de diverses eaux lysimétriques (d'après C. Charreau [4])

Situation	Type de sol	Pluviométrie annuelle (mm)	Drainage (mm)	Concentration en K_2O (mg/l)
Versailles	Sol brun lessivé	595	217	4
Bambey (Sénégal)	Sol ferrugineux tropical lessivé sur grès argileux	660	118	8
Anguédedou (Côte d'Ivoire)	Sol ferrallitique sur sable argileux	1569	845	11

Tableau 14. Concentration moyenne en K_2O de diverses eaux de drainage de sols en voie de formation

Situation	Concentration en K_2O (en mg/l)
Massif central, Bretagne (France)	1 (Y. Tardy [26])
Sénégal oriental	3-5 (A. Blot [3])
Côte d'Ivoire, Cameroun	7-8 (N. Leneuf [11], Y. Tardy [26])

Ainsi, cet ensemble de résultats montre que la concentration des eaux en K_2O , donc l'altération des minéraux potassiques, croît incontestablement lorsqu'on passe du climat tempéré au climat tropical sec et surtout au climat tropical humide, ce qui est parfaitement logique si l'on se rappelle les données expérimentales de A. B. Delmas [5] (cf. fig. 2 et 3).

Pour mieux faire ressortir le comportement particulier du potassium, par rapport aux autres cations compensateurs: sodium, calcium..., en fonction des conditions du milieu, Y. Tardy [26] a évalué systématiquement le rapport Na_2O/K_2O dans les diverses eaux de drainage étudiées. La figure 8 présente la variation de ce paramètre en fonction de la concentration en bicarbonate, qui se trouve être le meilleur indicateur de charge minérale des eaux de lessivage. On voit ainsi que, pour une même concentration des eaux, le rapport Na_2O/K_2O est plus élevé en Europe qu'en Afrique. Or, ceci résulte du fait que la concentration en K augmente par rapport à celle de Na, qui reste sensiblement constante au fur et à mesure que les conditions deviennent plus agressives. De ce fait, si les plagioclases sont hydrolysés en milieu humide sous toutes les latitudes, seules les conditions pluviales de la zone tropicale permettent une intense altération des feldspaths potassiques. Le paramètre Na_2O/K_2O se présente en quelque sorte comme

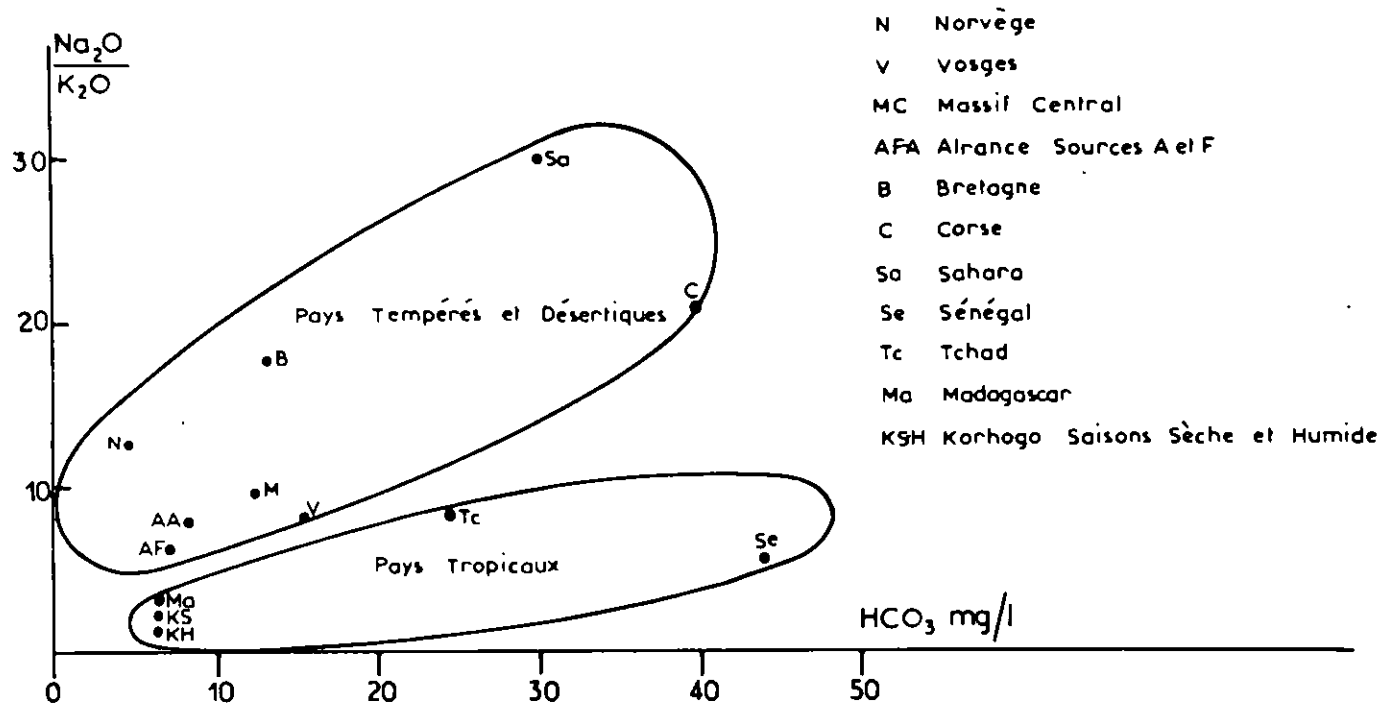


Fig. 8. Variations du rapport Na_2O/K_2O dans les eaux de sols granitiques en fonction de la concentration en bicarbonates (Y. Tardy).

un *indice* intéressant pour évaluer l'agressivité des conditions d'altération. *Y. Tardy* a établi que dans les régions tropicales les plus typiques, le rapport $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ était toujours inférieur à 4. Peut-être une valeur de 5 par exemple serait-elle indiquée pour servir de limite effective entre les types d'altération II et III définis antérieurement.

2.2.2 Rôle de l'âge du sol

Lorsque les conditions d'altération sont ménagées, c'est-à-dire lorsque les feldspaths potassiques ne sont pratiquement pas touchés, l'âge joue un rôle très faible. Le sol possède bien des réserves potassiques primaires, mais celles-ci sont à peu près *inactives*.

En revanche, en présence de conditions d'altération permettant l'hydrolyse de l'orthose, on doit distinguer 2 phases successives: tant qu'il reste des minéraux primaires dans le matériau (sols jeunes), la concentration en K_2O des eaux de drainage demeure appréciable (réserves primaires *actives*), mais dès que le stock de minéraux endogènes a disparu, la concentration des eaux en K_2O devient très faible (0,9–1 mg/l pour les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire (*Y. Tardy [26]*)). Citons aussi les valeurs de *K. C. Venema [1938–1939]* in *H. A. Middelburg [12]*) relatives à des sols développés sur roches volcaniques, de type liparite et contenant au départ 5,1% de K_2O , sous les conditions de Sumatra (tableau 15).

Tableau 15. Teneur en K_2O de sols volcaniques en fonction de l'âge. Sumatra (*H. A. Middelburg [12]*)

Age du sol	Teneur du sol en K_2O (ppm)
Sol jeune.....	260
Sol bien développé.....	26

Rapportons enfin les déterminations de *Y. Tardy [26]* concernant la teneur moyenne en K_2O des eaux de drainage de quelques sols du Cameroun:

- { Sols jeunes 7 mg/l
- { Sols vieux 0,9 mg/l

2.2.3. Conséquences pédoagronomiques

A la lumière de ces données fragmentaires sur la géochimie du potassium dans les sols en voie d'évolution, il semble intéressant de mettre l'accent plus particulièrement sur 2 points:

a) Le premier relève de l'existence dans le sol considéré de *réserves* éventuelles en *minéraux* potassiques *primaires*, ce qui découle à la fois de la nature de la roche-mère, de la nature du type évolutif mis en jeu et de l'âge du sol.

b) Le second concerne l'*activité* de ces réserves, c'est-à-dire la vitesse de leur altération, qui dépend surtout de l'aptitude hydrolysante du climat. C'est ainsi que les feldspaths potassiques, qui ne sont que des *stocks virtuels* sous climats tempérés, peuvent être considérés comme des *réserves réellement opérationnelles* dès lors que les climats deviennent chauds et humides.

3. Conclusions

L'étude de la dynamique du potassium dans les sols doit s'inscrire dorénavant dans un contexte géochimique général et être de ce fait très imbriquée avec des travaux de géochimie pédogénétique. En ce qui concerne les régions à climats chauds et humides de la zone intertropicale en particulier, le problème peut en dernière analyse se résumer de la façon suivante :

1. La pédogenèse dans les régions chaudes et abondamment drainées se traduit par une *désalcalinisation totale* des aluminosilicates en voie d'évolution et aboutit de ce fait à la formation massive de *kaolinite*, accompagnée ou non d'hydroxydes d'aluminium.

2. L'absence de minéraux argileux 2/1 à capacité d'échange interfoliaire explique l'*inexistence d'une réserve potassique secondaire* liée à des phénomènes de rétrogradation. Notons ici que le potassium échangeable correspond à une énergie d'activation de l'ordre de 5 Kcal/mole et le potassium rétrogradé à une énergie toujours supérieure à 5 et pouvant atteindre 14 Kcal/mole dans le cas d'une transformation conduisant à l'individualisation d'un mica.

3. La seule source de potassium du sol, en dehors des engrais, est donc constituée par des minéraux *primaires* potassiques : feldspaths – muscovites... dans lesquels K est caractérisé par une énergie d'activation supérieure à 15 Kcal/mole. C'est pourquoi seuls des climats fortement hydrolysants, comme les climats chauds et humides, sont alors susceptibles de libérer le potassium. *La réserve primaire potassique, tout à fait virtuelle en régions tempérées, présente donc une certaine efficacité dans la zone tropicale humide.* En contre-partie, elle n'existe que dans les sols n'ayant pas atteint leur maturité et devient pratiquement nulle au sein des vieux sols ferrallitiques.

Il est bien évident que tout ceci reste encore qualitatif et que seules des études géochimiques *systématiques* réalisées au laboratoire ou in situ (cases lysimétriques) permettront à l'avenir, non seulement d'apprécier la fertilité potassique naturelle des sols, mais aussi de la prévoir en fonction de leur type évolutif, de leur âge et de l'agressivité des conditions pédoclimatiques externes.

4. Bibliographie

1. *Arvieu J. C.* et *Chaussidon J.*: Etude de la solubilisation acide d'une illite: extraction du potassium et évolution du résidu. *Ann. Agron.* 15, 207–229 (1964).
2. *Barrer R. M.* et *Hinds L.*: *J. chem. Soc. G. B.*, p. 1879 (1953).
3. *Blot A.*: Les nappes phréatiques au Sénégal oriental; données géochimiques sur les eaux – Notice ORSTOM Dakar-Hann, 34 p., 1970.
4. *Charreau C.*: Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles. *Agron. Trop.* XXVII 9, 905–929 (1972).
5. *Delmas A. B.*: Sur les rôles respectifs de la température et du débit au cours de l'altération expérimentale de l'olivine par lessivage à l'eau. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274 D, 2413–2315 (1972).
6. *Fauck R.*: Evolution des quartz dans les sols rouges ferrallitiques développés sur les roches sableuses et gresueuses de l'Afrique occidentale. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 271 D, 2273–2276 (1970).
- 6bis. *Garrels R. M.*: Solutions, minerals and equilibria. I vol., Harper and Row, N.Y., 450 p, 1965.
7. *Harrassowitz H.*: Laterit. *Fortschr. Geol. Pal.* 4, 253–565 (1926).
8. *Harrison J. B.*: The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions. *Imp. Bureau Soil Sc. Harpenden*, 79 p. (1933).
9. *Henin S.*, *Pedro G.* et *Robert M.*: Considérations sur les notions de stabilité et d'instabilité des minéraux en fonction des conditions du milieu. *Trans. 9^e Cong. Int. Soil Sc. Adelaïde III*, 79–90 (1968).

10. *Huang P. M., Crosson L. S. et Rennie D. A.*: Chemical dynamics of potassium release from potassium minerals common in soils. *Trans. 9^e Cong. Int. Soil Sc. Adelaide II*, 705-712 (1968).
11. *Leueuf N.*: L'altération des granites calcoalcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés – Thèse Paris, 210 p., 1959.
12. *Middelburgh H. A.*: Potassium in tropical soils: Indonesian archipelago-Potassium symposium. 221-257 (1955).
13. *Millot G. et Fauch R.*: Sur l'origine de la silice des silicifications climatiques et des diatomites quaternaires du Sahara – C. R. Ac. Sc. Paris, 272 D, 4-7 (1971).
14. *Pedro G.*: Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse Paris, *Ann. Agron. 15*, 85-191, 243-333 et 339-456 (1964).
15. *Pedro G.*: Principes géochimiques de la pédogenèse; incidences minéralogiques – *Trans. 8^e Cong. Int. Soil Sc. Bucarest III*, 1087-1094 (1964).
16. *Pedro G.*: Essai sur la caractéristique géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération superficielle. C. R. Ac. Sc. Paris, 262 D, 1828-1831 (1966).
17. *Pedro G.*: Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique – *Revue Géol. Phys. Géol. Dyn. X*, 457-470 (1968).
18. *Pedro G., Berrier J. et Tessier D.*: Recherches expérimentales sur l'altération «allitique» des argiles dioctaédriques de type kaolinite et illite. *Bull. Gr. Fr. Argiles, XXII*, 29-50 (1970).
19. *Pedro G. et Delmas A. B.*: Les principes géochimiques de la distribution des éléments-traces dans les sols. *Ann. Agron. 21*, 483-518 (1970).
20. *Pedro G. et Delmas A. B.*: Sur l'altération expérimentale de l'olivine par lessivage à l'eau et la mise en évidence de trois grands domaines géochimiques. C. R. Ac. Sc. Paris 273 D, 1543-1546 (1971).
21. *Rich C. I.*: Potassium in soil minerals. 9^e Colloque Inst. Int. Pot., 15-31 (1972).
22. *Robert M.*: Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. *Ann. Agron. 21*, 777-817 (1970) et 22, 43-93 et 155-181 (1971).
23. *Robert M. et Pedro G.*: Etablissement d'un schéma de l'évolution expérimentale des micas trioctaédriques en fonction des conditions du milieu. 4^e Int. Clay Conf. Madrid 2, 103-120 (1972).
24. *Scott A. D.*: Effect of particle size on interlayer potassium exchange in micas. *Trans. 9^e Int. Cong. Soil Sc. Adelaide II*, 649-660 (1968).
25. *Seddoh F. K.*: Altération des roches cristallines du Morvan. *Mém. Géol. Univ. Dijon I*, 377 p. Doin ed. Paris. (1973).
26. *Tardy Y.*: Géochimie des altérations – Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mém. Serv. Géol. Als. Lor. Strasbourg*, 199 p. (1969).
27. *Wackermann J. M.*: Corrélations géochimiques entre eaux phréatiques et nappes aquifères dans les mantaux d'altération du Sénégal oriental. *Cahier ORSTOM Géologie, IV*, 77-89 (1972).
28. *Wedepohl K. H.*: *Handbook of Geochemistry* (1969).

The Pedogenesis in the Humid Tropics and the Dynamics of Potassium

G. Pedro, Maître de Recherche, Station Centrale d'Agronomie de l'INRA, Laboratoire des Sols, Versailles/France

Extended Summary

For a good understanding of the behavior of a nutrient element, such as K, in the medium of the upper soil it is necessary to link together fertility problems and the geochemical phenomena of pedogenesis. The deep soils of the hot, wet intertropical zone are very different from those of other areas. In order to understand whether this is the result of present climatic conditions or of a long evolution, it is necessary to study the geochemical bases of pedogenesis.

This superficial geochemical evolution is conditioned by factors of three kinds:

- the minerals present at the outset (especially the alumino-silicates)
- the physico-chemical factors resulting from the presence, in the water, of atmospheric, lithospheric or biospheric reagents. The pH and the saline concentration are the most important parameters and in the intertropical zone the effective mechanism is hydrolysis, at pH between 5 and 9.6

- the thermohydric conditions (mainly temperature and contact time between mineral and attacking solution, depending itself on the amount of rainfall and the granule size – this when the drainage is right). The degree of hydrolysis is the greater, when temperature is higher and drainage more intense.

The result of the hydrolytic alteration can be characterized by the degree of attack shown by 2 groups of aluminosilicates:

- When attack of the tectosilicates is total, silica is eliminated and there remains only aluminium hydroxide (allitization process).
When it is only partial, the silica and aluminium released produce insoluble basic salts (monosiallization process – clay of the 1-1 type, – and true bisiallization – clay 2-1).
- When the attack on the micas is limited to the removal of potassium it ends finally in the formation of vermiculite (apparent bisiallization).

Whenever it goes as far as destruction of the phyllic framework, it leads to clays of the 1-1 type or to hydroxides.

The composition of the drainage waters of a soil is related to these processes and its pedochemical meaning is fundamental.

On the surface of the globe, the major pedochemical limit corresponds to the limited or total character of the de-alkalization of the phyllosilicates (stability of 2-1 clays with true or apparent bisiallization or instability of those layers with monosiallization or allitization). But for the time being there is not sufficiently accurate data, to define the pedoclimatic limits corresponding to the various processes.

In the natural environment, a soil is developing on a rock, consisting of a mineral mixture more or less resistant to hydrolysis. On the one hand interactions between minerals, especially with quartz, donor of silica, slow down the weathering, in particular of the potassic feldspar. On the other hand those latter, in case of complete de-alkalization, may or may not be attacked. The result in the former case is laterisation with complete kaolinisation and no reserve of primary K minerals remaining; in the second case, incomplete kaolinisation, and a reserve of primary K minerals.

If conditions are sufficiently aggressive to induce the simultaneous weathering of all minerals, evolution extending through time serves only to increase the soil thickness. On the contrary it can lead to a progressive change of the nature of the secondary minerals.

In conclusion, soils of tropical regions can be classified according to the percentage of minerals not yet hydrolysed (weathering degree) and according to the nature of secondary minerals (geochemical evolution).

The quantity of potassium in the rocks depends mainly on the presence of potassic minerals in which K is a major element.

However one must not overlook the presence of some components in which K is only a minor element, especially since some among them, in particular basic rocks, are relatively easily weathered and their potassium is more easily extracted than from an acid potassic rock.

Among potassic minerals, according to the activation energy of their potassium, which may be relatively high, or close to those of the other elements in the lattice, or even much below these, one may distinguish the less alterable minerals (felspars), more alterable ones, and finally, those able to release K without having their structure destroyed (the biotites).

The K concentration of weathering waters depends at the same time on the K content of the parent rock, and on the alterability of the components where potassium is located. For soils in process of formation from crystalline rocks, it increases as one goes from temperate climates to dry, and more specially to wet tropical climates, indicating the increasing intensity of alteration of potassic minerals.

This point is the more apparent when one considers, instead of the K concentration of waters, their Na/K ratio, which for example is higher in Europe than in Africa. Moreover when the weathering conditions permit the hydrolysis of the orthose, the K concentrations in drainage waters are much higher in young soils (active primary reserves) than in the mature soils. In case of weaker conditions of attack, age has less effect, the primary reserves being in any case almost inactive.

Potassium dynamics under the intertropical climate seems therefore to differ from that of soils under temperate climates in:

- the absence of potassic reserve made up by fixed potassium in the clays of 2-1 type themselves non-existent (so called secondary reserve)
- the possible presence, at least in the younger soils, of a reserve made up of primary potassic minerals, a reserve having a certain efficiency in hot and humid climates whilst it remains potential under a temperate climate.

Factors Determining the Potassium Supplying Power of Soils in Ghana

D. K. Acquaye, Ph. D., Division of Soil Science, University of Ghana, Legon/Ghana

Summary

The immediate supply of K by soils to growing plants derives mainly from the K that is labile whereas the long term K nutrition of plants depends also on the non-labile K. The labile K parameters of AR_c^K , $-\Delta K^\circ$ and $PBCK$ obtained from the full Q/I curves in addition to empirical measurements of the potential supply from non-labile K were used to assess the influence of parent material, pH, organic matter content, vegetation and clay content on the K supplying status of 48 representative soils of Ghana.

The total K of the soils varied with parent material in the order: acidic rocks > alluvium and shales > basic rocks > Birrimian rocks and phyllite > sandstones, and tertiary sands. The silt fractions contained the highest amount of total K and appeared to be the main source from which non-exchangeable K was released. The labile pool of K also depended on the parent material; soils developed from basic rocks had the highest whereas soils from sandstones and tertiary sands were the poorest. Soil pH, as influenced by parent material and rainfall, and organic matter, a reflection of climate/vegetation action, showed strong effects on the K-supplying power of the soils.

1. Introduction

It is generally accepted that the potassium in soils can be described by the following equilibrium conditions:

Potassium in soil solution \rightleftharpoons Potassium on soil surface \rightleftharpoons Non-exchangeable potassium

The potassium in the soil solution and that held in exchangeable form on soil particle surfaces (the two together referred to as 'exchangeable potassium') are considered to be labile and to meet the immediate requirements of growing plants. The portion that is nonexchangeable includes that held as fixed ions in the lattice structure of clay minerals and that which forms part of the structures of minerals. This form of K is non-labile. Various laboratory methods have been employed to assess the supply of potassium by soils to plants. These methods have included both empirical and fundamental approaches. The former methods have involved the assessment of exchangeable potassium using weak electrolytes, notably normal ammonium acetate. The usefulness of these indices is limited when applied to heterogenous population of soils because of varying capacities of different soils to release potassium from the reserves in non-exchangeable form for uptake during the normal growth of crops. Attempts have

therefore been made to adopt methods of assessment that in addition account for that portion of the non-exchangeable potassium that can become available during cropping. In this respect the potassium supplying power of a soil has been designated to mean the capacity of that soil to supply potassium to growing plants from both the exchangeable and non-exchangeable forms (*Weber and Caldwell [47]*). Laboratory methods used for this purpose have invariably included strong electrolytes such as mineral acids and recently extracting solution containing sodium tetraphenylboron (NaTPB) and EDTA (*Smith et al. [41]*).

In recent years a fundamental approach based mainly on the labile pool of potassium has been advocated (*Beckett [10, 11]*). This derives from the concept that the supply of potassium by a soil to plants can be defined by intensity factor, which indicates the immediately available potassium, and quantity factor, which indicates the potassium reserves of non-exchangeable and total elemental potassium. The relationship of the quantity (Q) and intensity factor (I) describes the buffer capacity (i.e. Q/I) which is a measure of the resistance to a change in the potassium potential (I) in soils. Thus there are two aspects of potassium buffer capacity namely: (1) buffering of the potential by the exchangeable pool and, (2) buffering of the exchangeable pool by non-exchangeable reserves (*Addiscott and Talibudeen [4]*). The labile pool of potassium is dependent on the equilibrium between the release of potassium by weathering of primary minerals, organic matter mineralization and defixation on the one hand and leaching, cropping and fixation on the other (*Moss and Hodnett [30]*). Other factors which may indirectly affect the pool include soil pH, type of exchangeable cations present, clay content and mineralogical composition (*Talibudeen [42]*).

Studies on potassium in tropical soils have been reviewed recently (*Boyer [14]*). In Ghana there is usually lack of response to potassium fertilisation when soils are brought into cultivation from the fallow state: but even the more fertile forest soils can be depleted during relatively short intensive cropping periods (*Acquaye et al. [3]*). Some aspects of the potassium supplying power of Ghanaian soils have been studied (*Acquaye et al. [2]*; *Ahenkorah [5]*).

The objectives of the present study were to determine the relationship of parent material, clay content, pH, organic matter (climate/environment complex) to the potassium supplying characteristics of representative soils of Ghana.

2. Materials and Methods

2.1. Soils used

Forty-eight topsoils (0–22 cm) of known series were sampled from undisturbed areas. Except for soil 12, which had recently been cultivated, and two others – 11 and 46 which were under cocoa, all the samples were taken from seemingly virgin soils. It is possible that some of the soils might have been cultivated in the past under the bush fallowing system but none of them had been fertilised recently. Those sampled under grassland conditions might have been subjected to some burning but not in the recent past. A description of the soils including their parent material and classification, and the mineralogical characteristics of their clay fractions is given in Table 1. The soils were selected as representatives of the three main ecological zones of Ghana namely: the coastal Savannah, the forest and the interior Savannah zones. A few

soils from the forest/savannah intergrade, which lies between the forest zone and interior savannah zone, were included. A brief summary of the geology of the zones has been given (*Acquaye et al. [2]*). The rainfall of the southern savannah varies from about 25 to 45 inches, for the forest zone from 50 to 85 and for the interior savannah from 30 to 45 inches per annum.

2.2. Analytical and cropping methods

Exchangeable K of both cropped and uncropped samples was determined by the conventional N NH_4OAc leaching method and total K by decomposition of the ignited soil with $\text{HF-H}_2\text{SO}_4$ (*Jackson [23]*). Fixed K was determined by adding 10 mg K to 10 g soil and determining the amount of K held against extraction with neutral N NH_4OAc following five cycles of wetting and drying at 70°C .

The activity ratio (AR^{K}), buffering capacity (PBC^{K}), and labile pool ($-\Delta\text{K}^\circ$) were determined by equilibration of samples of the soil with 0.002 M CaCl_2 containing different amounts (0 to 2.0 millimoles) of KCl according to the procedure previously described (*Acquaye et al. [25]*). The short saturation extract or successive equilibration procedure of Rothamsted (*Talibudeen and Dey [43]*) was also used. The equilibrium activity ratio (AR_e^{K}) was obtained by interpolation of the Q/I curve. The PBC^{K} was derived by extrapolation of the linear portion of the curve and is therefore synonymous with the LBC of *Beckett [12]*.

The available non-exchangeable K was estimated by three methods: (i) The HNO_3 method of *Haylock [20]* in which the 0.1 N HNO_3 - exchangeable K (K_{HNO_3}), 'Constant Rate' K (CR.K) and 'Step' K were derived. In addition $\Delta\text{K}_{\text{HNO}_3}$, the relatively available fraction of the non-exchangeable K, was calculated according to *Metson [27]*; (ii) a modification of the sodium tetraphenylboron (NaTPB) method of *Smith et al. [41]*. One gram sample of soil was extracted with 10 ml of 0.3 N NaTPB in 1.7 M NaCl for 1 h and 504 h in a test tube. After the desired extraction period the suspension was transferred into a beaker and approximately 700 ml deionised water containing 500 me NH_4Cl was added. The suspension was boiled until the KTPB precipitate dissolved. Potassium in solution was determined on an EEL flame photometer and the difference in amounts extracted during 1 h and 504 h, and the 'Exchange Rate Index' (ERI) were calculated; and (iii) the exhaustive cropping in the greenhouse. Hundred grams of air-dry soil, which had passed a 2 mm sieve, were mixed with 100 g acid-washed sand and then poured over 100 g pure quartz gravel contained in 500 ml plastic bucket. This was cropped successively in the greenhouse with *Phaseolus mungo*, corn (*Zea mays*), and sudan grass (*Sorghum vulgare* var. *Sudanense*) (4 cuts) using three replicates of each soil. The plants were given K-free nutrient solution (*Hoagland and Arnon [22]*), the above soil portion harvested after 30 days, dried at 80°C , weighed and then ground. Subsample of the ground material was wet ashed with a ternary mixture of $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$. Release or uptake of non-exchangeable K was estimated as follows: Release of non-exchangeable $\text{K} = (\text{Total uptake of K by crop}) - (\text{Exchangeable K before cropping} - \text{Exchangeable K after cropping})$.

Mechanical analysis was carried out by the *Bouyoucos [13]* hydrometer method after H_2O_2 treatment and dispersion with sodium hexametaphosphate. The textural fractions were separated by siphoning and decantation and the mineralogical composi-

Table 1. Description and some chemical properties of the soils

Soil Number and Series Name	Great Soil Group	Parent Material*	Vegetation	Texture**	pH in 0.01M CaCl ₂	Org. C %	Total K %	K Fixed %	Mineralogy of Clay Fractions (0.002 mm)***		
									Mont-morillonite	Illite	Kaolinite
1. Abenia	Forest Oxyisol	biot. gr. sch.	Forest	SCI	4.0	1.0	0.42	7.4	X	X	X X X X
2. Adjade	Savannah gleisol	ac. gn. sch.	Tall gr. sav.	SL	5.7	1.5	2.20	57.3	X X	X	X X X
3. Afeyi	Forest Lithosol	sandst.	Tall gr. sav.	LS	4.8	0.4	0.20	4.6	X	-	X X X X
4. Agawtaw	Tropical grey clay	ac. gn. sch.	Savannah	LS	4.9	0.3	2.10	6.6	X X X	-	X X X
5. Akroso	Forest ochrosol	granite	Thicket	SL	4.3	0.4	0.07	4.0	X	-	X X X X
6. Akuse	Tropical black clay	horn. gn.	Savannah	CIL	7.4	1.4	0.41	41.2	X X X X	-	X
7. Aloï	Savannah brunosol	volcanics	Tree Sav.	SL	5.7	1.2	4.80	10.0	X	X	X X X
8. Amo	Savannah grey acid gleisol	alluvium	Savannah	CIL	4.1	0.8	1.60	52.0	X X	X	X X X
9. Ankasa	Forest oxyisol	biot. gr. sch.	Forest	SCIL	4.2	0.6	0.18	6.0	X	X	X X X X
10. Ashaiman	Tropical brown clay	pyrox. gn.	Short. gr. sav.	CIL	6.5	1.0	0.21	30.5	X X X X	-	X
11. Ayoma	Forest ochrosol	phyllite	Forest	L	5.6	1.3	1.30	29.8	X X	X	X X X
12. Babile	Savannah ochrosol/laterite	granite	Savannah	S	5.2	0.3	0.27	7.4	X	-	X X X X
13. Baleufili	Savannah ochrosol	ped. dr.	Short gr. sav.	LS	5.3	0.3	0.22	2.5	X	-	X X X X
14. Bediesi	Forest ochrosol	sandst.	Sec. forest	LS	5.8	0.8	0.04	6.1	X	-	X X X X
15. Bekwai	Forest ochrosol	phyllite	Sec. forest	SCIL	4.9	1.7	1.00	8.2	X	X	X X X X
16. Boi	Forest oxyisol	phyllite	Forest	SCIL	4.2	1.0	0.24	19.3	X	X	X X X X
17. Buipe	Savannah brunosol	limest. phyllite	Med. gr. sav.	SL	5.8	0.7	0.41	35.8	X X	X	X X X
18. Damongo	Savannah ochrosol	sandst.	Savannah	CIL	5.2	0.3	0.10	10.5	X X	-	X X X X
19. Dianda	Savannah ochrosol	mudst. alluv.	Tree sav.	SL	4.3	1.3	0.23	14.7	X	X X	X X X X
20. Ejura	Savannah ochrosol	sandst.	Savannah	LS	5.7	0.4	0.06	10.4	X X	-	X X X X
21. Gbeto	Tropical black earth	bas. gn. sch.	Tall gr. sav.	LS	5.2	1.0	0.16	25.7	X	X	X X X X
22. Hake	Savannah gleisol	alluvium	Savannah	CIL	4.2	0.6	1.40	62.4	X X	X	X X X
23. Kadelso (L)	Savannah brunosol	limest.	Savannah	CIL	7.6	1.7	0.95	59.0	X X	X	X X X
24. Kadelso	Savannah brunosol	limest.	Med. gr. sav.	SCIL	6.9	1.4	1.30	62.0	X X	X	X X X
25. Kaleo	Savannah ochrosol	granite	Short. gr. sav.	SL	5.1	0.1	1.13	11.9	X X	-	X X X X
26. Koforidua	Forest ochrosol-Rubrisol	biot. gran.	Forest	SCIL	6.0	1.4	0.12	9.9	X	X	X X X X
27. Kokofu	Forest ochrosol	phyllite	Sec. forest	SL	4.3	0.8	0.11	11.6	X X	X	X X X X
28. Kpelesawgu	Groundwater laterite	shale mudst.	Savannah	SL	4.1	0.5	0.29	9.5	X	X X	X X X
29. Kumasi	Forest ochrosol	biot. gr. sch.	Sec. forest	SL	7.0	1.9	0.09	14.0	X	-	X X X X
30. Kupela	Savannah acid gleisol	granite	Savannah	CIL	3.9	0.9	1.83	19.8	X	X	X X X X
31. Kwabeng	Forest acid gleisol	phyllite	Forest	CIL	4.1	1.1	1.43	23.7	X	X	X X X X

Table 1 (continuation)

32. Lupu	Savannah acid gleisol	horn. gn.	Swamp sav.	Cl	4.9	1.1	0.20	31.0	X X X X	-	X
33. Mamfe	Forest ochrosol	quartz. gr.	Forest	SL	6.4	1.3	0.44	13.5	X	X X	X X X X
34. Morno	Savannah ochrosol/brunosol	bas. gn.	Short gr. sav.	SL	6.0	1.6	1.50	40.0	X X	X	X X X
35. Nakori	Savannah ochrosol/brunosol	bas. gn.	Short gr. sav.	SL	4.9	0.4	0.49	23.4	X X	-	X X X X
36. Nyigbenya	Savannah ochrosol	ac. gn. sch.	Tall gr. sav.	SL	4.9	0.7	0.85	13.9	X X	-	X X X
37. Oyarifa (B)	Savannah ochrosol	sandst.	Thicket	SL	5.1	0.9	0.09	0.5	X	-	X X X X
38. Oyarifa (R)	Savannah ochrosol	sandst.	Savannah	LS	4.4	0.6	0.18	60.1	X X	X	X X X
39. Pagha	Savannah ochrosol	granite	Savannah	SCIL	6.3	0.7	0.31	34.2	X X	X	X X X
40. Pawia	Savannah brunosol	limest.	Med. gr. sav.	SL	5.6	0.6	0.40	29.9	X X	X	X X X
41. Prampram	Tropical black earth	bas. gn.	Tall gr. sav.	SCI	7.2	0.7	0.11	4.6	X X X	-	X X X X
42. Tikobo	Forest oxysol	tert. sand	Forest	LS	4.2	0.8	0.07	4.6	X	-	X X X X
43. Toje	Savannah ochrosol	tert. sand	Tall gr. sav.	S	5.2	0.2	0.06	0.6	X	-	X X X X
44. Varempere	Savannah ochrosol	biot. gr. sch.	Savannah	SL	5.2	0.4	1.90	1.1	X	X	X X X X
45. Volta	Savannah acid gleisol	shale	Savannah	LS	4.9	0.6	0.23	2.3	X	X X	X X X
46. Wacri	Forest ochrosol/Rubrisol	horn. gran.	Forest	SCIL	5.8	1.2	0.28	1.0	X	X	X X X X
47. Zebe	Savannah ochrosol	ac. gn. sch.	Tall gr. sav.	SL	5.6	0.7	0.34	4.8	X	-	X X X X
48. Ziwai	Regosolic ground water later.	ac. gn.	Short gr. sav.	S	5.5	0.3	1.85	7.0	X	-	X X X X

* Biot. gr. sch. = biotite granite schist; ac. gn. sch. = acidic gneisses and schists; sandst. = sandstone; horn. gn. = hornblende gneisses; pyrox. gn. = pyroxene gneisses; pied-drift = piedmont drift; limest. phyllite = limestone and phyllite; mudst. = mudstone alluvium; bas. gn. sch. = basic gneisses and schists; limest. = limestone; biot. gran. = biotite granodiorite; shale mudst. = shale and mudstone; quartz. gr. = quartzite granite; tert. sand = tertiary sand; horn. gran. = hornblende granodiorite.

** SCI = sandy clay; SL = sandy loam; LS = loamy sand; CIL = clay loam; SCIL = sandy clay loam; L = loam; S = sand; Cl = clay.

*** - Not detectable; X = identifiable; XX = weak x-ray pattern; XXX = medium x-ray pattern; XXXX = strong x-ray pattern.

tion of the silt and clay fractions determined semi-quantitatively by x-ray analysis. Organic C was determined by the wet oxidation method of *Walkley-Black* [46]. Soil pH was measured on 1:10 soil to 0.01M CaCl₂ suspension with Beckman expandomatic pH meter. Potassium in solution was measured by an EEL flame photometer and calcium and magnesium by EDTA titration.

3. Results and Discussion

3.1. Potassium uptake

3.1.1. K uptake and labile soil K

In Table 2 are shown the correlation coefficients between K uptake and indices of labile and non-labile soil K. Of the measurements of labile soil K used, K exchangeable by 0.002M CaCl₂ and the equilibrium activity ratio (AR_e^K) were not significantly correlated with total K uptake at any of the stages of cropping. As should be expected, AR_e^K was correlated to uptake of K from exchangeable form ($r=0.303$) (*Beckett* [12]). On the other hand the initial intensity term, activity ratio (AR_o^K) was correlated to K uptake. This is in agreement with earlier work on 14 Ghanaian soils (*Acquaye and MacLean* [1]) and other results on tropical soils (*Wild* [48]; *Graham and Fox* [19]; and others quoted by *Beckett* [12] and *Addiscott and Talibudeen* [4]). The buffer capacity (PBC^K) was generally related to yield of dry matter but showed poor correlation with uptake. N NH₄OAc exchangeable K (K_e), 0.1N HNO₃-exchangeable K (K_{HNO_3}), boiling N HNO₃-extractable K and NaTPB-extractable K were all significantly related to K uptake; K_e was consistently better in describing K uptake than any of the other measurements. The measurements improved in their ability to account for K uptake with successive cropping. Similar trends were obtained with dry matter yield. Various workers have used the activity ratio in the logarithmic form or as the related free energy of exchange terms; some have found good relationships between these values and plant uptake whilst others have not (*Herlihy and Moss* [21]). The lack of correlation between PBC^K and K uptake is not unexpected since, as will be shown later, PBC^K was not related to K_e which gave the best relationship with uptake. As should be expected (*Acquaye and MacLean* [1]; *Beckett* [12]), PBC^K was correlated with uptake of non-exchangeable K ($r=0.330$).

3.1.2. K uptake and non-labile K

Table 2 gives the correlation coefficients relating K uptake and yield to 'constant rate' K, 'step' K and ΔK_{HNO_3} . The relationship with ΔK_{NaTPB} and K 'exchange rate index' from extraction with NaTPB, and release of non-exchangeable K (K_r) during exhaustive cropping and added K fixed (K_f) are also given. All these measurements were related to K uptake from the second cropping onwards; only K_r and K_f were related to K uptake at the initial cropping. This tends to indicate that these measurements emphasize the important contribution of non-exchangeable K released as cropping progressed.

Other correlations of interest were the significant correlations between soil pH, organic carbon and clay content, and the cumulative uptake of K.

Table 2. Total correlation coefficients (r)* relating K-uptake and dry matter yield to labile and non-labile soil K

Indices	Crop I		Crop II		Crop I+II		Crop I+II+III	
	K-uptake	Yield	K-uptake	Yield	K-uptake	Yield	K-uptake	Yield
Labile K indices								
Exch. K (0.002 M CaCl ₂)**	0.087	-0.125	-0.212	-0.311	-0.087	-0.230	-0.167	-0.133
AR ₀ ^K	0.235	0.123	0.369	0.141	0.449	0.150	0.659	-0.479
AR ₅ ^K	0.152	-0.131	0.053	-0.075	0.099	-0.125	0.021	-0.185
-Δ K°	0.803	0.629	0.635	0.631	0.792	0.729	0.676	0.714
Exch. K (N NH ₄ OAc): cropped	0.508	0.432	0.753	0.502	0.733	0.533	0.798	0.144
Exch. K (N NH ₄ OAc): uncropped	0.826	-0.092	0.810	0.356	0.944	0.722	0.922	0.749
0.1N HNO ₃ -exch. K (KHNO ₃)	0.715	0.525	0.591	0.513	0.734	0.602	0.691	0.362
N HNO ₃ - boiling K	0.469	0.367	0.879	0.673	0.770	0.566	0.830	0.229
NaTPB-extractable K: 1 h	0.357	0.216	0.707	0.450	0.597	0.381	0.647	0.247
NaTPB-extractable K: 504 h	0.245	0.128	0.640	0.381	0.521	0.265	0.640	0.098
Buffer capacity (PBCK)	0.259	0.437	0.204	0.294	0.224	0.439	0.153	0.514
Non-labile K indices								
«Constant Rate» K (K _C)	0.181	0.106	0.719	0.538	0.486	0.322	0.509	0.227
«Step» K	0.166	0.102	0.670	0.496	0.443	0.299	0.437	0.230
Δ KHNO ₃	0.155	0.083	0.651	0.472	0.425	0.283	0.417	0.290
NaTPB-extractable:								
Δ K _{NaTPB}}	0.164	0.071	0.540	0.282	0.430	0.180	0.570	0.014
K Exch. Rate Index (ERI)	0.162	0.070	0.539	0.282	0.429	0.179	0.569	0.014
Release of non-exch. K (K _F)	0.618	0.445	0.859	0.657	0.872	0.613	0.978	0.712
K fixed (K _f)	0.432	0.420	0.476	0.389	0.527	0.472	0.580	0.290

* Correlation coefficients (r values) >0.285, 0.369 and 0.461 are significant at 5, 1 and 0.1% respectively.

** The short supersaturated extract procedure of Talibudeen and Dey [43] was employed.

3.2. Factors influencing K status

3.2.1. Potassium reserves

(a) Total K in whole soil

The mean total K in the soils was 0.70% and the values ranged from 0.04 to 4.80. This compared fairly well with values for West Indian soils (*Moss and Coulter [29]*), but were lower compared with mean values of 1% quoted for British soils (*Arnold [7]*) and 1 to 2% for American soils (*Pratt [34]*). The total K content was not related to the clay content probably due to dominance of kaolinite in most of the clay fractions. There was, however, positive relationship between total K and silt content ($r=0.351$, sig. at 5% level of probability) and non-exchangeable K ($r=0.449$, sig. at 1%). The mineralogical data showed that feldspars and micas were largely absent in the clay fractions. Random examination of a few of the silt fractions showed presence of small but varying amounts of these minerals in the samples. (Detailed examination of all the different fractions is continuing.)

The mean total K in soils with $pH > 5$ was $0.75 \pm 0.2\%$ and the mean for those with $pH < 5$ was 0.66 ± 0.2 . The means for soils under the different vegetations were as follows: forest soils, 0.42 ± 0.1 ; forest/savannah intergrade, 0.71 ± 0.6 ; and savannah soils, $0.87 \pm 0.1\%$. The effects of both pH and vegetation on the mean total K contents of the soils may be an indirect reflection of differences in rainfall intensity and degree of leaching occurring under the environmental conditions. The forest soils are situated in areas of high rainfall, usually above 55 in./annum and leaching losses are therefore greater than within the savannah areas where the rainfall is usually less than 45 in./annum. Consequently, the forest soils tend to be more acid than the savannah soils. The effect of parent material on the total K contents of the soils is shown in Table 3. The mean total K contents of the soils fell in the following order of magnitude: acidic rocks > alluvium and shales > basic rocks > Birrimian rocks and phyllites > sandstones and tertiary sands. This order of magnitude agrees with the original K contents of the unweathered parent materials and their weatherability. The basic rocks usually contain more K but are more easily weathered than the acidic rocks which contain less. The very low total K content of the soils derived from sandstones and tertiary sands agreed well with results on similar soils in Nigeria (*Wild [48]*). The high total K in the soils from alluvium is not unexpected since, in agreement with the finding of *Wild [48]*, their clay fractions contained some mixed layer minerals which may have fixed K contained in floodwaters during the formation of the soils.

Table 3. Mean total K contents of the soils in relation to soil parent material

Parent Material	No. of soils	Total soil K %	
		Mean	Range
Acidic rocks	14	0.97 ± 0.2	0.07-2.2
Basic rocks	15	0.81 ± 0.3	0.11-4.8
Birrimian rocks and phyllite	5	0.57 ± 0.2	0.11-1.3
Sandstones and tertiary sands	8	0.10 ± 0.02	0.04-0.2
Alluvium and shales	6	0.86 ± 0.3	0.23-1.6

(b) Total K in soil fractions

Figure 1 shows the effects of parent material, soil pH, clay content, vegetation and organic carbon content on the total K content of soil fractions. The following were the particle sizes studied: coarse sand, 2.0–0.2 mm; fine sand, 0.2–0.02 mm; coarse silt, 0.02–0.005 mm; fine silt, 0.005–0.002 mm; coarse clay, 0.002–0.0002 mm; and fine clay <0.0002 mm. The histograms show that in general the silt fractions contained the highest amount of total K, followed by the clay and the sand fraction in that order. These trends were based on concentrations; the contribution of the fractions to the total K contents of the soil could be calculated based on their relative proportions in the soils. However, the concentrations tend to support the significant relationship found between total soil K and silt contents of the soils. In general, the K content of coarse clay was greater than that of the fine clay and the K content of the fine sand > the content of the coarse sand; there was very little difference between the K contents of coarse and fine silt.

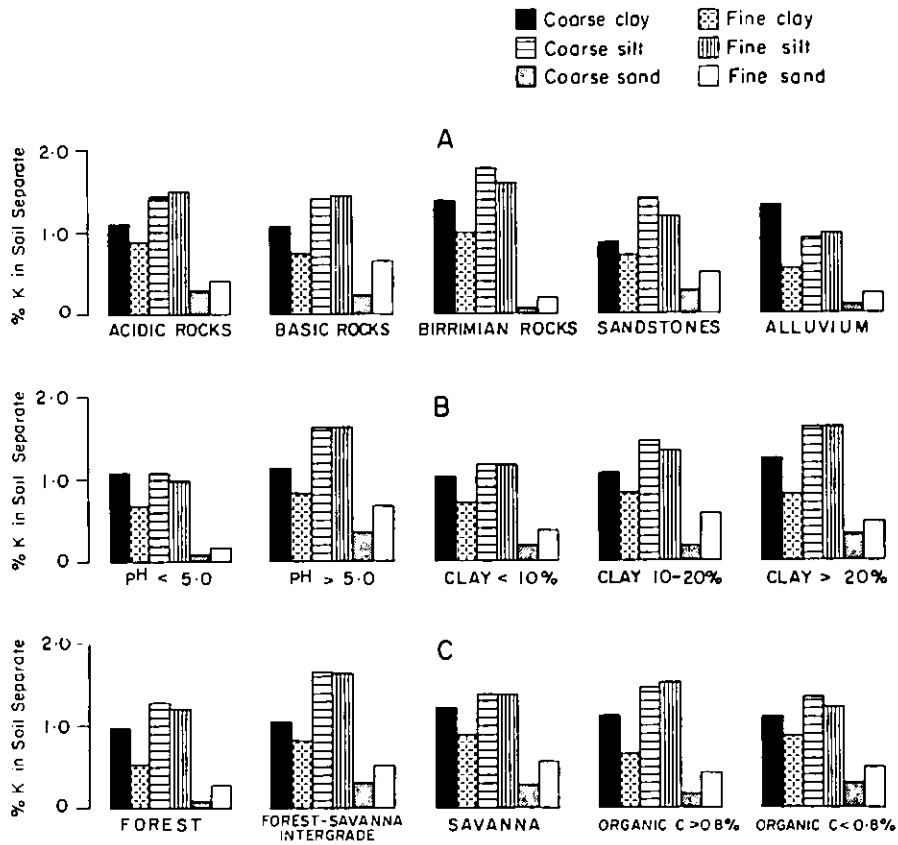


Fig. 1. Histograms showing the relationship of soil pH, parent material, vegetative cover, organic matter and clay content on the average total K content of soil separates.

However, results of examinations of the relative contribution of the total K contents of soil fractions to uptake of non-exchangeable K have been contradictory (*Addiscott and Talibudeen [4]*). *Rouse and Bertramson [36]* working on Indiana soils, *Arnold and Close [8]* on British soils, and *Salmon [37]* on Rhodesian soils suggested that release of non-exchangeable K was related to the amount and K content of the fine clay, whereas *Brown and Dunwoody [16]* examined *Arnold and Close's* results and found no significant difference between K-release from fine and coarse clay fractions. *Talibudeen and Dey [44]* found that the K released by some exhausted British soils was better related to the total clay content than fine clay content whereas *Doll et al. [17]* found that most K was taken up from coarse clay. On the other hand, *Reitemeier et al [35]* found that K release was not related at all to the clay content or its mineralogy.

3.2.2. Exchangeable K

Exchangeable K was measured by six methods: (i) exchangeable K in 0.002M CaCl₂ (saturation extract [*Talibudeen and Dey [43]*]), (ii) N NH₄OAc exchangeable K, (iii) 0.1 HNO₃-exchangeable K, (iv) boiling N HNO₃-extractable K, (v) NaTPB-extractable (1 h) and (vi) NaTPB-extractable (504 h). The mean values of extractable K observed in the uncropped soils by these methods were as follows: 0.09, 0.19, 0.20, 0.30, 3.39 and 5.59 me/100 g soil, respectively. All these indices were related to K uptake (Table 2) and were highly significantly related to each other. *Moss and Coulter [29]* obtained similar relationship between exchangeable K (K_e) and HNO₃-extractable K on West Indian soils. However, of these indices N NH₄OAc exchangeable K (K_e) gave the best correlation coefficient with the cumulative K uptake ($r=0.922$ [Table 2]). It is the easiest to measure and, since the trends shown by the other extracts were similar, the relationships of these indices with soil factors are exemplified by K_e in Table 4.

The mean exchangeable K (K_e) was 0.19 me/100 g soil and the range 0.05–0.51. The K_e was related to AR_eK ($r=0.470$), PBCK ($r=0.353$), 'step' K ($r=0.937$) and to CR.K ($r=0.468$). The mean K_e was higher in soils with pH>5 than in those of pH<5. The correlation coefficient relating K_e ($r=0.619$) was significant at the 0.1% level. This is not surprising since the pH of a soil is often a reflection of its base saturation. The mean K_e tended to increase with clay content ($r=0.491$) and with organic carbon ($r=0.541$). The mean value was highest in savannah soils and, with regard to parent material, followed the order: basic rocks>acidic rocks = alluvium and shales>Birimian rocks and phyllite>sandstones and tertiary sands. This agrees with previous results on 14 Ghanaian soils (*Acquaye et al. [2]*), and indicates the relative differences in the K supplying power of the soils as suggested by *Smith and Matthews [40]* who found that in unfertilised soils not intensively cropped, the K_e should be at or near equilibrium level for that soil and that the equilibrium value should be closely related to the K supplying power of the soil.

3.2.3. Intensity

The equilibrium activity ratio (AR_eK) was obtained from curves of activity ratios (AR^K) against change in exchangeable K (ΔK_e) based on equilibration of the soils in 0.002 M CaCl₂ containing different amounts of K. For purposes of comparison with results of other workers, the initial AR^K values (AR₀^K) based on equilibration

Table 4. Influence of parent material, vegetation, soil pH, organic matter and clay content on the labile and non-labile K status of Ghanaian soils (Mean values)*

Variable	No. of soils	Labile K indices				Non-labile K indices			
		K_e me%	AR_c^K (M/l) ^{1/2}	$-\Delta K^o$ me%	PBCK me%/(M/l) ^{1/2}	CR _r K me%	ΔK_{NaTPB} me%	K_r me%	K_f %
<i>Soil pH:</i>									
(a) pH > 5.0	28	0.24	0.0054	0.27	67.5	0.24	2.08	0.64	20.0
(b) pH < 5.0	20	0.14	0.0045	0.20	59.1	0.16	2.18	0.45	19.3
<i>Clay content:</i>									
(a) Clay < 10%	12	0.15	0.0059	0.18	36.0	0.09	0.77	0.41	11.4
(b) Clay 10–20%	17	0.24	0.0060	0.35	75.1	0.39	2.66	0.67	20.3
(c) Clay > 20%	19	0.25	0.0032	0.25	104.5	0.23	3.44	0.68	30.2
<i>Organic matter:</i>									
(a) % Org. C > 0.8	25	0.26	0.0045	0.30	86.2	0.31	3.19	0.70	26.1
(b) % Org. C < 0.8	23	0.15	0.0054	0.20	52.2	0.12	1.22	0.44	14.3
<i>Vegetative cover:</i>									
(a) Forest	14	0.16	0.0063	0.22	56.8	0.18	2.32	0.42	12.8
(b) Forest/Savannah intergrade	8	0.16	0.0036	0.20	48.7	0.24	1.86	0.53	14.6
(c) Savannah	26	0.23	0.0046	0.27	79.6	0.26	2.09	0.64	25.0
<i>Parent material:</i>									
(a) Acidic rocks	15	0.15	0.0060	0.22	50.6	0.14	1.44	0.45	14.0
(b) Basic rocks	14	0.32	0.0030	0.33	99.6	0.32	2.43	0.81	28.9
(c) Birrimian rocks and phyllite	5	0.14	0.0060	0.21	36.6	0.27	3.17	0.41	14.3
(d) Sandstones and tertiary sands	8	0.12	0.0045	0.15	29.9	0.06	0.83	0.40	12.2
(e) Alluvium and shales	6	0.15	0.0044	0.20	39.3	0.23	3.62	0.52	27.4
*Range of S.E.'s		0.01–0.20	0.0001–0.001	0.02–0.05	5.0–19.4	0.01–0.16	0.15–1.39	0.02–0.14	2.4–9.9

of 2.5 g soil in 50 ml 0.002 M CaCl₂ were also derived. The mean initial activity ratio (AR₀^K) was 0.0019 (M/l)^{1/2} with a range of 0.0005–0.009. Only one soil (No. 39) had a value below 0.001; the majority had values of 0.001–0.002 (41 soils), 0.003–0.005 (6 soils) and one had 0.009. Values reported by other workers are: 0.005–0.025 for British soils (*Beckett [10, 11]*), 0.001–0.019 for Canadian soils (*Acquaye and MacLean [1]*), 0.001–0.054 for Irish soils (*Herlihy and Moss [21]*) and 0.0006–0.0052 for Quebec soils (*Zandstra and MacKenzie [49]*) and 0.0006–0.007 for Hawaiian soils (*Graham and Fox [19]*). The mean equilibrium activity ratios (AR_e^K) were not greatly different between the two pH groups (Table 4); the correlation coefficient ($r=0.256$) between AR_e^K and pH was not significant. The correlation relating AR_e^K to clay content was also not significant. However, it is interesting to note that soils with clay contents >20% had mean AR_e^K value of 0.05 (M/l)^{1/2} whereas soils with clay content <20% had mean value of about 0.13 (M/l)^{1/2}. The forest soils had higher mean AR_e^K value than forest/savannah intergrade and savannah soils. The AR_e^K values of the soils as related to their parent materials were in the order: acidic rock = Birrimian rocks and phyllite > alluvium and shales = sandstones and tertiary sands > basic rocks. This appears to be the direct opposite of the picture depicted by the exchangeable K (K_e) values; it seems it is a reflection of the soil labile Ca + Mg which increased in that order (*Beckett [12]*). As pointed out by *Beckett [12]* in his review on 'Potassium potentials', the value of AR_e^K for a given soil is solely dependent on the labile K and Ca + Mg in the soil.

The concentrations of K in the saturation extracts followed similar trends as the equilibrium activity ratio (AR_e^K). The K concentration of 0.8–16.0 × 10⁻⁴M in the extracts compared well with values of 2.1–18.7 × 10⁻⁴M with a mean value of 7.6 × 10⁻⁴M obtained on Nigerian savannah soils (*Wild [48]*) and 0.2–10.0 × 10⁻⁴M with a mean value of 1 × 10⁻⁴M for US soils (*Barber [9]*). Compared with temperate soils, the AR^K values were low for the amount of labile K (—ΔK^o) they possessed (see below). This may be due to differences in the dominant colloids present in them. Tropical soils, with kaolinite as the dominant clay colloid, have lower net negative charge and therefore have low relative attraction for Ca (*Graham and Fox [19]*).

3.2.4. Quantity

The —ΔK^o values were obtained by extrapolation of the Q/l (i.e. —ΔK^o/AR_e^K) curves. The values for the soils (mean, 0.23 and range, 0.09–0.70 me/100 g soil) were higher than values for Nigerian savannah soils (*Wild [48]*) and for some Mississippi coastal plain soils (*Nash [31]*), but lower than values obtained for British soils (*Beckett [11]*), for Canadian soils (*Acquaye and MacLean [1]* and *Zandstra and MacKenzie [49]*), for West Indian soils (*Moss and Coulter [29]*), and for Hawaiian soils (*Graham and Fox [19]*). The values were correlated with exchangeable K (K_e) ($r=0.757$) and N HNO₃-extractable K ($r=0.554$) both significant at the 0.1% level, and to ΔK_{HNO₃} ($r=0.344$) and PBC^K ($r=0.308$), significant at 5% level. This is in accord with results for 11 Canadian soils (*Acquaye and MacLean [1]*) and for some Hawaiian soils (*Graham and Fox [19]*). *Nash [31]* obtained a good correlation between —ΔK^o and exchangeable K (K_e) and concluded that the use of —ΔK^o as a predictive value for K uptake offers no advantage over the more easily determined K_e. Also, any relation found for exchangeable K (K_e) should apply to —ΔK^o. This was the case with regard to the relationships between —ΔK^o and uptake (Table 2), pH ($r=0.456$), and organic carbon content ($r=0.527$) of the soils.

Table 4 shows the mean PBC^K values in relation to soil factors. The mean $-\Delta K^0$ value was highest for the savannah soils which originated in areas of low rainfall where leaching losses are lower compared to forest areas. Similar results have been reported for latosolic soils of Hawaii where higher values of $-\Delta K^0$ were obtained for soils from areas of low rainfall as compared with values for soils of high rainfall areas (*Graham and Fox [19]*). Similarly, the difference in the mean $-\Delta K^0$ values under the two pH groups is a reflection of difference in rainfall. The soils formed under high rainfall regimes are more acid and consequently have lower $-\Delta K^0$ values. The higher values of $-\Delta K^0$ in soils with higher organic matter contents seem to be a reflection of the contribution of organic matter to the labile K after mineralization. Corollarily, the forest soils, which usually have higher organic matter contents, should have the highest mean $-\Delta K^0$. But this was not so probably because of higher losses of K through leaching.

The effect of parent material on $-\Delta K^0$ seems to be an indirect reflection of the effect on exchangeable K (K_e). As should be expected, the sandstones and tertiary sands gave the lowest values of K_e and $-\Delta K^0$. In sandy soils especially those in which organic matter makes up much of the low CEC, the exchangeable K is readily lost by leaching or by uptake (*Thomas and Hipp [47]*). pH effect may also be indirect. Growth is better on the soils with $pH > 5$ and therefore makes greater organic matter contributions as compared to the soils with $pH < 5$. Hence the greater exchangeable K and $-\Delta K^0$ in the former soils.

3.2.5. Buffer capacity (PBC^K)

The mean of the PBC^K values for the soils was 63.3 with a range of 17.46–305.88 me/100 g ($M/1$)^{1/2}. These values compared favourably with values reported by *Wild [48]* of 0.5–9.8 for thirty-one Nigerian soils, *Beckett [11]* of 18–45 for three African soils, by *Acquaye and MacLean [1]* of 17–111 for eleven uncropped Canadian soils, by *Nash [31]* of 2.7–32.3 for sixteen Mississippi coastal plain soils of the USA and by *Beckett [11]* of 14–121 for eleven British soils. The values are lower than values of 104–673 obtained for eleven latosolic soils of Hawaii (*Graham and Fox [19]*). In Table 4 the relationships between PBC^K and clay content, organic carbon, exchangeable K (K_e) and K fixed can be seen. The correlation coefficients relating PBC^K to organic carbon ($r=0.334$), and to clay content ($r=0.336$) were all significant at the 5% level. The PBC^K values were also related to the silt and sand contents; the correlation coefficients ($r=0.433$ and -0.475 , respectively) were significant at the 1% level. The correlation coefficients relating PBC^K to exchangeable K (K_e) ($r=0.330$) and to K fixed (K_f) ($r=0.353$) were significant at the 5% level. The positive relationship found between the PBC^K values and the labile K ($-\Delta K^0$), clay content, K fixed and release or uptake of non-exchangeable K (see above) was in accord with the trend of results for Canadian soils (*Acquaye and MacLean [1]*) and substantiates the usefulness of PBC^K as a measure of the capacity of the soil to maintain the K intensity. However, the relationship obtained between PBC^K and clay content is in disagreement with results for 14 Ghanaian soils studied earlier (*Acquaye et al. [2]*). It is generally accepted that organic matter has no strong affinity for absorbing K. Therefore, it seems the positive relationship between PBC^K and organic C may be an indirect effect of CEC which derives largely from the little organic matter present in these soils. The PBC^K has been shown to be related positively to CEC in Nigerian soils (*Wild [48]*) and in other soils by several other workers quoted by *Beckett [12]*.

Beckett [12] suggests that the PBC^K may be proportional to pH. However, in this experiment the correlation coefficient relating PBC^K to pH ($r=0.237$) was not significant. The higher mean value for soils of pH >5 (Table 4) may be due to indirect effect of the higher organic matter in them. The trend with respect to vegetative cover may be due to differences in exchangeable K which reflects the magnitude of the $-\Delta K^0$, a component of PBC^K . The mean of the PBC^K values was highest in soils developed from basic rocks and lowest in sandstones and tertiary sands with acidic rocks, alluvium and shales, and Birrimian rocks and phyllite intermediate. This appears to be an indirect effect of clay content and the exchangeable K (K_e); basic rocks usually yield soils with higher clay contents than acidic rocks and sandstones. *Salmon [38]* found that Rhodesian soils developed from basic rocks were better 'K-releasers' than acidic rocks (granite). *Moss [28]* attributed pedological differences in the Q/I relationship of West Indian soils to differences in the predominant clay mineral and preference for adsorption of heterovalent cations which may block or occlude some of the exchange sites. *Beckett [12]* also studied the variability of the intensity and capacity factors within and between soil series and attributed differences to pH, permanent changes in the mineral skeletons of the soils, notably in the properties of their exchange surfaces or to changes in the amount of polyvalent amphoteric cations held on their surfaces, and organic matter.

3.2.6. Non-labile K

This was estimated as non-exchangeable K (K_r) released during cropping and by repeated extractions with HNO_3 , extraction with NaTPB and K fixed (K_f). For the extraction with HNO_3 the following values were obtained: 'step' K, 'constant rate' K (CR.K) and ΔK_{HNO_3} , calculated by the formula:

$\Delta K_{(HNO_3)} = \text{Total K extracted} - \text{Exch. K} - (6 \times K_e)$ where $K_e = \text{CR.K}$ ('constant rate' K) (*Metson [27]*).

(a) 'Constant rate' K and 'Step' K

CR.K has been suggested as an empirical guide to the long-term potassium supplying power of soils (*Metson [27]*; *Pratt [33]*; *Semb et al. [39]*). This index has been found to be a characteristic of the soil type and is closely related to soil clay mineralogy and to genetic soil classification. The values obtained for 'step' K and CR.K were of similar magnitude as those reported by *Moss and Coulter [29]* for latosolic soils of the West Indies. CR.K was related to 'step' K ($r=0.938$), exchangeable K (K_e) ($r=0.468$), boiling N HNO_3 -extractable K ($r=0.725$), silt content ($r=0.313$) and to sand content ($r=0.318$). ΔK_{NaTPB} was related to both 'step' K ($r=0.452$) and CR.K ($r=0.617$) and would therefore show similar trends in K supply to plants. Several workers (e.g. *Arnold [6]*; *McEwen and Matthews [25]*) have obtained close correlation between the amount of clay and the potassium supplying power of soils. However, in agreement with the results of *Moss and Coulter [29]*, no significant correlations between 'step' K or CR.K and the clay content were established; and neither of the former values was correlated with total K. This may be due to dominance of kaolinite in the clay fractions of most of the soils. The mean value of 0.22 me/100g. and a range of 0.01–1.95 for CR.K and mean value of 1.18 me/100g. and a range of 0.08 – 2.25 for 'step' K are similar to the values obtained on West Indian soils by *Moss and Coulter [29]*. *Metson [27]* has suggested values of less than 0.20 me/100 g as deficiency level for New Zealand soils. If this criterion is accepted, it would seem that only 14 out

of the 48 soils are not deficient. As shown in Table 4, this suggests that Ghanaian soils with pH values less than 5, soils containing less than 10% clay, less than 0.8% organic carbon, soils derived from acidic rocks and sandstones and tertiary sands are likely to be deficient. Contrarily, most of the soils, particularly the forest ochrosols, savannah ochrosols and the tropical earths, which are derived from basic rocks, rarely give responses to K fertilisation (*Nye and Stevens [32]*). However, with the adoption of high yielding crop varieties, the natural reserves may become depleted (*Acquaye et al. [3]*; *Ahenkorah [5]*); but such situations are normally confounded by the fallow systems used by peasant farmers (*Laudelout [24]*; *Braud [15]*). Frequently, the sandy soils derived from sandstones, and granitic rocks give responses to K fertilisation (*Ekpete [18]*). This is not surprising as their medium intensities are not sufficiently buffered against depletion.

(b) Potassium release (K_r) and Fixation (K_f)

The mean value of non-exchangeable K (K_r) released during the exhaustive cropping over 120 days was 0.54 me/100 g with a range of 0.28–2.23. The correlations between release (K_r) and PBC^K ($r=0.330$), per cent clay ($r=0.431$), total K ($r=0.449$) and 'step' K ($r=0.437$) were all significant. The correlation relating release (K_r) with total K uptake ($r=0.978$), boiling HNO₃-extractable K ($r=0.863$) and 0.1 N HNO₃-exchangeable K ($r=0.610$) were significant at 0.1% level. The mean value of K fixed was 19.6% with a range of 0.5–62.4%. The influence of the soil factors on the K release (K_r) and fixation (K_f) follows similar trends. Both parameters were higher at soil pH >5 than at pH <5, and higher in soils with organic carbon content >0.8%, and tended to increase with clay content. The influence of vegetation may be due to slight differences in mineralogical composition of the soils. Forest soils are subject to much more intensive weathering and leaching due to higher rainfall than the savannah soils. The clay fractions of the forest soils therefore contain insignificant amounts of the expanding minerals as compared to savannah soils. The correlation coefficient ($r=0.628$) relating the release of non-exchangeable K (K_r) to K fixed (K_f) was significant at 0.1% level. This is in agreement with the proposition that the same mechanism is responsible for both fixation and release (*McLean and Simon [26]*).

The values agreed with the mean and range of fixed K reported for West Indian soils (*Moss and Coulter [29]*) and are in accordance with the predominance of kaolinite in the clay fraction. To some extent the mineralogical data given in Table 1 illustrate the importance of the type of clay in K fixation and release. The values of K_r were far higher than values obtained on similar soils which were cropped only once (*Acquaye and MacLean [1]*). However, the uptake of K from non-labile form during cropping and the lack of correlation between the equilibrium activity ratio (AR_e^K) and total K uptake (Table 4) and release of non-exchangeable K ($r=0.086$) underscores the previous finding (*Acquaye and MacLean [1]*) that the activity ratio alone does not suffice as a criterion of K supply. This emphasizes the need for the inclusion of estimates related to the contribution of the K reserves to K supply during cropping. *Arnold [6]* states that the inherent K fertility of soils depends on the K released from non-exchangeable or difficultly exchangeable sources. The influence of parent material on K release and fixation follow the trend of the effect on PBC^K. Thus the values were highest in soils derived from basic rocks and lowest in soils from sandstones and tertiary sands with soils developed from acidic rocks, Birrimian rocks and phyllite, and alluvium and shales being intermediate in that order. Again as was the case with

PBC^K, it seems these differences may be due to differences in clay mineralogy and content. The basic rocks yield soils containing some expanding clay mineral types whereas sandstones usually form soils with very little clay mainly of the kaolinitic type.

Acknowledgements

Grateful acknowledgement is made to Mr. *J. E. Cudjoe*, Director, Department of Geological Survey, Ghana for x-ray analysis of the clay fractions, to Dr. *J. E. van Landewijk*, Department of Geology, University of Ghana, Legon for petrographic examination of the silt and sand fractions, and to Mrs. *S.J. Mabey*, Institute of Statistical, Social and Economic Research, Legon for statistical analysis. I thank also Mr. *E. Owusu-Bennoah* and staff of the Soils Division of the University of Ghana for technical assistance.

4. Bibliography

1. *Acquaye, D. K. and MacLean, A. J.*: Potassium potential of some selected soils. *Can. J. Soil Sci.* 46, 177-184 (1966).
2. *Acquaye, D. K., MacLean, A. J. and Rice, H. M.*: Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103, 79-89 (1967).
3. *Acquaye, D. K., Smith, R. W. and Lockard, R. G.*: Potassium deficiency in unshaded Amazon cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Ghana. *J. Hort. Sci.* 40, 100-108 (1965).
4. *Addiscott, T. M. and Talibudeen, O.*: The buffering capacity of potassium reserves in soils. *Potash Rev.* 4/45 (1969).
5. *Ahenkorah, Y.*: Potassium supplying power of some soils of Ghana cropped to cacao. *Soil Sci.* 109, 127-135 (1970).
6. *Arnold, P. W.*: Potassium-supplying power of some British soils. *Nature, Lond.* 187, 436-437 (1960).
7. *Arnold, P. W.*: Soil potassium and its availability to plants. *Outl. on Agric.* 3, 263-267 (1962).
8. *Arnold, P. W. and Close, B. M.*: Potassium-releasing power of soils from the Agdell rotation experiments assessed by glasshouse cropping. *J. agric. Sci. Camb.* 57, 381-386 (1961).
9. *Barber, S. A.*: Mechanism of potassium absorption by plants. In 'The Role of Potassium in Agriculture'. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1969.
10. *Beckett, P. H. T.*: Studies on soil potassium. I. Confirmation of the ratio law. *J. Soil Sci.* 15, 1-8 (1964).
11. *Beckett, P. H. T.*: Studies on soil potassium. II. The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15, 9-23 (1964).
12. *Beckett, P. H. T.*: Potassium potentials - a review. *Potash Rev.* 5/30 (1971).
13. *Bouyoucos, G. J.*: Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54, 464-465.
14. *Boyer, J.*: Soil potassium. In: *Soils of the Humid Tropics*. National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1972.
15. *Braud, M.*: La fertilisation du cotonnier en Afrique tropicale et à Madagascar. *Coton Fib. Trop.* 22, 246-274 (1966).
16. *Brown, G. and Dunwoody, J. H. A.*: Prediction of release of non-exchangeable potassium to crops. *Rep. Rothamsted exp. Sta for 1965*, 72 (1966).
17. *Dull, E. C., Mortland, M. M., Lawton, K. and Ellis, B. G.*: Release of potassium from soil fraction during cropping. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29, 699 (1965).
18. *Ekpete, D. M.*: Predicting response to potassium for soils of Eastern Nigeria. *Geoderma* 8, 177-189 (1972).
19. *Graham, E. R. and Fox, R. L.*: Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. *Soil Sci.* 111, 318-322 (1971).
20. *Haylock, O. F.*: A method for estimating the availability of non-exchangeable potassium. 6th int. Congr. Soil Sci. B, 403-408 (1956).

21. *Herlihy, M. and Moss, P.*: Availability of soil potassium to ryegrass. *Ir. J. agric. Res.* 9, 95-108 (1970).
22. *Hoagland, D. R. and Arnon, D. I.*: The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. *Calif. Agr. Expt. Sta. Circ.* 347 (1950).
23. *Jackson, M. L.*: Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. (1960).
24. *Laudelout, H.*: Etude sur l'apport d'éléments minéraux résultant de l'incinération d'une jachère forestière. *Proc. Conf. Internat. Sols.* 1, 383-388. Léopoldville (1954).
25. *McEwen, H. B. and Matthews, B. C.*: Rate of release of non-exchangeable potassium by Ontario soils in relation to natural soils characteristics and management practices. *Can. J. Soil Sci.* 38, 36-43 (1958).
26. *McLean, E. O. and Simon, R. H.*: Potassium status of some Ohio soils as revealed by greenhouse and laboratory studies. *Soil Sci* 85., 324-332 (1958).
27. *Metson, A. J.*: The long-term potassium-supplying power of New Zealand soils. 9th Congr. *Soil Sci.* 11, 300-307 (1969).
28. *Moss, P.*: Independence of soil quantity-intensity relationships to changes in exchangeable potassium: similar potassium exchange constants for soils within a type. *Soil Sci.* 103, 196-201 (1967).
29. *Moss, P. and Coulter, J. K.*: The potassium status of West Indian volcanic soils. *J. Soil Sci.* 15, 284-298 (1964).
30. *Moss, P. and Hodnet, G. E.*: Some aspects of the cation status of soil moisture. IV. The ratio law applied under field conditions. *Pl. and Soil* 19, 33-48 (1963).
31. *Nash, V. E.*: Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi coastal plain as revealed by various extracting agents. *Soil Sci.* 111, 313-317 (1971).
32. *Nye, P. and Stevens, D.*: Soil Fertility. In: 'Agriculture and Land Use in Ghana', Chap. 7, edited by *J. B. Willis*; Oxford University Press, London, 1962.
33. *Pratt, P. F.*: Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Sci.* 72, 107-117 (1951).
34. *Pratt, P. F.*: Potassium. In: 'Methods of Soil Analysis', edited by *C. A. Black*, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, Madison, Wisconsin, USA, 1965.
35. *Reitemier, R. F., Brown, I. C. and Holmes, F. S.*: Release of native and fixed non-exchangeable potassium of soils containing hydrous mica. *USDA Tech. Bull.* 1049 (1951).
36. *Rouse, R. D. and Bertramson, B. R.*: Potassium availability in several Indiana soils; its nature and methods of evaluation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14, 113-123 (1951).
37. *Salmon, R. C.*: Release of non-exchangeable potassium from some Rhodesian soils cropped with grass. *J. agric. Sci. Camb.* 65, 135 (1965).
38. *Salmon, R. C.*: Nutrient reserves in some soils from Rhodesian Tribal Trust Lands and African Purchase Areas. *Rhod. J. agric. Res.* 9, 123-126 (1971).
39. *Semb, G., Sortenberg, A. and Oien, A.*: Investigation on potassium available in soils varying in texture and parent material. *Acta Agric. Scand.* 9, 229-252 (1959).
40. *Smith, J. A. and Matthews, B. C.*: Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. *Can. J. Soil Sci.* 37, 1-10 (1957).
41. *Smith, S. J., Clark, L. J. and Scott, A. D.*: Exchange of potassium in soils. 9th int. Congr. *Soil Sci.* 11, 661-669 (1968).
42. *Talibudeen, O.*: Exchange of potassium in soils in relation to other cations. 9th Colloquium of the International Potash Inst., Berne, Switzerland (1972).
43. *Talibudeen, O. and Dey, S. K.*: Potassium reserves in British Soils. I. The Rothamsted Classical Experiments. *J. agric. Sci., Camb.* 71, 95-104 (1968).
44. *Talibudeen, O. and Dey, S. K.*: Potassium reserves in British soils. II. Soils from different parent materials. *J. agric. Sci., Camb.* 71, 405-411 (1968).
45. *Thomas, G. W. and Hipp, B. W.*: Soil factors affecting potassium availability. In: 'The Role of Potassium in Agriculture'. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1968.
46. *Walkley, A. and Black, I. A.*: An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38 (1934).
47. *Weber, J. B. and Caldwell, A. C.*: Potassium-supplying power of several Minnesota surface soils and subsoils. *Soil Sci.* 100, 34-43 (1965).
48. *Wild, A.*: The potassium status of soils in the savannah zone of Nigeria. *Expl. Agric.* 7, 257-270 (1971).
49. *Zandstra, H. G. and MacKenzie, A. F.*: Potassium exchange equilibria and yield response of oats, barley and corn on selected Quebec soils. *Soil Sci. Am. Proc.* 32, 76-79 (1968).

Facteurs déterminant le pouvoir d'approvisionnement en potassium des sols au Ghana

D. K. Acquaye, Division of Soil Science, University of Ghana, Legon/Ghana

Version abrégée

L'introduction récapitule d'une part, nos connaissances sur les formes labiles (échangeables) et non labiles (non-échangeables) du potassium du sol, et, d'autre part les essais destinés à caractériser le potentiel de potassium et les réserves en potassium dans les sols, selon Beckett, Addiscott et Talibudeen.

Au Ghana on ne constate généralement pas de réponse à la fertilisation potassique lors de la mise en culture des sols. A la suite de recherches récentes sur la capacité d'approvisionnement potassique des sols au Ghana, les objectifs de la présente étude sont de déterminer la relation entre la roche-mère, la teneur en argile, le pH, la matière organique et la végétation d'une part, et le niveau de K ainsi que le potentiel d'apport à partir du «pool» de K non labile pour des sols représentatifs du Ghana, d'autre part.

On a analysé 48 couches supérieures de sols provenant de séries de sols connues, principalement des régions non cultivées et non fertilisées des trois zones écologiques du Ghana (savanes, côtière et intérieure, forêt), en vue de connaître leurs teneurs en K_e échangeable (NH_4OAc , $CaCl_2$), en K total ($Hf-H_2SO_4$), en $K_{fixé}$ (extraction par NH_4OAc , après 5 cycles d'humectation et de séchage à 70°C) et en K disponible non échangeable (HNO_3 [Haylock et Metson], NaTPB [Smith et al.]).

De plus, on a cultivé en serre des plantes exhaustives comme *Phaseolus mungo*, maïs et herbe du Soudan (4 coupes). On a déterminé et discuté d'autres paramètres de K comme par exemple le rapport d'activité (AR K), le rapport d'activité d'équilibre (AR K_e^K), le pouvoir tampon (PBCK), le «pool» labile ($-K^o$), etc., selon Acquaye et al., Talibudeen et Dey, Beckett.

Les coefficients de corrélation entre l'absorption de K et les indices du K labile du sol montrent la meilleure relation entre le K échangeable (NH_4-OAc , HNO_3 , NaTPB), et le rapport d'activité initial (AR K_o^K), tandis que K_e ($CaCl_2$), AR K_e^K et PBCK ne présentent pas de corrélations significatives avec l'absorption de K. L'approvisionnement immédiat en K du sol des plantes en croissance provient principalement du K labile, mais la nutrition potassique des plantes à long terme dépend également du K non labile. Les résultats de corrélations entre les quantités libérées de K non échangeable et de K fixé, d'une part, et de l'absorption cumulative de K, d'autre part, confirment bien ce qui vient d'être dit plus haut.

Le K total (moyenne 0,7%, fluctuations de 0,04 à 4,8%) a varié en fonction de la roche-mère, du pH et de la végétation, dans l'ordre suivant: roches acides > alluvium et schistes > roches de base et phyllite > grès et sables tertiaires; savane (pH > 5) > forêt (pH < 5). Les fractions limoneuses contenaient les quantités les plus élevées de K total et semblaient être la source principale à partir de laquelle le K non échangeable fut libéré, suivies par les fractions argileuses (principalement la kaolinite) et les fractions sableuses.

Le K labile exprimé sous forme de K échangeable (NH_4-OAc) (moyenne 0,19 méq./100 g de sol, avec des fluctuations de 0,05-0,51 méq.) était fonction de la roche-mère dans le même ordre et était plus élevé dans les sols de savane avec un pH de 5 que dans les sols plus dégradés et lessivés des forêts avec un pH de 5 également.

Les rapports d'activité d'équilibre (valeurs AR K_e^K sous forme de paramètres d'intensité) n'étaient pas très différents entre les deux groupes de pH, mais ils étaient plus élevés dans les sols forestiers. En ce qui concerne la roche-mère, ce paramètre suit une tendance contraire, comparé aux valeurs de K_e . Le «pool» labile de K ($-K^o$) comme paramètre de quantité, se situait entre 0,09 (forêt) à 0,70 (savane) méq./100 g de sol avec une moyenne de 0,23 et se trouvait en corrélation significative avec K_e et $KHNO_3$. Les valeurs plus élevées de $-K^o$, dans les sols avec des teneurs en matière organique plus élevée, semblent être une conséquence d'un apport de matière organique au K labile, après minéralisation.

La moyenne du pouvoir tampon (valeurs PBC)K fut de 63,3 méq./100 g de sol avec des fluctuations de 17,46 à 305,88 méq./100 g (M/l) $^{1/2}$ et se trouvait en corrélation avec les différentes fractions du sol et la teneur en matière organique.

Concernant le K non labile libéré pendant la période de culture ou lors d'extractions répétées, les indices du «taux de libération constant de K» et du «taux de libération progressive du K» («Step K»),

qui en dérivent, servent d'indications empiriques de la capacité d'approvisionnement des sols à long terme et se trouvent en relation étroite avec la minéralogie de l'argile du sol et la classification génétique du sol. La valeur moyenne du «taux constant de K» de 0,22 méq./100 g de sol (fluctuations 0,01 à 1,95) laisse supposer que les sols ghanéens, avec des valeurs pH de 5, une teneur en argile de 10%, en carbone organique de 0,8% et qui dérivent de roches et de grès acides et de sables tertiaires, sont vraiment carencés en K.

Le (K_f) libéré en conditions de culture exhaustive était de 0,54 méq./100 g de sol, fluctuant de 0,28 à 2,23 méq./100 g et se trouvait en corrélation avec PBCK, la teneur en argile, le K total et le K libéré progressivement («Step K»). En moyenne, 19,6% du K additionné a été fixé, ce qui représente une corrélation élevée avec K_f . L'influence des facteurs du sol sur K_f et $K_{fixé}$ est de tendance semblable: les deux ont été plus élevés dans les sols avec un pH de 5 et 0,8% de C organique.

Les valeurs obtenues pour les différents paramètres de K révèlent le niveau de K des sols ghanéens; ces valeurs sont discutées et évaluées en détail en les comparant aux résultats trouvés par d'autres spécialistes des sols tropicaux. La forte influence de la roche-mère, de la minéralogie de l'argile, des précipitations et de la végétation sur la capacité d'approvisionnement en K et sur le pouvoir de fixation de K des sols tropicaux renforcent la nécessité d'évaluer la contribution des réserves en K à l'approvisionnement des plantes en cet élément pendant la période de culture.

Soil Mapping in Relation to the Use of Fertilizers in the Humid Tropics

F. Mouttapa, Regional Soil Resources Officer, FAO Regional Office for Africa, Accra/Ghana

Summary and Conclusions

Soil classification and soil surveys are not an end in themselves. They are meant to provide basic information for agricultural development. A basic requirement for this purpose is a sound evaluation of soil suitability for the various main crops, the soil limitations and the possible improvement of soil fertility through the use of fertilisers and related inputs.

Although very scattered, there is a great deal of research and experimental works on soil management, and fertiliser trials. However, the results of these studies are often contradictory and are not most of the time tied to specific soil and land characteristics. The net result is that a massive amount of research results cannot be correlated with the soil and land characteristics, and can therefore not be extrapolated to similar ecological sites within a country or a region.

In the absence of such knowledge on soil responses to management and fertiliser use, soil data and soil maps alone will not assist in making specific fertiliser recommendations to the farmer. However, until such knowledge is built up progressively, soil data and maps would be a valuable document for providing basic data for:

- estimating fertility status of the soil over large areas at village, district and regional level; and thus assist in the planning of fertiliser requirements;
- interpreting fertiliser trials and relating them to soil characteristics;
- calibrating of soil testing data;
- laying out of fertiliser trials and experiments on most representative soil sites;
- transferring of information and knowledge on fertiliser use between areas of similar soil conditions.

Introduction

About half of the uncultivated or sparsely cultivated land of the world, covering some 800 million ha, is estimated to occur in the humid tropics between the Tropic of Cancer and the Tropic of Capricorn, where the climatic conditions offer a high potential for crop production. These 800 million ha represent a substantially greater area than is now being cultivated in the tropics (*Drosdoff [1972]*).

If soil areas in the humid tropics that are most likely to respond to modern technology, and particularly to the use of fertilizers could be identified and if the most efficient uses of these soils were better understood, much more of this land could be successfully utilised for meeting the increasing food demand of the developing countries. Traditional farming systems in developing countries of the humid tropics of Africa

have maintained a fertility of the soil at a level sufficient for subsistence agriculture. However, under sustained crop production for a market economy, as necessitated by the demographic pressure and rapid socio-economic changes, the fertility of the soils of the humid tropics decreases rapidly and has to be maintained and improved through the use of fertilisers.

Although fertilisers have very rapidly been adopted by the small farmers, their use may be limited by cost and shortage of supplies. It is therefore essential to identify the most judicious doses of fertilisers to be recommended under various ecological conditions so as to avoid any undue wastage. This can be achieved by building at first a sound knowledge on the characteristics and distribution of soils suitable for agricultural production and on their response to various management techniques, including the use of fertilisers.

Since 1945, a great deal of soil mapping has been done in the world and more specifically in Africa by national, bilateral and international institutions. Presently in Africa, the general location of the major kind of soils are now known and it is unlikely that there are still many large areas of undescribed soils. There is, however, a huge correlation job in matching the several soil classification systems that have been used in the region and in relating the many agronomic experiments that have been done on the different aspects of soil management and fertiliser use to the common denominator, i.e. the characteristics of the soil.

1. Review of soil characteristics in relation to fertiliser use

The many factors which influence crop production through the use of inorganic fertiliser can be grouped under three main headings: soil – climate – management. It would be impracticable and probably meaningless to compare experimental conditions where the three groups of factors would be very different. Climate and management factors can be eliminated by grouping and comparing experiments located in sufficiently uniform climatic conditions and carried out with similar farming practices. The suitability of a soil for production of a specific crop or group of crops having similar requirements is evaluated on the basis of physical and chemical soil characteristics. Before considering the usefulness of soil classification and mapping in relation to fertiliser use, it would be appropriate to briefly review the individual soil characteristics influencing the use of fertilisers.

1.1. Soil reaction

The soil pH affects the availability of nutrients and hence the fertiliser requirements in various ways. For instance the availability of soil phosphorus and of applied superphosphate, as well as the ability of roots to absorb phosphorus are sharply reduced in acid soils. At pH values below 5.5 fixation through combination with iron and aluminium and with their hydrous oxides becomes increasingly important. For most nutrients, availability is at a maximum when the soil pH is between 5.5 and 7.0. In very acid soils, fertilisers are less effective because the growth of plants is reduced by the toxic amount of aluminium and manganese released by the clay particles.

1.2. Soil texture and structure

Soil texture and structure regulate the availability of air/water in the soil for plant growth and therefore the requirement in nutrients. Broadly speaking, clay soils store greater quantities of water and nutrients, than sandy ones, but may give up their nutrients more slowly than light textured soils; since the latter are low in clay, in humus, and in cation exchange capacity they have a low retention capacity for water and nutrients and are sooner exhausted than the heavier soils. In the humid tropic soil texture in conjunction with the rainfall would influence the availability of plant nutrients incorporated to the soil through fertilisers. Thus, coarsed texture soils will be subject to excessive leaching and applied fertiliser may be removed in drainage waters before being used by crop unless applied in adequate amounts and in due time.

1.3. Soil moisture

High or low moisture regime in the soils affects adversely plant growth; it has been observed that absorption of nitrogen and potassium by plants is reduced by high moisture tensions and that utilisation of applied fertilisers depends largely on an adequate moisture supply.

1.4. Soil depth

All other soil characteristics remaining the same, shallow soils will have less available plant nutrients than deeper soils. With adequate moisture regime, fertiliser requirement in a shallow soil may be higher than in similar, but deeper soil.

1.5. Soil organic matter

The portion of the organic matter in the soil that has reached the humus stage contributes most to the moisture holding and the nutrient retaining capacity of the soil. Most of the nitrogen and sulphur in soils and about half of the phosphorus in surface soils is present in organic compounds. Where little or no inorganic fertiliser is used crops are dependant on mineralisation of this organic matter for their supplies of nitrogen and sulphur and for part of their phosphorus. Even where large amounts of inorganic fertilisers are used, release of inorganic nutrients from soil organic matter is often important as mineralisation occurs throughout the year, although at ranging rate (*Greenland [1972]*).

Organic matter plays an important role in relation to the retention of cations, calcium, magnesium, potassium, ammonia in soils due to the presence of carboxyl group. In most Oxisols or Ferralsols (*FAO/UNESCO*) of the humid tropics, the ability of the inorganic colloids to retain cations is low and decreases with pH. In such soils, the contribution of the organic matter to the exchange capacity is extremely important, particularly when using inorganic fertilisers. Organic matter normally carries about 200 meq of carboxyl groups per 100 g (*Greenland [1972]*). Although their degree of dissociation decreases with pH, the pKa values are in the range 4 to 6 so that in this pH range half of the carboxyl groups carry a negative charge. Thus 4% of organic matter in a soil of pH 5 can contribute 4 meq of cation exchange capacity per 100 g of soil. Although this is a low value, it is usually greater than the negative charge on the inorganic soil colloids, where these consist of kaolinic minerals and iron and aluminium dioxides.

1.6. *Clay minerals and cation exchange capacity*

The nature and type of clay minerals are related to the parent material of soil and to its modification by pedogenesis; they are not easily altered but they determine whether it is easy or difficult to maintain the chemical potential needed for high yields through the use of inorganic fertilisers. The negative charges on the clay give them their cation exchange capacity, i.e. their capacity to attract positively charged ions and to absorb them in such way that they can easily give up and are available to the plants. Kaolinite is the most common clay mineral which predominate in the normal, highly weathered soils of the humid tropics.

1.7. *Nitrogen*

Nitrogen in soil is largely in organic form; it is added to the organic supply in the soil through plant and crop residues (immobilisation); through biological decomposition organic nitrogen in the soil is progressively converted to the inorganic form (mineralisation). Under any system of sustained crop production these two processes tend to approach each other in magnitude so that mineralisation and immobilisation are in equilibrium (*Bartholomew [1972]*). At equilibrium, any amount added to the supply of organic nitrogen is essentially balanced by a like amount of decomposition. The total quantity of nitrogen in the soil remains unchanged. Therefore, when a part of the crop is harvested and removed from the land, equilibrium in organic matter can exist only if the nitrogen and organic matter are supplied from sources apart from the land area in question.

Available nitrogen for plant are among others influenced by the following soil/water factors (*Bartholomew [1972]*):

- Nitrate nitrogen absorption by plants from soil is closely related to water availability; it is negligible in soil zones where moisture conditions are low or are adverse for ion diffusion.
- Root penetration and development in the various soil horizons layers.
- Water movement and fluctuation in the soil profile.

1.8. *Phosphorus*

Inorganic phosphorus available to plant growth on tropical soils varies tremendously with the morphological properties of the soil, previous management and the local climatic environment. Savana soil subject to bush fallow rotation are generally low in total phosphorus and in their capacity to release available phosphorus; shortening of the fallow period has been responsible for increased incidence of phosphorus deficiency. Phosphorus fixation by the soil clay fraction and the amorphous hydrated oxides of iron and aluminium is specially rapid and strong on ferrallitic soils.

Rate of phosphorus loss from soils of the humid tropics is determined primarily by cropping intensity and erosion, leaching being slight except on very sandy soils. Gains depend entirely on amount of phosphorus added in manure or through inorganic fertiliser.

One of the main concern about phosphorus is its fixation with unavailable compounds which is considered unavailable to the plants. The extent to which phosphate ions brought to the soil by fertilisers are likely to be fixed depends on the intrinsic qualities of the soil itself and may vary considerably between different soils on the same area

according to their chemical and physical properties. The following factors seem to influence phosphorus fixation:

- a) the type of clay mineral and the total amount of clay in the soil – one to one lattice clay such as kaolin retains or fix more phosphate than an equal amount of 2:1 lattice clays such as montmorillonite. Clay soils are likely to fix or retain more phosphate than loams and sands,
- b) the presence of hydrous oxides of iron and aluminium increases phosphate fixation,
- c) soil reaction as indicated earlier.

1.9. Potassium

The amount of exchangeable potassium in soils, directly available to plants is related to the clay content and on the intensity of mineral decomposition. In soils rich in illite and montmorillonite there is evidence that part of the non exchangeable potassium might be available to plants.

The phenomena of 'interlayer fixation' of potassium as a reserve form is reported to occur only with illitic type of clay which are not common in soils of the humid tropics (*Boyer [1972]*). Therefore, in most of the soils of the humid tropics there will be little or no build up of potassium reserves by means of interlayer fixation; hence leaching of potassium fertilisers may be intense. A single large application of potassium fertilisers should therefore be avoided in soils devoid of illite.

It is generally accepted that the minimum requirement level below which the effects of lack of potassium appear is approximately 0.10 meq of exchangeable potassium per 100 g of soil. This amount must be adjusted with respect to the soil particle size distribution, the type of the absorbing soil complex, the nature of crop and the desired yield of the crop (*Boyer [1972]*).

Most of the research work stress the importance of the ratios of potassium to total exchange capacity, magnesium to potassium, calcium to potassium, and magnesium plus calcium to potassium, and of the equilibria that these ratios determine. The numerical values vary widely according to plant needs and the clay and silt content of the soil. However, a magnesium to potassium ratios of 3:1 seems to be favourable to the majority of the crops.

In Africa, the most severe deficiency are mentioned in the savanna belt on sandy, largely unsaturated soils of the humid intertropical regions; in the forest belt of the humid tropic potassium deficiencies appear only after many years of continuous cultivation after clearing the forest.

Potassium deficiencies are seldom found on cambisols or luvisols and other little developed soils of the semi-humid region. This holds true at least for Africa where the traditional farming system allows for fallow.

2. Soil characteristics used in soil classification and mapping relevant to fertiliser use

2.1. Basic soil units

Soil is a three dimensional body having depth, width and length. It is part of the landscape and as such is the result of the effects of climate and vegetation on a parent material over a period of time. In order to get an overall insight into the relationship

between different soils, groupings are made on the basis of soil characteristics, that is through soil classification. Soil properties used as differentiating criteria are selected to reflect processes of soil genesis and properties which are important for soil management purposes. As a result soil classification units can be used for planning purposes and for establishing a soil's agricultural potential.

The basic soil unit in a detailed soil study or survey is the soil series. It includes similar soil profiles developed under similar soil forming conditions, i.e. under a similar climate and vegetation from similar parent material, under similar conditions of relief and drainage, and of relatively similar age. The effect of these influence is reflected in the soil profile itself, so that an examination of the soils begins with an examination and study of the whole soil profile in the field and in the laboratory.

Soil series are differentiated mainly on the basis of significant variations in the morphological features of the soil profile.

These features include mainly the kind, thickness and arrangement of horizons, their structure, colour, and texture, their reaction, consistence, content of carbonates and other salts, their content of humus and mineralogical composition. A significant difference in any one of these properties in any one horizon may be the basis for recognising a different series.

The series can further be subdivided into phases according to the texture of the top soil, slope, drainage, soil depth, stoniness, indurated layer, concretionary horizon, salinity, or alkalinity.

The next highest unit in soil classification, used on maps of smaller scale, is the soil family, grouping series developed from a same parent material.

As it can be noticed from the above definition of soil families, series and phases, most of the important soil characteristics mentioned earlier in relation to the use of inorganic fertilisers are embodied in the description and analytical data given in the soil survey report, and reflected geographically by their distribution and extent indicated on maps.

At a higher level of generalization soils can be separated at great-group or sub group level. These units are based on the type of genetic horizons, base saturation, the presence of hard pans, the type of organic surface layers, and broad textural and drainage classes. Though the definitions of these units are much wider than those of series or families, they can be used for planning and management purposes at country and regional levels. With special reference to fertiliser use, soil groups or sub-groups may supply useful information. For instance, the broad subdivisions used for the *FAO/UNESCO* Soil Map of the World can supply data for determining a first approach to fertiliser application: Ferralsols require special attention for phosphorus supply since fixation phenomena are very prominent in these soils; soil fertility is a major limiting factor in Acrisols; Gleysols are susceptible to denitrification; surface layers in Planosols have extremely low base exchange capacities.

The fundamental aim of soil classification is to group together under a same denomination soils with similar characteristics at different levels of generalization. These different categories can then be used for drawing up soil maps which reflect the distribution of major soils. The basic soil units used for soil mapping purposes depend on the scale and detail of the map. Concurrently, the information which can be derived from these maps varies with the degree of precision and the density of observations required for the different mapping scales.

2.2. *Soil characteristics and the soil map*

Once the soils are characterized and grouped, the next step is to plot their extent and distribution in the landscape through the process of soil survey during which the soils are mapped. Soil survey may range from very detailed surveys, generally of relatively small areas, to broad reconnaissance surveys covering large areas in a short time. A detailed soil survey, e.g. of an agricultural development project or an agricultural research station or individual farm may be made and published at a scale from 1:10 000 to 1:25 000, and would show individual soils. The basic soil mapping unit of a detailed soil survey would be the soil series and possibly phases differentiated on the basis of surface soil texture, slope, depth, erosion, wetness, stoniness, gravel or pan layer.

A semi-detailed survey may be published on a scale ranging between 1:25 000 and 1:100 000. The basic soil mapping unit in such case would be soil association which 'is a group of defined and named taxonomic soil units (soil series or soil family), regularly geographically associated in a defined proportional pattern' (*USDA Soil Survey Manual [1951]*). The soil association is the most important concept for all soil surveys carried out at scale smaller than 1:25 000 for they reflect the complexity as well as the organization and distribution of the various basic soil units in a specific landscape.

Soil associations can also further be subdivided into more detailed mapping units by using phases. In this way, even soil maps on rather small scales can supply data that are of great importance in land use planning and for other practical purposes such as determining the requirement in fertilisers at regional, district or village level.

Reconnaissance soil surveys are made at scales ranging from 1:100 000 to 1:250 000. The mapping units used are associations of groups or sub-groups. Reconnaissance or detailed soil maps are accompanied by descriptions and analytical information on the physical and chemical characteristics of the soil units used in the grouping of the mapping legend. This information which is mostly of lasting value and, at different levels of generalization, can be interpreted in the light of current or future knowledge of farming techniques and the requirements of different plants.

Soil maps and the accompanying soil survey reports on the environment and the characteristics of the soil units contain basic data on those soil factors which influence the use of inorganic fertilisers as indicated earlier.

3. *Soil mapping in relation to the use of fertilisers*

3.1. *Correlation studies between crop yields, fertiliser use and soil conditions*

The characterization, taxonomic classification and mapping of soils are not an end in themselves. They are meant to provide information for agricultural development including the planning and use of fertilisers. Sound soil survey interpretation must be based on an evaluation of soil suitability for various crops, of soil limitations and of possible improvements through the use of fertilisers and other inputs.

Observations on crop growth and the results of fertiliser experiments are basic for evaluating the productivity of a soil. Vice versa, experimental results cannot be fully exploited and safely disseminated unless the characteristics and distribution of the soils are well known.

In areas of relatively advanced and standardised agricultural practices such as the developed countries of Europe or America, appropriate fertiliser and other recommendations can be given to the farmers through interpretation of routine soil analysis. Such advice is based not only on the characteristics of soils and the results of their analysis but on established correlations of soil characteristics with crop yield under different systems of management, in particular with various doses and types of fertilisers.

In the humid tropics of Africa, a large number of soil studies as well as an impressive amount of research have been undertaken. Experimental data on fertiliser trials, both in experimental centres and on farmers' fields, are plentiful. Unfortunately the results of these trials have seldom been related to the soil and land characteristics at the sites of the experiment. Therefore, it is at present very difficult, if not impossible, to establish correlation between crop yield, fertiliser trials and soil characteristics. In the absence of such information, as well as long range agronomic data on the building up of soil fertility under fallow and on the decline of plant nutrients during continuous cultivation on specific soils, it is not yet possible to give specific recommendations on fertiliser use on the basis of soil characteristics and soil maps alone.

3.2. *Soil series and fertiliser use*

In soil fertility projects which were carried out with *UNDP/FAO* assistance in several countries and under different ecological conditions, correlations of fertility experimental results, analytical data and soil properties were established at the soil series or family level and phases.

In Thailand an active programme on soil productivity evaluation of main representative soils is being carried out for several years. Field data on crop yields are collected in 8 major agricultural regions on 6 main crops. In each region, limited areas are selected where crop growing conditions (soils, climate, management) are sufficiently uniform. The yield data are collected on a few representative soils and statistically analysed.

In Africa, under the *West African Soil Correlation Committee for Soil Evaluation and Management* which has been established in 1972 under the sponsorship of *FAO*, the following two activities among others are being undertaken at national and regional level:

- a) Correlation to be worked out in Ghana, Nigeria, Senegal and Togo at the various fertiliser trial sites between soil series, crop yield, fertilisers doses and climate.
- b) Selection at regional level of major agricultural bench mark soil sites in view to promote and initiate experiment on soil management and fertiliser use on these sites.

Similar activities are proposed to be undertaken by the *Eastern African Soil Correlation Committee for Soil Evaluation and Management* which has been recently established within *FAO's* regional soils programme.

3.3. *Soil map as an aid for identifying the fertility status of soils*

Although, on the basis of small scale soil surveys it is not possible to prescribe the fertiliser doses for individual fields or individual farmers, it is possible to provide general indication on soil fertility status by drawing on the broad knowledge of the soils even though the grouping is made at high order of classification. For instance, it

may be safely assumed that Luvisols have a higher natural fertility than Acrisols, that Eutric units are more fertile than Dystric ones and that Mollic units are more productive than Orthic or Humic ones. Although in reconnaissance survey the soil mapping unit depicts only soil associations, the soil survey report gives detailed description and analytical data of the major soil series of families used in the association. This information enables a qualitative grouping of basic soil units in terms of soil fertility status and allows for an initial assessment of the requirements in fertilisers. A more precise idea on the soil fertility status and their possible response to fertilisers can be made on a particular parcel of lands with the help of a detailed soil map indicating the distribution of soil series and soil phases including topography, surface soil texture, drainage, etc.

3.4. *Soil map as an essential base for the lay-out of fertiliser trials and research*

Some of the first questions coming in the mind of any agronomist or agropedologist who has to undertake fertiliser trials at village, district, regional level are as follows:

- a) What are the soil formations in the area? which among them would be suitable for agricultural use under specific type of management? what are the geographical distribution and the extent of these suitable sites?
- b) How to locate the most representative soil sites for the fertiliser trials so as to be able to extrapolate over the largest possible area the results of the experiments?
- c) What are the characteristics of the soil at the site of the experiment so as to decide upon the most appropriate fertiliser treatments and the design of the trials on short and long term basis?

The answers to the above questions can be obtained from a soil survey report and maps, with or without the assistance of a soil surveyor, depending upon the scale of the available surveys.

In case of a reconnaissance map, the basic soil mapping unit is the association of soil series; in general, indications are given on the extent of the major soil series within each mapping unit as well as of their association. A full description of all the soil series and their characteristics are indicated in the soil survey report. Therefore, from a study of the soil survey report and the soil map it would be easy to determine the soils series which would be suitable for the required agricultural use. However, the assistance of a soil surveyor may be required to select the site of a specific soil series, since the same is not differentiated in a reconnaissance map. A detailed soil map which differentiates soil series, soil type and phase will provide answers to all the questions raised above.

Therefore, while soil maps (detailed or reconnaissance) will assist the agronomist to (1) identify the soil suitable for his needs and (2) site the experiment deliberately on the most representative soils, the physical and chemical characteristics of the selected soils will assist him in designing and planning the various fertiliser treatments.

An examination of the chemical characteristic of the soil may indicate for instance that potassium is often in sufficient quantity in many soils of the humid tropic in Africa; therefore it may not be necessary to include treatment with K; but it would be rather interesting to design the experiment in a such manner to see after how many years of cropping, under a specific management, potassium will become deficient.

The pH of a soil can decide upon the type of fertiliser to be used. In case of low pH soils, sulphate of ammonia may not be recommended. Soil texture in combination

with the intensity and frequency of rainfall may determine the time and frequency of fertiliser application – which may be included in the design – particularly in the case of nitrogen. Depending upon the soil acidity, the amount of the free iron and aluminium content in a soil, it may be possible to predict phosphorus fixation and plan the fertiliser trial design accordingly.

In the same manner, the law of minimum implies that the growth of a particular plant in a particular soil may be held up most by one particular requirement. This might be water, air, temperature, sunshine including a mineral nutrient. Clearly, if growth can be held up by lack of water, it may be of no use adding fertilisers to the soil, or if the plant is short of potassium; it is not going to be helped by adding phosphorus. Therefore careful experiment can be designed with the help of soil data and soil map to show to what extent a particular limiting factor can affect yield.

Therefore a pre-knowledge of the soil characteristics can assist a great deal in (1) eliminating a certain number of fertiliser trial treatments which may not be worth experimenting and (2) to design the trial for short term and long term fertiliser use in a specific soil under specific farming system.

3.5. Soil map as an aid interpret fertiliser trials

The interaction plant-soil-fertiliser in a given climate and soil management are very complex.

The result of fertiliser trials need to be interpreted, by taking into account the whole characteristics of the soils on the site of the experiments, and its environment, including the past and present land use, as well as the concept of balance between elements and the law of minimum based on the limiting factor. According to the concept of balance between elements, adding too much of one element may induce deficiency of another. These aspects need to be critically examined in the light of data and information available on soil survey report at soil series and soil phase level.

Also, the correlation between fertiliser trial results and soil characteristics may reveal the limiting factor which may be soil depth, the compaction of a soil horizon, the lack of moisture at a critical plant growth period, the high level of water table, the inadequacy of a mineral nutrient due to fixation or immobilisation.

Particularly, negative response to N, P, K need to be critically examined in the light of soil characteristics, air/water movement in the soil and past present land use before generalising the results to similar soil formations.

In some cases, an adequate interpretation of the results of fertiliser trials on the light of soil characteristics at soil series and phase level may assist in the adjustment or modification of the treatment and design of the fertiliser trials to be carried out on long term basis.

3.6. Soil maps as an aid for planning and executing soil testing programmes

The principle of using soil tests as a basis for fertiliser recommendations is based on the correlation established between crop yield and the amount of available plant nutrients in a specific soil, the latter being determined by soil test.

Apart from the soil's content of available major nutrients, N, P and K, the following properties of the soils which are identified and characterised in a soil survey report may influence crop responses, i.e. pH texture, structure, content of organic matter, permeability, pore volume, clay minerals, subsoil characteristics, etc.

The benefit of soil testing programme can be increased in areas covered by a detailed soil survey in the following way:

- a) knowledge of the characteristics of the surface soil and the subsoil make it possible to select the best available testing procedures adapted to specific soils,
- b) the most representative soil sites for field experiments required for calibrating the soil test results can be selected on the basis of soil maps,
- c) fertiliser recommendations based on soil test calibration can be extrapolated to similar soil sites,
- d) fertiliser requirements can be planned on the basis of soil test calibration and soil maps at village, district, regional level.

3.7. Soil map as an aid for exchange of knowledge on fertiliser use

Soil maps are a valuable document, for disseminating in a systematic manner knowledge progressively acquired on soil management and fertiliser trials; it would permit the transfer of knowledge and experience gained on a specific soil unit to a similar one as well as the exchange of knowledge between countries with similar soil and environmental conditions. Soil maps are an effective tool for speeding up knowledge on soil and fertiliser use with limited number of experiments and within a limited period.

Thus, the soil map can be of a great assistance to Soil Fertility and Extension Officers to advise farmers on fertility problems and fertiliser use on the basis of previous knowledge acquired on similar soils.

Literature cited

- Ahn, P. M.: West African Soils. Oxford University Press 1970.
- Aubert, G. and Tavernier, R.: Soil Survey. In: Soils of the Humid Tropics, National Academy of Sciences. Washington D.C., 1972.
- Bartholomew, W. V.: Soil Nitrogen and Organic Matter. In: Soils of the Humid Tropics. National Academy of Sciences. Washington D.C., 1972.
- Boyer, J.: Soil potassium, in: Soils of the Humid Tropics. National Academy of Sciences. Washington D.C., 1972.
- Corey, R. B. and Schulte, E. E.: Soil Testing and Soil Fertility Evaluation. Seminar on Tropical Soil Research. IITA, Ibadan, 1972.
- Drosdoff, M.: Soils of the Humid Tropics. National Academy of Sciences. Washington D.C., 1972.
- FAO: Fertiliser use: Spearhead of agricultural development. The State of Food and Agriculture. Rome, 1963.
- FAO: Key to Soil Units for the Soil Map of the World. Document AGL: SM/70/2. Rome, 1970.
- Greenland, D. J. and Dart, P. J.: Biological and organic aspect of plant nutrition in relation to needed research on tropical soils. Agricultural Research Seminar on Tropical Soils, IITA, Ibadan, 1972.
- Hauser, G. F.: Guide to the calibration of soil tests for fertiliser recommendations. Soils Bulletin No. 18. Rome (1972).
- Moutapa, F.: Soil aspects in the practice of shifting cultivation in Africa and need for a common approach for Soil and Land Resources evaluation. FAO Seminar on Shifting Cultivation. Ibadan, 1973.
- USDA Soil Survey Staff: Soil Survey Manual, USDA Agricultural Handbook No. 18. Washington (1951).
- Vink, A. P. A.: Planning of soil surveys in Land Development. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication No. 10. Wageningen (1963).

Cartographie des sols en relation avec la fertilisation minérale sous les tropiques humides

F. Moutappa, Regional Soil Resources Officer, FAO Regional Office for Africa, Accra/Ghana

Version abrégée

Environ la moitié des 800 millions d'hectares peu ou pas cultivés du monde se trouvent, estime-t-on, sous les tropiques humides. Ces terres, à condition de les exploiter de manière plus efficace, pourraient contribuer davantage à couvrir les besoins alimentaires croissants des pays en voie de développement. Depuis 1945, on a effectué de nombreux relevés cartographiques des sols dans le monde, en particulier en Afrique où il sont maintenant connus et où il ne reste probablement plus beaucoup de grandes étendues non encore décrites. Toutefois, un énorme travail de mise en corrélation subsiste en vue de valoriser les différents systèmes de classification des sols ainsi que les nombreux essais portant sur les systèmes d'exploitation et sur l'emploi des engrais, dont le dénominateur commun sont les caractéristiques du sol. L'auteur passe en revue l'influence des caractéristiques pédologiques sur l'emploi des engrais sous les tropiques humides, et expose l'utilité de la classification des sols et de la cartographie dans l'utilisation des engrais. Il discute les caractéristiques pédologiques suivantes en relation avec l'emploi des engrais: réaction du sol – texture et structure du sol, humidité – profondeur du sol – matière organique – minéraux et capacité d'échange du sol – azote, phosphore et potassium du sol. Grâce à une sélection des propriétés du sol (utilisées comme critères de différenciation pour la classification et la cartographie des sols), on a pu faire ressortir les processus de pédogénèse et les propriétés du sol, facteurs importants pour l'exploitation de ceux-ci. Ainsi la classification des sols peut être utilisée à des fins de planification, pour établir le potentiel agricole d'un sol. Dans une étude pédologique détaillée, on définit comme unité de base la série de sols qui se différencie par des variations significatives dans ses aspects morphologiques et dans ses caractéristiques physiques et chimiques du profil. Les séries sont ensuite subdivisées en phases, qui se caractérisent par la texture de la couche supérieure du sol, la pente, le drainage, la profondeur du sol, la nature (pierreuse, couche durcie, etc...). La famille est l'unité la plus élevée que l'on utilise dans la classification des sols ou pour les cartes de sols de petite envergure. A un niveau supérieur de généralisation, les sols sont divisés en grands groupes ou sous-groupes. Bien que les définitions de ces unités soient beaucoup plus vastes que celles de séries ou des familles, elles sont tout de même utilisables à des fins de planification et d'exploitation au niveau d'un pays ou d'une région.

Ainsi donc, les familles de sols, les séries, les phases intégrant la plupart des caractéristiques du sol exercent une influence sur l'emploi des engrais organiques; leur distribution géographique et leur extension sont décrites sur la carte des sols sous différents groupements de cartographie des sols en fonction de l'échelle et de l'intensité du plan.

La classification et les plans de sols ne constituent pas une fin en eux-mêmes, mais sont destinés à fournir une information de base pour le développement agricole. Pour ceci, il faut évaluer soigneusement ces travaux préalables en déterminant la vocation du sol pour les cultures les plus importantes, ses facteurs limitants et les possibilités d'amélioration de la fertilité moyennant l'emploi des engrais.

Il est fondamental d'observer la croissance des cultures et de tenir compte des résultats des essais de fertilisation pour évaluer la productivité d'un sol. Inversement, on ne peut tirer un profit maximum des résultats expérimentaux et disséminer ceux-ci judicieusement, si l'on ne connaît pas bien les caractéristiques et la distribution des sols.

Bien que très étalés, il existe dans le continent africain de nombreux travaux de recherche et d'expérimentation sur l'exploitation des sols et les essais de fertilisation, qui ne sont que rarement liés à des sols ou à des caractéristiques de terres spécifiques.

Les caractéristiques et les cartes des sols ne sont qu'une aide pour divulguer des recommandations spécifiques aux agriculteurs que si ces derniers possèdent de meilleures connaissances sur la dynamique et l'exploitation du sol en conditions de culture continue. En attendant jusqu'à ce que de telles connaissances soit progressivement acquises, l'auteur indique de façon détaillée dans cette étude les voies par lesquelles les données et les cartes de sols peuvent fournir des indications de base pour:

- l'estimation des niveaux de fertilité du sol sur de grandes surfaces au niveau du village, district et des régions, qui permet d'assister les cultivateurs dans la planification des besoins en engrais;
- l'interprétation des essais de fumure en relation avec les caractéristiques du sol;
- la comparaison des résultats d'essais;
- la mise en place d'essais de fumure dans les sites les plus représentatifs;
- la vulgarisation de l'information et des connaissances sur l'emploi des engrais entre les régions dont les conditions de sol sont analogues.

Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés

J. Boyer, Ingénieur Agronome INA, Directeur de Recherches, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy/France

Résumé

Le potassium échangeable, fixé sur des sites d'échange préférentiels peu nombreux du complexe absorbant, n'est pas une donnée statique dans les sols des régions intertropicales; il se régénère à partir des réserves de potassium non échangeable.

Toutefois, le potassium de ces réserves ne peut être mobilisé que très lentement et très partiellement, sans doute plus par l'altération des minéraux que par la libération du potassium rétrogradé. Quant au potassium apporté par les engrais, il est soumis à une lixiviation intense et ne peut se fixer dans la majorité des sols que pour autant qu'il reste des sites d'échange disponibles.

1. Introduction

Dans les régions tropicales, on trouve évidemment un certain nombre de sols carencés en potassium dès la première culture: il suffit de citer quelques cas africains: «tache» de Patar au Sénégal [13], savanes de la basse Côte d'Ivoire [18], sols sur sables côtiers utilisés pour le cocotier au Dahomey, Togo et Côte d'Ivoire [34], certains sols sur basalte de Tanzanie [46] et du Cameroun [71], etc., pour se rendre compte que c'est une éventualité toujours à redouter, mais somme toute portant sur des superficies relativement modestes.

Il en est de même pour les sols très riches en potassium que l'on peut cultiver sans apport d'engrais potassiques, sans interruption pendant des années, et même parfois des dizaines d'années: il en existe un certain nombre d'exemples cités de par le monde, mais ces sols très riches sont encore plus rares que les premiers.

Habituellement, on constate sur la très grande majorité des sols cultivés le schéma suivant: soit parce qu'il contient normalement assez de potassium, soit parce qu'il a été provisoirement enrichi par l'incinération de la végétation, le sol peut, lors des premières années, subvenir aux besoins des cultures après défrichement; puis un déficit en potasse apparaît au bout de quelques années de cultures [81], la troisième année, assez souvent s'il s'agit de plantes sarclées (*Bouchy* [16] en Côte d'Ivoire, *van Wanbeke* [72] au Zaïre), vers la dixième année sur une plantation d'éloéis établie sur défriche forestière dans un sol relativement pauvre du Nigéria occidental [68].

Si on essaie d'entrer un peu plus dans le détail, on s'aperçoit que :

- la plante absorbe parfois nettement plus que la différence mesurée de potassium échangeable avant et après cultures (*Heathcote [40]* au Nord-Nigéria, *Velly [74, 75]* sur rizières à Madagascar, *Acquaye et al. [1]* sur sol à cacaoyer du Ghana, etc.),
- l'apparition des déficiences et carences est accélérée par l'intensification des cultures, c'est-à-dire à la fois par la réduction ou la disparition des jachères et par l'introduction de variétés à haut rendement, donc plus exigeantes que les variétés rustiques,
- la mise en jachère pendant quelques années des sols déficients suffit le plus souvent à retarder, sinon «sine die», du moins à une échéance difficilement prévisible l'apparition des déficiences ou carences définitives dans le sol; ce «repos» du sol sous végétation naturelle suffit à rétablir une alimentation potassique normale des cultures,
- à partir du moment où on cherche à supprimer la jachère ou à réduire considérablement sa durée, les apports de potasse au sol se révèlent absolument indispensables; ceux-ci sont nécessaires si l'on veut tirer le meilleur parti possible des variétés à haut rendement.

2. Le potassium échangeable, les réserves potassiques du sol et les plantes cultivées

2.1. Le potassium échangeable

Malgré des inconvénients reconnus, de nombreux auteurs ayant signalé qu'il était loin de rendre compte de la totalité de l'alimentation potassique des plantes cultivées, le potassium échangeable est une donnée très couramment utilisée dans la pratique agronomique habituelle; outre qu'il est facile à mesurer, il paraît bien représenter la forme du potassium la plus facilement accessible aux racines et, en définitive, il se relie assez bien aux disponibilités immédiates du sol en cet élément.

Présent sur le complexe absorbant, le potassium échangeable occupe, contrairement à la théorie de *Gouy*, un certain nombre de sites préférentiels [10], en plus des sites banaux d'échange où il est en compétition avec les autres cations du sol. En ce qui concerne les régions tropicales, *Mohinder Sing [51]* pense que sur les sols à hévéa de Malaisie (sols ferrallitiques et alluviaux, tous acides), le potassium est retenu très fortement sur 0 à 2,5% des sites d'échange contre tout déplacement par les autres cations de la solution du sol; par contre, 30 à 50% des sites d'échange peuvent être occupés indifféremment par l'aluminium, le magnésium et le potassium; enfin les sites d'échange restant, environ 50%, sont occupés préférentiellement par l'aluminium et ne sont en aucune façon disponibles pour le potassium.

Quant aux teneurs du sol en potassium compatibles avec les plantes, on s'accorde en général sur les limites inférieures suivantes [19]:

- le potassium doit représenter au moins 2%, parfois 2,5%, de la capacité d'échange de bases, ou de la somme des bases échangeables dans le cas d'un sol convenablement saturé,
- les teneurs du sol inférieures à 0,10 méq. pour 100 g de sol engendrent dans la plupart des cas des déficits importants de récolte et souvent des carences; ce chiffre

de 0,10 méq. pour 100 g devant être affecté d'un coefficient 0,7 et 2 respectivement dans le cas des sols très sableux (moins de 10% d'argile) et très argileux (plus de 70% d'argile),

- le seuil de réponse des plantes cultivées aux engrais potassiques s'échelonne habituellement entre 0,15 et 0,35 méq./100 g de potassium échangeable dans la plupart des sols tropicaux.

Dans la pratique, les choses ne se passent peut-être pas aussi simplement que ces trois «règles» voudraient le suggérer; il faut aussi tenir compte de la vitesse de passage du potassium du complexe absorbant vers la solution du sol lorsque celle-ci est appauvrie par les prélèvements des racines; or il s'agit ici d'une donnée mal connue, particulièrement dans les sols tropicaux.

La teneur en éléments fins du sol pourrait être l'un des facteurs qui influent sur cette vitesse de transfert: aussi *Forestier* [32] module-t-il de la façon suivante les teneur-limites du sol au-dessous desquelles se manifeste une carence aiguë en potassium pour le *Coffea canephora*, var. *Robusta*, dans les sols ferrallitiques moyennement désaturés de la République Centrafricaine:

Argile + Limon	Teneur-limite en K échangeable
10%.....	0,05 méq./100 g
35%.....	0,10 méq./100 g
70%.....	0,40 méq./100 g

Un certain nombre de cations peuvent inhiber les mouvements du potassium échangeable sur le complexe absorbant; c'est le cas de l'ammonium [30, 77], d'où, sans doute, les diminutions de potassium échangeable constatées après une fumure au sulfate d'ammoniac d'une bananeraie de Guinée [27]. Les hydroxydes de fer et d'aluminium pourraient occulter les sites d'échange du potassium [8].

Enfin, il faut faire une place spéciale à l'aluminium dans les sols acides (pH < 5,2), où cet élément tend à se mettre sous forme cationique; outre qu'il occupe alors des sites potentiels du potassium, sa présence en diminue grandement la mobilité: cette action fut depuis longtemps reconnue dans les sols tempérés [44, 78], mais elle paraît aussi être importante dans les sols tropicaux souvent affectés d'une réaction fort acide [50, 64, 67]; c'est en raison de la présence d'aluminium échangeable que *Stephens* [66] et *Forster* [33] considèrent que les sols de l'Ouganda de pH inférieur à 5,2 sont «potentiellement» déficients en potassium lorsqu'ils contiennent moins de 0,46 méq. de potassium échangeable pour 100 g de sol; si les engrais potassiques ne «marquent» pas toujours la première année, ils seront à coup sûr hautement bénéfiques pour la culture suivante.

Lorsque le sol est alcalin, cas assez rare dans les sols tropicaux, le calcium pourrait jouer un rôle analogue à celui de l'aluminium [12].

Une autre condition d'application des trois «règles» du potassium échangeable est le respect des équilibres fondamentaux entre le potassium échangeable et les autres

bases échangeables en particulier en ce qui concerne les rapports $\frac{Mg}{K}$ et $\frac{Ca + Mg}{K}$: leurs

valeurs sont malheureusement assez variables selon les plantes et les types de sol;

A titre indicatif, voici quelques limites [19]:

Nature de la culture	Seuil inférieur	Rapport	Seuil supérieur
Banier	4	$\frac{Mg}{K}$	25
Caféier Robusta	2,1	$\frac{Mg}{K}$	3,8, uniquement si $K < 2,5\%$ de S.B.E.
Cotonnier	3	$\frac{Mg}{K}$?
Banier	?	$\frac{Mg + Ca}{K}$	40 à 50
Caféier Robusta	18	$\frac{Mg + Ca}{K}$	40 (?)

Toutefois, lorsque les sols sont très mal fournis en bases, ces équilibres n'ont pas grande signification, tout apport extérieur (cendres végétales, engrais,...) modifiant totalement la proportion des éléments présents dans le sol.

Enfin, il existe une dernière restriction, celle de la physiologie de la plante; ainsi, en sol engorgé d'eau, le caféier Robusta souffre d'une carence en potassium et d'un excès de calcium et de magnésium bien que l'analyse du sol ne révèle rien d'anormal dans la répartition de ces éléments (*Culot et van Wanbecke [24]* au Kivu, *Forestier [32]* en République Centrafricaine); de même dans les cas, assez rares toutefois, où la plante s'approvisionne en potassium de préférence à partir des horizons profonds (vers 50 cm dans l'exemple signalé par *Farina et Graven [29]* en Afrique du Sud), on conçoit que la détermination du potassium échangeable faite normalement sur la partie supérieure du sol n'ait plus aucune signification.

2.2. Les réserves potassiques du sol

Le potassium échangeable ne constitue qu'une petite partie de la totalité du potassium contenu dans le sol (extrait par fusion alcaline ou attaque fluoperchlorique), sauf dans les sols purement organiques où il peut représenter la totalité du potassium [83]. En pays tempéré, on admet généralement que le potassium échangeable ne fait que 1 à 2% du potassium total dans beaucoup de sols non humifères bien que cette proportion puisse varier considérablement suivant les types de sols [8].

On connaît relativement peu de chiffres sûrs pour les régions tropicales:

- *Velly [75]* cite une rizière de Madagascar où il y a 0,41% de potassium échangeable par rapport au potassium total: $K \text{ échangeable} = 0,14 \text{ méq./100 g}$, $K \text{ total} = 34 \text{ méq./100 g}$ de sol.
- Analysant des sols de Haute-Volta, les laboratoires de l'ORSTOM ont obtenu quelques chiffres dont on trouvera ci-dessous ceux qui correspondent aux horizons supérieurs des sols étudiés:

	Profondeur cm	K échangeable fraction 0-2 mm méq./100 g	K total terre fine + refus méq./100 g	K échangeable K total %
Sol ferrallitique jeune sur migmatite	0-14 (A ₁)	0,14	23,75	0,58
	30-40 (B)	0,11	22,53	0,18
Vertisol	0-10 (A ₁)	0,15	15,90	0,90
	40-50 (B)	0,20	17,62	1,13
Brun Eutrophe appauvri	0-30 (A)	0,05	19,23	0,26
Ferrugineux tropical planosolique	0-10 (A ₁₁)	0,09	34,21	0,29
Solonetz	0- 4 (A)	0,26	35,91	0,72
	4- 7 (A)	0,15	33,78	0,44
	7-11 (A)	0,11	32,91	0,33

- En ce qui concerne les sols ferrallitiques évolués fortement désaturés où aucun minéral potassique de la roche mère n'apparaît, même à l'état de traces, dans les horizons supérieurs des profils, il pourrait paraître normal de trouver de faibles réserves en potasse non échangeable. Or, au Gabon, des sols ferrallitiques jaunes, fortement désaturés, formés sur schistes pélitiques, contiennent assez souvent dans les horizons A et B en moyenne 0,5 à 1% de potassium échangeable par rapport au potassium total.*
- Tous les cas sont possibles: ainsi des sols ferrallitiques humifères saturés, très peu épais (40 à 60 cm), sur calcaire karstique de l'île de Lifou (Iles Loyauté) ont peu de réserves potassiques, le potassium échangeable formant 10 à 50% suivant les cas du potassium total (*Tercinier*, communication personnelle); il s'agit, il est vrai, d'un sol dont la fraction 0-2 microns est à peu près exclusivement composée d'hydroxydes de fer et d'alumine. On peut ajouter que certains andosols du Pacifique auraient des réserves potassiques fort maigres.

Si on excepte des cas particuliers qui, sans être absolument exceptionnels, ne semblent se rencontrer que sur des superficies restreintes, on peut penser que la majorité des sols tropicaux contiennent des réserves potassiques beaucoup plus importantes, et de très loin, que ce qui est analysé sous le nom de potassium échangeable.

On sait qu'en pays tempéré, le sol possède un certain pouvoir tampon pour le potassium échangeable, et qu'après un prélèvement le sol tend à recouvrer une valeur d'équilibre avec les autres bases échangeables [11]. Cette valeur d'équilibre ne paraît avoir été que rarement déterminée en milieu tropical, mais de très nombreux auteurs ont souligné que le potassium non échangeable, donc les réserves du sol, pouvait intervenir dans la nutrition des plantes [1, 6, 33, 49, 61, 76, 82].

On peut se poser la question de savoir comment la plante peut extraire ce potassium des réserves. Il paraît certain que les racines arrivant au contact d'un minéral sont

* Dans ce cas précis, le potassium total a été déterminé après extraction par la méthode «triacide» (mélange d'acides nitrique, sulfurique et chlorhydrique). Les résultats sont donc un peu inférieurs à ceux de l'attaque fluoperchlorique.

capables de dissoudre certains éléments minéraux qui leur sont utiles [8]; toutefois, cette hypothèse n'est que très partiellement retenue pour expliquer les prélèvements faits aux dépens des formes non échangeables; on pense plutôt à une transformation dans le sol qui, à l'image de ce qui se passe dans les pays tempérés, engendrerait du potassium échangeable à partir des réserves.

3. Transformation du potassium des réserves en potassium échangeable

3.1. La rétrogradation du potassium et sa libération

En plus de sa fixation sur les sites d'échange du complexe absorbant, le potassium présent dans la solution du sol peut être soumis à un autre phénomène, la rétrogradation.

On sait que si l'on fournit au sol du potassium soluble, l'augmentation du potassium échangeable cesse à partir d'un certain degré de saturation: 4% dans les sols tempérés de France [21], 1,11% sur les sols de l'Ontario canadien [48], 3% sur des oxisols de la Trinidad contenant, en plus de la kaolinite, de la muscovite et de petites quantités d'illite, de montmorillonite et de vermiculite [2].

Le potassium pénètre alors à l'intérieur des feuillettes argileux grâce à la similitude des rayons ioniques du potassium deshydraté et des cavités hexagonales des minéraux 2/1 [55]; il s'y ajoute pour l'illite et la vermiculite une substitution dans les couches tétraédriques des réseaux [28, 58, 62]; cette pénétration du potassium s'accompagne d'une concentration du réseau argileux dont l'épaisseur peut se réduire de 15,6 à 10,8 Å [8]. Le phénomène inverse, c'est-à-dire une libération du potassium, a lieu lorsque le milieu extérieur s'appauvrit en potasse; il se produit toutefois beaucoup plus lentement que la rétrogradation [83].

Un certain nombre de facteurs agissent sur rétrogradation et libération du potassium:

a) La nature des minéraux argileux [28]

La rétrogradation est nulle pour les micas et les kaolinites, relativement faible pour les montmorillonites, variable suivant les illites où elle est surtout importante chez les illites expansives, très forte pour les vermiculites.

Or si quelques sols tropicaux comme les vertisols et les sols bruns eutrophes sont à dominance de montmorillonite avec une certaine quantité d'illite, les autres possèdent une fraction colloïdale surtout composée de kaolinite avec fort peu d'autres types d'argile, en particulier d'illite, les sols ferrugineux tropicaux étant à ce point de vue un peu plus favorisés que les sols ferrallitiques. Il existe évidemment quelques exceptions de faible extension: oxisols de la Trinidad [2, 76], certains sols ferrallitiques sur schiste calcaire du Congo-Brazzaville [14], alfisols à montmorillonite de la région cacaoyère d'Itabuna au Brésil [23], etc. Mais dans la plupart des sols on constate que les phénomènes de rétrogradation et de libération du potassium sont à peu près nuls dans les sols tropicaux, tandis que la lixiviation des engrais apportés est intense [15, 29, 38, 39, 41, 45, 47, 61, 66, 72, 74], les rares cas de fixation de potassium s'étant produits sur des sols à caractères vertiques ou plus rarement andosoliques [35, 39, 49].

b) La nature du cortège cationique

Un certain nombre de cations comme l'aluminium, l'ammonium, le coésium, le rubidium, etc., sont capables de provoquer la fermeture des réseaux argileux et d'empêcher ultérieurement la pénétration du potassium. Le calcium, par contre, la favorise, au moins tant que le pH ne dépasse pas la neutralité, sans doute en partie parce qu'il déplace l'aluminium du complexe absorbant et le précipite [28]. Or, on sait que les sols tropicaux, surtout dans les régions humides, sont souvent fort acides et ont un complexe absorbant riche en aluminium et pauvre en calcium. On peut donc prévoir de ce fait que les sols ferrallitiques seront peu favorables au phénomène de rétrogradation.

c) Les alternances de dessiccation et d'humectation

Une alternance de dessiccation et d'humectation a pour effet de modifier la répartition du potassium entre les espaces interfeuilletés et les surfaces externes à l'équilibre, mais aussi elle paraît accélérer l'établissement de cet équilibre. En tout cas, les dessiccations, alternant ou non avec des réhumectations, peuvent aussi bien favoriser la fixation dans des sols récemment enrichis en K que la libération dans les sols pauvres ou appauvris [8].

Ce phénomène est bien connu dans les régions tempérées sous le nom d'effet *Attoe* [4, 5]; or, la fixation par rétrogradation se fait en condition sèche sur la montmorillonite (pénétration des ions K deshydratés dans les cavités hexagonales) et principalement en condition humide sur l'illite et la vermiculite par suite de la prédominance des processus de substitution [28]. En milieu appauvri en potassium, une inversion de l'hydratation du sol provoquera le phénomène inverse, c'est-à-dire une libération.

Quelques cas de rétrogradation et de libération importantes du potassium furent attribués à ce mécanisme dans les sols de la Trinidad [76], mais ils semblent relativement rares dans les sols tropicaux presque toujours à dominance de kaolinite: ainsi *Jaijebo* [42], étudiant à ce point de vue les sols du sud-ouest du Nigéria, trouve peu de différences en potassium échangeable entre échantillons humides, séchés à l'air et séchés au four; cinq seulement ont présenté des différences significatives d'importance pratique pour l'utilisateur, bien qu'elles soient sans commune mesure avec ce que l'on trouve dans les pays tempérés.

Ahmad et Davis [2] constatent d'ailleurs que sur un oxisol de la Trinidad (contenant un peu d'illite, de montmorillonite et de vermiculite) des cycles répétés d'humectation et de dessiccation n'ont aucune influence sur la rétrogradation du potassium pourtant relativement forte dans ce type de sol (jusqu'à 340 ppm de K en laboratoire).

De cet exposé on peut tirer la conclusion qu'il est peu probable que les phénomènes de libération du potassium rétrogradé jouent un rôle important dans la fourniture de potassium non échangeable aux plantes cultivées dans la très grande majorité des sols tropicaux, sauf, bien entendu, cas particuliers plus ou moins exceptionnels.

3.2. L'altération des minéraux du sol

Ainsi qu'on l'a vu dans les exemples précédemment cités, le sol possède 99% de son potassium sous forme non échangeable et l'on peut concevoir que l'un des réservoirs

de cet élément est constitué par les minéraux en voie d'altération présents dans le sol. En France, un granite concassé, pourtant riche en quartz (42,6%) mis dans des cases lysimétriques, a cédé à l'eau de drainage, chaque année l'équivalent de 32 kg de K_2O par hectare, soit environ 1 pour 10 000 de son potassium total; ces résultats ayant été acquis sur 30 ans [8].

On peut donc supposer que dans les régions tropicales où le climat est particulièrement agressif un tel phénomène se manifesterait avec intensité. Ceci est particulièrement vrai dans les sols jeunes sur cendres volcaniques ou les sols anciens saupoudrés de cendres volcaniques; l'altération des minéraux y fournit chaque année une certaine quantité de potassium directement utilisable par les cultures [49, 63].

Evidemment, cette décomposition des minéraux existe aussi sur les sols dérivés de roches plutoniques, bien qu'elle soit moins intense: elle est attestée par *Aubert* [6], qui cite le cas de plantations de bananiers au Mayumbe (Congo-Brazzaville) où ces plantes semblent s'alimenter en grande partie au dépens des cristaux de muscovite altérée, nombreux dans le sol; *Velly* [74] indique que dans des sols hydromorphes de Madagascar, le taux de potassium échangeable du sol ne varie pas après les prélèvements faits par une culture de riz; même constatation faite par *Richard* [59, 60] après plusieurs années de culture cotonnière à Bouaké en Côte d'Ivoire.

Malheureusement, au fur et à mesure que le sol évolue et vieillit, les minéraux potassiques issus de la roche mère sont de plus en plus rares et les ressources en potasse obtenues par leur altération progressive deviennent de plus en plus faibles [49].

C'est ainsi que, si certains sols ferrallitiques de l'Ouganda ont pu porter quatorze cultures successives en sept ans sans montrer de baisses de potassium échangeable trop accusées, d'autres commencent à devenir sérieusement déficients [33].

Ce dernier exemple, ainsi que celui des sols du Gabon cités dans la première partie de cet exposé, amène à se demander quelle est la nature des réserves potassiques de ces sols ferrallitiques fortement évolués, souvent remaniés, où les seuls minéraux résiduels provenant de la roche mère sont l'ilménite, la magnétite et le zircon; il y existe assez souvent un peu d'illite, mais celle-ci est en proportion tellement faible (probablement 1% de la fraction 0-2 microns) qu'on hésite à lui attribuer un grand rôle en ce domaine. A l'image du phosphore, ce potassium se trouve-t-il inclus dans des concrétions ou des minéraux secondaires?

La question reste sans réponse.

3.3. *Essai de synthèse. Pouvoir de régénération du sol pour le potassium échangeable*

Quel que soit le mécanisme invoqué, il est incontestable que le sol possède la propriété de reconstituer au moins partiellement son stock de potassium échangeable à partir des réserves.

3.3.1. *Limites du pouvoir de régénération du sol*

Il existe un certain nombre d'exemples où plusieurs cultures successives n'entraînent pas de baisse des teneurs en potassium échangeable [25, 59, 60].

Mais dans les sols les plus habituels on assiste à une baisse lente du taux de potassium échangeable et les déficiences peuvent apparaître au bout de quelques années de cul-

tures sarclées où lixiviation et érosion ajoutent leurs effets à celui des prélèvements des cultures (*van Wambeke [72]* à Yangambi au Zaïre, *Bouchy [16]* en Côte d'Ivoire, *Wild [79]* en Nigéria, *Velly [73]* sur rizières des hauts plateaux de Madagascar); dans le cas d'une rotation mil-arachides-engrais verts poursuivie pendant 8 ans au Sénégal, la teneur en potassium échangeable passe de 0,09 à 0,05 méq./100 g de sol [17], tandis que sur les sols nettement plus riches du nord de Tanzanie une succession de cultures et de jachères pâturées entraîne une diminution moyenne de 0,12 méq. par an calculée sur 11 ans pour un sol ayant au départ 3,4 à 3,9 méq. de potassium échangeable pour 100 g de sol [3].

S'il s'agit de cultures établies sur défriches forestières et bien protégées par une plante de couverture, donc avec des pertes très faibles par érosion et lixiviation, ces déficiences ne se manifestent guère avant une dizaine d'années: ainsi *Turner [79]* constate qu'au Sabah, l'épuisement du potassium du sol ne se manifeste que sur les palmiers âgés et jamais sur les jeunes, et *Tinker et Smilde [68]* calculent qu'au Nigéria occidental de sévères carences apparaîtront seulement vers la treizième année après plantation. Il serait possible de multiplier ces exemples.

Une récupération à partir des réserves du sol se produit après cet «épuisement» du sol en potasse; cela paraît évident dans l'exemple tiré du Sénégal où il n'est pas possible que les plantes n'aient consommé en 8 ans que 0,04 méq./100 g de potassium, même si l'on tient compte des faibles quantités d'engrais apportées un an sur deux. *Heathcote [40]* constate d'ailleurs qu'une culture de maïs à Samaru (Nigéria du Nord) prélève l'équivalent de 0,10 méq./100 g, soit à peu près ce que contenait en potassium échangeable la tranche supérieure du sol avant culture; malgré cela, la terre n'a pas été complètement «vidée» de potassium échangeable par cette culture.

Il n'en reste pas moins vrai qu'au bout d'un certain nombre d'années, variable suivant le type de culture et le sol, des déficiences, et même des carences, apparaissent.

3.3.2. Vitesse de régénération du potassium échangeable. Schéma de Beckett

a) Schéma de Beckett [11]

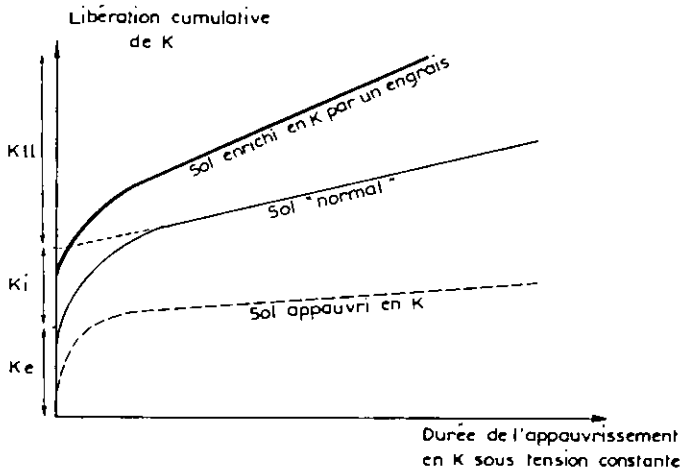
Cet auteur pense que l'on peut séparer le potassium utilisable par les plantes en trois grands groupes:

- le potassium échangeable extrait par l'acétate d'ammoniac neutre et normal;
- le potassium intermédiaire dont la libération est très rapide dès la disparition du potassium échangeable et que les plantes utilisent alors;
- le potassium à libération lente, dont la vitesse de libération constante ou quasi-constante est attestée par de très nombreux auteurs.

Une extraction par électrodialyse permet de mettre en évidence ces trois formes (figure 1).

En partant de ce schéma, on peut mettre en évidence les deux modes de reconstitution du K échangeable:

- une reconstitution rapide qui se fait durant le temps d'une saison de culture, à partir principalement du K intermédiaire;
- une reconstitution lente qui doit s'échelonner sur plusieurs années pour rétablir le niveau initial du potassium.



K_e Potassium échangeable
 K_i Potassium intermédiaire
 K_{II} Potassium à libération lente

Fig. 1. Libération du potassium dans des conditions d'appauvrissement constant et rigoureux (d'après Beckett [11]).

Lorsqu'un sol a supporté un certain nombre de cultures épuisantes, on obtient une courbe similaire mais plus basse et plus horizontale, ce qui semblerait indiquer que potassium échangeable et potassium intermédiaire diminuent proportionnellement moins vite que le potassium à libération lente, tandis qu'un apport d'engrais relève la courbe tout en donnant à sa partie rectiligne une pente plus accusée.

Dans le cas de prélèvement par les cultures inférieurs ou égaux à la quantité de potassium à libération lente libérée entre deux cycles culturaux, il n'y a aucune raison pour qu'il y ait une diminution du potassium échangeable dans le sol, si d'autres causes (érosion, lixiviation) n'entrent pas en jeu.

b) Application aux sols tropicaux

Il est probable que le schéma précédent peut s'appliquer sans grande difficulté aux sols des régions intertropicales avec une restriction toutefois: il est en effet peu probable que les engrais potassiques puissent augmenter sensiblement la pente de la partie rectiligne de la courbe, étant donné le faible pouvoir de rétrogradation des sols tropicaux. Selon Salmon [61], les engrais potassiques n'auraient, en dehors de leur action immédiate sur la culture où ils sont épandus, qu'un effet indirect à plus long terme: ils «dissuaderaient» la plante de puiser dans les réserves du sol, potassium intermédiaire et potassium à libération lente restant alors à la disposition de la culture suivante; en aucun cas ils ne sont mis en réserve directement dans ces terres sableuses de Rhodésie que l'on peut sans doute assimiler à des sols ferrugineux tropicaux.

On peut également interpréter par le schéma de Beckett l'action bénéfique de la jachère sur l'alimentation potassique: un certain nombre d'auteurs [20, 36, 37, 56, 65, etc.] ont constaté que deux à quatre ans de jachère suffisent pour rétablir un taux

convenable de potassium échangeable dans un sol où plusieurs années de cultures sarclées avaient fait apparaître un sérieux déficit dans l'alimentation en potasse.

Cette durée de la jachère correspond sans doute à la reconstitution du potassium utilisable par les cultures par le potassium à libération lente, à condition toutefois que les végétaux (ou leurs cendres, dans le cas des savanes brûlées) restent sur le sol, la régénération n'intervenant pas dans le cas d'une jachère pâturée (*Anderson [3]* sur rotation blé-pâture en Tanzanie du Nord). La formation végétale qui constitue la jachère ne paraît guère avoir d'importance à court terme: *Jaiyebo et Moore [43]* trouvent à Ibadan la même augmentation de potassium échangeable dans le sol après six ans de jachère, qu'il s'agisse de recru forestier, de graminées, de légumineuses ou de mulch d'imperata; selon *Bartholomew et al. [9]*, des jachères à graminées de trois ans contiennent à peu près la même quantité de potassium qu'un recru forestier du même âge; à long terme (10 à 40 ans), la forêt se révèle cependant comme le meilleur accumulateur de potassium [54]: ceci est certainement dû au volume énorme de la végétation de la grande forêt, mais, sans doute aussi, au fait que les herbes brûlent, que, par conséquent, il n'y a pas de litière; en outre, les cendres, après des feux de savane, peuvent être entraînées au loin par le vent et la pluie.

Cette régénération du potassium est parfois rapide, même sans jachère: ainsi *Arana* (cité par *van Wainbeke [72]*) observe après épuisement complet en potassium échangeable par lavages successifs au sulfate d'ammonium que des sols d'Amérique centrale, formés sur lapillis et cendres volcaniques, récupèrent 30% du potassium échangeable au bout de trois mois, 50% au bout de dix mois et 85% après 21 mois. Toutefois, d'après les exemples qui précèdent, il semble que cette régénération demande un temps nettement plus long dans les autres types de sol et qu'une végétation abondante soit un facteur décisif pour qu'elle acquière une intensité convenable.

3.3.3. *Insuffisance de la notion de potassium à libération lente*

Il serait d'ailleurs imprudent de penser que l'introduction de la notion de potassium à libération lente permet d'expliquer la totalité du mécanisme de la régénération du potassium échangeable: outre qu'elle ne présume en rien de la nature des réserves ainsi libérées et qu'il apparaît difficile de chiffrer le pourcentage de libération par rapport aux réserves totales et au potassium échangeable initialement présents dans le sol, elle laisse en particulier en suspens un fait important bien connu des agronomes tropicaux: pourquoi un apport d'engrais azote-phosphore accroît-il les prélèvements par les plantes à partir du potassium non échangeable? Faut-il penser à une action de la microflore stimulée par le phosphore (en particulier dans les sols mal pourvus en cet élément) qui alors accélérerait les processus de transformation? ou bien les plantes mieux nourries ont-elles une densité de racines telle que la dissolution directe des minéraux devient alors importante?

4. *Devenir du potassium des engrais dans les sols tropicaux cultivés*

Malgré la propriété de beaucoup de sols tropicaux de régénérer le potassium utile aux plantes, l'intensification progressive de l'agriculture dans les tropiques rend de plus en plus nécessaire une fourniture extérieure de potasse au sol.

Bien qu'il existe d'autres sources de potassium, le fumier de ferme notamment dont

l'emploi est malheureusement trop peu répandu dans ces régions, ce sont surtout les engrais minéraux qui retiendront ici l'attention, non seulement parce qu'agriculteurs et agronomes pensent d'abord à eux pour couvrir les besoins des plantes, mais aussi parce qu'ils sont soumis à une intense lixiviation.

4.1. *Intensité de la lixiviation des engrais potassiques*

C'est un fait couramment constaté que les engrais potassiques sont facilement entraînés en profondeur par les eaux de drainage. Déjà *Laudelout [45]* indiquait que les deux tiers d'une forte fumure potassique appliquée sur palmier à huile quittaient en un an les 60 cm superficiels du sol jaune ferrallitique désaturé de Yangambi (Zaïre). Même observation faite par *Bolton [15]* sur les latosols à hévéa de Malaisie: une forte proportion de la fumure potassique mise sur des cases lysimétriques est éliminée en dessous de 60 cm avec l'équivalent de 700 mm de pluie.

Au Brésil, *Malavolta [47]* constate que, sur les sols ferrallitiques de la région de São Paulo, au Brésil, l'engrais potassique mis en surface se retrouve six mois plus tard à 15 cm de profondeur.

En Côte d'Ivoire, 50 à 60% des engrais potassiques apportés à vrai dire à forte dose (1590 kg/ha en trois ans) sont enlevés par lessivage dans les sols ferrallitiques désaturés de basse Côte d'Ivoire sous une pluviosité annuelle de 1900 mm [38].

En Afrique du Sud, donc en climat plus sec, *Farina et Graven [29]* travaillant sur les sols sableux du bassin de Tugela (qu'on peut assimiler sans doute à des sols ferrugineux tropicaux) ne trouvent une augmentation de potassium échangeable, la troisième année après fumure potassique, que dans les tranches de sol situées au-dessous de 15 cm.

Sur des sols également sableux, mais en Rhodésie, tout ce qui, sur une fumure d'une tonne de chlorure de potasse à l'hectare, n'est pas utilisé par des cultures de ray-grass ou de tabac est évacué dans l'année au-dessous des 15 cm superficiels du sol [61]. Dans le milieu assez particulier des rizières inondées, le lessivage des engrais potassiques est intense à Formose (*Feng [31]*); il en est de même à Madagascar où une très forte fumure potassique appliquée sur la première culture n'avait absolument aucun effet trois ans plus tard, le riz souffrant alors de graves carences en potassium [74].

Cette absence d'effet résiduel de la fumure potassique est d'ailleurs confirmée par de très nombreux auteurs (*Charreau et Poulain [22]* au Sénégal, *Nabos [53]* au Niger, entre autres).

4.2. *Facteurs qui interviennent dans la lixiviation des engrais potassiques*

4.2.1. La capacité de sorption du potassium par les sols tropicaux

La majorité des sols de la zone intertropicale, dont la fraction colloïdale est principalement composée de kaolinite et d'hydroxydes, n'ont pratiquement pas de pouvoir de rétrogradation pour le potassium, les seules exceptions étant les sols à montmorillonite et illite (vertisols et sols bruns eutrophes principalement).

Toutefois, on constate qu'une partie de la potasse apportée dans les sols très pauvres se retrouve dans le sol sous forme échangeable [45], sans doute parce qu'il restait encore un certain nombre de sites d'échange préférentiels pour le potassium à pourvoir.

En Ouganda, le facteur limitant principal pour la culture cotonnière est sans contestation possible le potassium [65]; or Stephens [66] a calculé que dans les sols du sud et de l'ouest de ce pays à peu près la moitié du potassium contenu dans 750 kg de chlorure épandus en 6 ans s'était fixée sur le complexe absorbant des sols étudiés, sauf dans trois cas qui concernent précisément les trois sols les mieux pourvus en potassium; on peut donc penser ici à une meilleure saturation des sites d'échange, ce qui semble être confirmé par le fait que la rétention est plus forte si la potasse est apportée par du fumier de ferme, la matière organique provoquant une augmentation du nombre des sites d'échange.

C'est également à une saturation plus satisfaisante du complexe absorbant par le potassium qu'on peut attribuer l'effet résiduel sur la seconde culture d'arachide de 40 kg/ha de chlorure de potassium appliqué la première année seulement dans les sols ferrugineux tropicaux de la «tache» de Patar au Sénégal, secteur où la carence potassique est évidente (0,04 méq./100 g de K échangeable) [37]. La même interprétation semble valable pour expliquer qu'une fumure potassique apportée sur une bananeraie au Cameroun se soit fixée en grande partie sous forme échangeable dans des sols formés sur lapillis volcaniques [35], le complexe absorbant des allophanes étant beaucoup plus avide de cations que celui de la kaolinite.

Ces exemples, multipliés ici à dessein, ne doivent pas faire oublier que cette capacité de fixation, sous forme de potassium échangeable, est relativement faible dans la majorité des sols tropicaux. Ainsi Ochs [80] calcule que le sol ferrallitique, fortement désaturé, sableux, de Dabou en Côte d'Ivoire, sol très carencé en potassium puisqu'il ne contient que 0,04 méq./100 g de K échangeable, ne peut dépasser la teneur de 0,20 méq. de potassium échangeable; la différence correspond à une fumure de 450 kg par hectare de chlorure, soit 45 g par mètre carré; pour cette dose précisément, il y a très peu de pertes par drainage, mais tout apport plus important ou simplement mal réparti engendre immédiatement la lixiviation du surplus.

Un tel ajustement des doses d'engrais aux capacités exactes du sol est fort difficile à réaliser. On rejoint ainsi les conclusions de Barbier [8] pourtant établies pour les sols tempérés: «la véritable difficulté du problème est de savoir à quel niveau il convient d'entretenir le stock de potassium échangeable suivant les conditions pédoclimatiques».

4.2.2. Présence dans le sol de cations antagonistes du potassium

On a vu précédemment qu'un certain nombre de cations, principalement l'hydrogène, l'ammonium et l'aluminium avaient la propriété de se fixer sur des sites d'échanges possibles pour le potassium et, fait plus grave, d'être difficilement substitué par ce dernier élément sur le complexe absorbant.

En ce qui concerne l'hydrogène et l'aluminium, un remède simple consiste à faire un chaulage préalable [15, 57, 67] qui remplace ces cations par du calcium, lequel est alors beaucoup plus facilement échangé par le potassium des engrais que les ions précédents. Quant à l'ammonium apporté par les engrais, l'équilibre délicat qui devrait être établi entre les doses et les dates d'épandage des deux engrais paraît si compliqué que la question est rarement abordée et encore moins résolue.

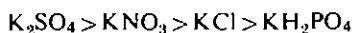
4.2.3. Importance de l'anion des engrais

Si certains cations présents dans le sol ont la propriété de réduire la fixation du potassium sous forme échangeable, il ne faut pas négliger l'action des anions auxquels cet élément est obligatoirement associé dans les engrais.

En se plaçant d'un point de vue théorique et en schématisant à l'excès, on sait, en effet, que les anions peuvent neutraliser les charges des colloïdes électro-positifs et se fixer ainsi sur le complexe absorbant tout en laissant disponible une fraction de leurs valences, d'où une certaine augmentation de la capacité d'échange; on s'accorde en général à attribuer cette propriété à l'anion phosphorique (PO_4^{---}) [26], tandis que le chlorure et le radical NO_3^- sont très mal retenus par le sol. Que se passe-t-il en fait pour les engrais potassiques? *Munson et Nelson* [52] indiquent pour les sols tempérés la séquence suivante de facilité de lixiviation du potassium dans le sol suivant la nature des engrais:



En ce qui concerne les sols tropicaux, *Farina et Graven* [29] semblent adopter sans discussion cet échelonnement pour les sols sableux du Tugela Basin d'Afrique du Sud. Par contre, une expérience de laboratoire d'*Ahmad et Davis* [2] sur un oxisol acide (pH 5,5) de la Trinidad suggérait dans ce sol la succession:



Aux îles Hawaï où les pertes en potassium à partir des engrais sont sévères dans les humic latosols et les hydrol-humic latosols (figurant sous le nom d'andepts dans l'actuelle classification), *Ayres et Hagibara* [7] constatent que les pertes par drainage sont fortes avec le chlorure de potasse, mais qu'elles sont quelque peu réduites avec le sulfate; quant au phosphate de potassium, il n'est que fort peu lixivié, l'anion phosphorique augmentant sensiblement la capacité d'échange.

D'après les exemples qui précèdent, on peut tirer la conclusion que l'action favorable des anions des engrais sur la rétention du potassium par le sol est pratiquement nulle pour les chlorures et les nitrates mais qu'elle est relativement importante en ce qui concerne les phosphates. La question est plus controversée pour les sulfates: si *Ayres et Hagibara* [7] constatent sur les andosols des Hawaï une fixation un peu meilleure du potassium des sulfates par rapport à celui des chlorures (bien que nettement inférieure à celle provoquée par les phosphates), *Ahmad et Davis* [2] ne lui accordent aucune supériorité, bien au contraire, dans les oxisols de la Trinidad, fait confirmé par *Bolton (communication personnelle)* à propos des latosols de Malaisie.

4.2.4. La pluviosité

Il est évident que l'entraînement du potassium en profondeur nécessite une certaine quantité d'eau percolant à travers un sol perméable.

De fait, on constate que les auteurs cités précédemment prennent comme profondeur de référence 60 cm dans la zone des sols ferrallitiques normalement soumise à une forte pluviosité tandis qu'elle n'est que de 15 cm dans les climats plus secs à saison sèche longue et bien tranchée (Sénégal-Rhodésie).

Un exemple provenant d'Afrique du Sud indique toute l'importance de ce facteur [29] (Tableau 1): ainsi une diminution d'un tiers de la hauteur de pluie entraîne dans ce cas précis une réduction de lessivage de 30 à 40%.

4.3. Pratiques agronomiques utilisées pour réduire la lixiviation du potassium

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, les sols tropicaux ne peuvent guère fixer le potassium des engrais que sous forme échangeable et ceci dans des proportions relativement

Tableau 1.

Année	Pluviosité mm	K appliqué kg/ha	K présumé lixivié kg/ha
1966/67	619	174,6 87,3	108,4 41,8
1967/68	427	174,6 87,3	78,8 24,9

modestes. L'idéal serait évidemment de saturer en potassium les sites d'échange possibles et de ne fournir ensuite que ce qui est strictement nécessaire aux plantes; or, la première donnée n'est pas facile à déterminer dans la pratique agricole de tous les jours, et d'autre part, les prélèvements par les racines sont échelonnés dans le temps, contrairement aux épandages d'engrais. Toutefois cet idéal semble avoir été approché par *Tourte et al.* [69] sur des arachides cultivées en cases lysimétriques sur sol ferrugineux tropical (Dior) du Sénégal: avec ou sans apport de 50 unités de potasse (85 kg/H de chlorure), la perte de potassium par drainage est la même dans les deux cas: 10 à 15 kg/ha de K_2O ; par contre sur la culture suivante, un mil, une fumure de 90 unités de potasse est perdue à 25% par drainage.

Afin d'ajuster le mieux possible l'apport d'engrais aux besoins des plantes, la plupart des auteurs précédemment cités recommandent de fractionner les apports de potassium en deux fois sur les cultures annuelles, en 3, 4 et 5 fois sur les cultures pérennes; malgré tout, les pertes sont sévères lorsque les doses d'engrais deviennent importantes: 50 à 60% des 1590 kg/ha de potasse (K_2O) enlevés par lixiviation dans une bananeraie de Côte d'Ivoire, malgré les épandages réalisés cinq fois par an et l'avidité bien connue du bananier pour le potassium [38].

Autre procédé: *Humbert* [41] conseille d'attendre que les racines de la canne à sucre soient bien développées pour apporter les engrais potassiques: à partir de ce moment, les pertes par drainage seraient pratiquement nulles dans les sols des Hawaï.

5. Conclusion

Les agronomes œuvrant dans les pays intertropicaux considèrent à juste titre que le potassium échangeable rend assez bien compte des disponibilités immédiates du sol pour les cultures. Mais ce potassium échangeable, peu abondant parce que disponible seulement sur des sites d'échange peu nombreux du complexe absorbant, n'est pas une donnée statique; après les prélèvements faits par les cultures, il se régénère à partir des réserves du sol en potassium non échangeable, réserves infiniment plus abondantes dans la majorité des cas que le potassium du complexe absorbant.

Si on peut expliquer la mobilisation de ces réserves, mobilisation toujours partielle et lente, par la libération du potassium rétrogradé et surtout par l'altération des minéraux présents dans le sol, il semble que ces deux processus soient insuffisants pour rendre compte du phénomène dans les sols ferrallitiques évolués apparemment dépourvus de tout résidu altérable de la roche mère.

La lenteur de cette régénération impose dans la pratique la mise en jachère du sol pendant plusieurs années après culture, ou, à défaut, le recours aux engrais miné-

raux: malheureusement, les fertilisants potassiques sont soumis dans le sol à une intense lixiviation due en particulier au faible pouvoir de rétrogradation du potassium de la majorité des sols tropicaux (vertisols et sols bruns eutrophes exceptés). Toutefois, une certaine partie de ce potassium peut se fixer sur le complexe absorbant tant qu'il reste des sites préférentiels pour le potassium à pourvoir.

6. Bibliographie

1. *Acquaye D. K., MacLean A.J. et Rice H. M.*: Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103, 2, 79-89 (1967).
2. *Ahmad N. et Davis C. E.*: Forms of K fertilisers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Sci.* 109, 2, 121-126 (1970).
3. *Anderson G. D.*: The influence of the years under cultivation and ley on the chemical and physical characteristics of some wheat soils in Northern Tanzania. Symposium on the maintenance and improvement of soil fertility OAU/STRC. Publ. n° 98 (London), 86-95 (1965).
4. *Attoe O.J.*: Fixation and recovery by oats of potassium applied to soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13, 112-115 (1948).
5. *Attoe O.J.*: Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11, 145-149 (1946).
6. *Aubert G.*: Dans «Compte rendu des discussions». Potassium Symposium. Institut International de la Potasse, Berne, Suisse, 351-353 (1958).
7. *Ayres A. S. et Hagibara H. H.*: Effect of the anion on the sorption of potassium by some humic and hydro-humic latosol. *Soil Sci.* 75, 1-17 (1953).
8. *Barbier G.*: La dynamique du potassium dans le sol. Potassium Symposium. Institut International de la Potasse, Berne, Suisse, 231-258 (1962).
9. *Bartholomew W.V., Meyer I. et Laudelot H.*: Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgium Congo) région. Pub. INEAC (Bruxelles), Série Sci. 57, 27 p. (1953).
10. *Beckett P. H. T.*: Potassium calcium exchange equilibria in soils: specific absorption sites for potassium. *Soil Science* 97, 6, 376-386 (1964).
11. *Beckett P. H. T.*: Fixed potassium and the residual effects of potassium fertilisers. *Revue de la Potasse* (Berne), sujet 16, 52, Sept./Oct. (1970).
12. *Black C.A.*: Potassium. Chapitre 9 in *Soil Plant Relationship*, Wiley and sons édit. New York, 1969.
13. *Bockelee-Morvan A.*: Etude de la carence potassique de l'arachide au Sénégal. *Oléagineux* 19, 10, 603-609 (1964).
14. *Boissezon P. et Gras F.*: Notice explicative n° 44. Carte pédologique Sibiti-Est (Rép. du Congo-Brazzaville) au 1:500 000. Centre ORSTOM, Brazzaville, 1 vol., 144 p. (carte en couleur), 1970.
15. *Bolton J.*: Leaching of fertilisers applied to a latosols in lysimeters. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya* 20, 5, 274-284 (1968).
16. *Bouchy C.*: Contribution à l'étude des déficiences minérales en culture cotonnière en Côte d'Ivoire. *Coton et fibres tropicales* (Paris) 25, 2, 235-251 (1971).
17. *Bouyer S.*: Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole du Sénégal. Troisième conférence interafricaine des sols Dalaba. Vol. II, 841-850 (1959).
18. *Boyé P.*: Nutrition minérale et carence potassique du palmier à huile. Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées. 5 nov., C. 3-1, 1962.
19. *Boyer J.*: Soil Potassium. In: *Soils of the humid tropics*; pp. 102-135. National Academy of Sciences publ. (Washington), 1972.
20. *Braud M.*: La fertilisation du cotonnier en Afrique tropicale et à Madagascar. *Coton Fib. Trop.* XXII, 2, 246-274 (1966).
21. *Chaminade R.*: La rétrogradation du potassium dans les sols. *Ann. agron.* 6, 818-820 (1936).
22. *Charreau C. et Poulain J. F.*: La fertilisation des mils et sorghos. *Sols Africains* IX, 2, 161-175 (1964).
23. *Conceicao T. M. L., Moniz A. C., Oliveira J.J. et Sieffermann G.*: Les sols à montmorillonite sur gneiss de la zone tropicale humide de l'Etat de Bahia. Signification paléoclimatique. C.R. 4^e congrès latino-américain de la science du sol, 12 sept. 1972, Maracay (Venezuela) (1972).

24. *Culot J. P.* et *Van Wambecke A.*: Contribution à l'étude des déficiences minérales du caféier d'Arabie au Kivu. Publ. INEAC, Série scientifique, n° 73, 105 p. (1958).
25. *Dabin B.*: Alimenteration minérale du riz - interprétation d'un essai réalisé à l'Office du Niger. *Agr. Trop.* VI, 9-10, 507-513 (1951).
26. *Duchaufour Ph.*: Précis de Pédologie. Edit. Masson, Paris 1965, 481 p. (1965).
27. *Dugain F.*: Le sulfate d'ammoniaque dans le sol en culture bananière de bas-fonds. *Fruits* 14, 4, 163-169 (1959).
28. *Duthion C.*: Le potassium dans le sol. *Revue de la potasse*, Section 4, nov./déc., Berne 1968.
29. *Farina M. P. W.* et *Graven E. H.*: Effects of rainfall and differential application of N, P, K and Ca on the downward movement of K in an Avalon medium sandy loam cropped with maize (*Zea Mays L.*). *Agrochemophysica* (Pretoria 4, 93-98, 1972).
30. *Félope-Morales C.* et *Hanotieux G.*: Economie du sol en potassium I. Etude de certains facteurs éco-pédologiques locaux. *Pédologie* (Gand) 21, 3, 194-310 (1971).
31. *Feng M. P.*: Méthodes d'application de la potasse sur riz à Formose. *Fertilité* (France) 31, 27-41 (1968).
32. *Forestier J.*: Relations entre l'alimentation du *Coffea Robusta* et les caractéristiques analytiques des sols. *Café, Cacao, Thé VIII*, 2, 89-112 (1964).
33. *Forster H. L.*: The identification of potentially K deficient soils in Uganda. *East Afric. Agric. and For. J.* 37, 3, 224-233 (1972).
34. *Frémond Y.* et *Nucé de Lamothe M.*: Nutrition Minérale du Cocotier. Colloque d'Abidjan II, 480-492 (1968).
35. *Gaillard J. P.*: Recherche d'un équilibre K/N dans la production de l'ananas frais au Cameroun. I. Résultats agronomiques. *Fruits* (Paris) 25, 1, 11-24 (1970).
36. *Gillier P.*: La reconstitution et le maintien de la fertilité des sols du Sénégal et le problème des jachères. *Oléagineux* 15, 8, 9, 637-643; *Oléagineux* 15, 10, 699-704 (1960).
37. *Gillier P.* et *Gautreau J.*: Dix ans d'expérimentation dans la zone à carence potassique de Patar au Sénégal. *Oléagineux* Paris 26, 33-38 (1971).
38. *Godefroy J.*, *Muller M.* et *Roose R.*: Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire. *Fruits* (Paris) 25, 6, 403-420 (1970).
39. *Hagibara H. H.*: Master's thesis, University of Hawaii, 1952.
40. *Heathcote A.*: The effects of potassium and trace elements on yields in Northern Nigeria. DAU/STRC Seminar on the environmental factors influencing the yields of cereals crops in Tropical Africa (Dakar), 26-29 juillet, 1971.
41. *Humbert R. P.*: Potash fertilisation in the Hawaiian sugar industry. *Potassium Symposium* 319-344 (1958).
42. *Jaiyebo E. O.*: Effect of drying and storage on the exchangeable potassium content of some Western Nigeria soils. *Soil Sci.* 106, 6, 399-404 (1968).
43. *Jaiyebo E. O.* et *Moore A. W.*: Soil Nitrogen accretion under different covers in a tropical rain-forest environment. *Nature* (Lond.) 197, 317-318 (1963).
44. *Larson W. E.*: Response of sugar beet to potassium fertilisation in relation to soil physical on moisture conditions. *Soil Sc. Soc. Amer. proc.* 18, 313-317 (1954).
45. *Laudelout H.*: Etude pédologique d'un essai de fumure minérale de l'Eloëis à Yangambi. Publ. INEAC, Série scientifique 47, 21 p. (1950).
46. *Le Mare P. H.*: A review of soil research in Tanzania. Committee on tropical soils. London 8-12 juin, 25 p. multigr. (1970).
47. *Malavolta E.*: Manual de Química Agrícola: Adubos e adubação. 2^e édition. Ed. Ceres (São Paulo), 606 p. 1967.
48. *Matthews B. C.* et *Sherrel C. G.*: Effect of drying on exchangeable K of Ontario soils and the relation of exchangeable K to crop yield. *Canad. J. Soil Sci.* 40, 35-41 (1960).
49. *Middelburg H. A.*: Potassium in Tropical soils: Indonesian archipelago. *Potassium Symposium*, Institut de la Potasse, Berne, Suisse, 221-257 (1955).
50. *Mohinder Singh M.* et *Talibudeen O.*: Thermodynamic assessment of the nutrient status of rubber growing soils. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya* 21, 2, 240-249 (1969).
51. *Mohinder Singh M.*: Results and discussion: Exchange reactions of potassium, magnésium and aluminium in some Malaya soils. Ph. D. dissertation, Fac. of Sci., Univ. of Malaya, 45-151, 1970.
52. *Munson R. D.* et *Nelson W. L.*: Movement of applied potassium in soils. *J. Agric. and Food Chem.* 11, 193-201 (1963).
53. *Nabos J.*: Etat actuel des recherches d'amélioration variétale et de technique culturale sur le mil et le sorgho au Niger. *Sols Africains XI*, 1-2, 347-363 (1966).

54. Nye P. H. et Greenland D. J.: The soil under shifting cultivation. Commonwealth bureau of soils. Tech. Comm. n° 51, 156 p. (1960).
55. Page J. B. et Bayer L. D.: Ionic size in relation to fixation of cations by colloidal clay. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4, 140-155 (1940).
56. Poulain J. P.: Bilan de l'essai: Forme du phosphate de fond, Bambey. Doc. int. CRA Bambev inédit, 1969.
57. Ramos M.: Influencia do calcio sobre a potassio assimilavel en alguns solos do Rio Grande do Sul, Brasil. Revue de la potasse. Section 4, Sept. Bern (1971).
58. Reitemeier R. S.: The chemistry of soil potassium. Ad. Agron. 3, 113-159 (1951).
59. Richard L.: Evolution de la fertilité en culture cotonnière. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive 19-25 nov., II, 1437-1471, 1967.
60. Richard L.: Evolution de la fertilité en culture cotonnière intensive. Coton et Fibres Tropicales XXII, 3, 357-391 (1967).
61. Salmon R. C.: Residual effects of phosphate and potash applied to tobacco on granite sand. The Rhod. Jour. Agric. Research 9, 2, 129-130 (1971).
62. Schuffelen A. C. et Van der Marel H. W.: Potassium fixation in soils. Potassium Symposium 157-201 (1955).
63. Ségalen P.: Les sols de la vallée du Noun. Cah. ORSTOM, Sér. pédol. V, 3, 287-349 (1967).
64. Sivasubramaniam S. et Talibudeen O.: Effect of aluminium on growth of tea (*Camellia sinensis*) and its uptake of potassium and phosphorus. J. Sci. Food. Agric. 22, 7, 325-329 (1971).
65. Stéphane D.: The effects of different nitrogen treatments and of potash, lime and trace elements on cotton on Buganda clay loam soil. East Afric. Agric. and For. J. 32, 3, 320-325 (1967).
66. Stéphane D.: The effects of fertilisers, manure and trace elements in continuous cropping rotations in Southern and Western Uganda. East Afric. Agric. and For. J. 34, 401-417 (1969).
67. Tinker P. B.: Studies on soil potassium III - Cation activity ratios in acid Nigerian soils. IV - Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertiliser in Nigerian oil palms. J. Soil Sci. 15, 1, 24-41 (1964).
68. Tinker P. B. et Smilde K. W.: Cation relationship and magnesium deficiency in the oil palm. J. W. Afr. Inst. Oil Palm. 4, 82-100 (1963).
69. Tourte R., Vidal P., Jacquinet L., Fauche J. et Nicou R.: Bilan d'une rotation quadriennale sur sols de régénération au Sénégal. Agron. trop. XIX, 12, 1033-1072 (1964).
70. Turner P. D.: Oil palm diseases in Sabah. The planter (Malaysia) 43, 8, 349-358 (1967).
71. Valet S.: Recherche des carences minérales des sols de l'Ouest Cameroun en vases de végétation. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive I, 341-356, 1967.
72. Van Wambeke A.: Congo-Kinshassa: Status of Soil studies. Committee on tropical soils. London 8-12 June, 13 p. multigr., 1970.
73. Velly J.: Quelques aspects de la fumure potassique en rizière. Agron. Trop. 25, 1, 13-27 (1970).
74. Velly J.: Fertilisation potassique en rizière. Compte rendu de trois campagnes d'expérimentation à la station d'Ivoloïna (Tamatave). Agr. Trop. 27, 6-7, 655-666 (1972).
75. Velly J.: Fertilisation potassique des sols tropicaux. Agronomie Tropicale 27, 9, 966-976 (1972).
76. Weir C. C.: The phosphorus and potassium status of some Trinidad Soils. Trop. Agriculture (Trin.) 43, 4, 315-321 (1966).
77. Welch L. F. et Scott A. D.: Availability of non exchangeable potassium to plants as affected by added ammonium and potassium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 102-104 (1961).
78. Wicklander L. et Gieseckig J. E.: Exchangeability of adsorbed cations as influenced by the degree of saturation and the nature of the complementary ions with special references to trace concentration. Soil Sci. 66, 377-384 (1948).
79. Wild A.: The potassium status of soils in the savanna zone of Nigeria. Exper. Agric. 7, 3, 257-270 (1971).
80. Ochs R.: Contribution à l'étude de la fumure potassique du palmier à huile. Oléagineux (Paris) 20, 89, 497-501 (1965).
81. Braud M.: La fertilisation potassique du cotonnier en Afrique tropicale. Fertilité 39, 5-16 (1971).
82. Coulter J. K.: Soils of Malaysia, a Review of Investigations on their fertility and Management. Soils and Fertilisers 33, 475-498 (1972).
83. Wicklander L.: Forms of potassium in the soil. Potassium symposium, 107-121 (1954).

Potassium Behaviour in Tropical Soils under Cropping

J. Boyer, Directeur de Recherches, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy/France

Extended Summary

In tropical areas, soils very rich or very poor in potassium are the exception. The general behaviour is the following: after land clearing, the soil can meet the needs of crops during a variable number of years. Then appears a potash deficiency, more or less severe according to the cropping intensity. The withdrawal of fallows, in particular, accelerates the occurrence of these deficiencies.

To characterize the potassium status of a soil in relation to plant nutrition, the exchangeable potassium remains, in spite of its recognized shortcomings, very frequently used. Three «rules» seem generally accepted:

- Exchangeable potassium must account for at least 2 to 2.5% of the CEC.
- Considerable deficiencies, if not indeed K starvation, occur as soon as exchangeable potassium is lower than 0.1 meq/100 g (in average soil).
- The response threshold to potash fertilizers varies generally speaking from 0.15 to 0.35 meq/100 g in tropical soils.

Some adjustment should be applied to these rules according to fineness of soil texture, relations between exchangeable K and other cations (especially exchangeable Al but also Ca and Mg), water circulation, and the depth of rooting. Exchangeable K accounts for a very variable percentage of total potassium of the soil: from 0.5 to 50% according to cases. But high percentages are exceptional and the major part of tropical soils contain K reserves much higher than their exchangeable K. Thus, K uptake by plants is sometimes much more than the measured difference of exchangeable potassium before and after cropping.

The transformation of reserve potassium into exchangeable potassium can be explained:

- firstly, through fixation and release phenomena. But the nature of the clays, with a large proportion of kaolinite, the very frequent presence of exchangeable aluminium associated with soil acidity, and on the other hand the lack of exchangeable calcium, are reasons why - in the great majority of the cases - it is not likely that those phenomena play an important role in the provision of non-exchangeable K by tropical soils.
- secondly, through soil mineral weathering. Experiments have shown that even under temperate climates, powdered granite can release to drainage waters substantial amounts of potassium. Under the much more aggressive climate of tropical zones, the phenomenon must be more intensive, particularly in volcanic ashes but also to a lesser degree - in soils deriving from plutonic rocks, at least in younger soils. The exact nature of potash reserves of much weathered ferralitic soils sometimes constitutes a problem.

The power of regenerating exchangeable potassium from the reserves operates through time in different ways according to soil and crop. But however it may be at the outset, shortages and even deficiencies are bound to eventually to occur.

If, with *Beckett* one places the potassium available to plants in 3 categories:

Exchangeable potassium

Very quick release intermediary potassium

Slow release potassium

one may deduce that there are two routes for the restoration of exchangeable potassium, one quick, starting from the intermediary potassium carried out during the time of a crop, the other slow being carried out stepwise during several years.

In tropical soils, it is not likely that fertilizer dressings can enhance the slow release potassium, on account of their weak fixation power. It seems that fertilizers spare the need plant to remove intermediary potassium or slow release potassium, their action on reserves being therefore indirect.

The effect of a protracted fallow corresponds, no doubt, to the restitution of potassium available to crops at the expense of the slow release potassium. The speed of this restitution varies with the type of soil and it seems that a dense vegetation is necessary for a good restitution rate.

It is acknowledged that potash fertilizers applied to tropical soils are subject to a strong leaching reaching sometimes 60% in one year, and therefore there is very often no residual effect. The sorp-

tion capacity for potassium in the form of exchangeable potassium is generally speaking weak and the adjustment of fertilizer rates to these capacities is difficult to achieve. The presence, at possible potassium exchange sites of cations difficult to be substituted by K, constitutes a factor enhancing leaching even more. To a certain extent, liming may constitute a makeshift. The anion accompanying potassium in fertilizers plays a very variable role according to the type of the soil. The variations in rainfall from one year to another have of course a very important effect. In conclusion: in order to deal with the problem of leaching, it is recommended to subdivide the fertilizer application to a greater or lesser degree or sometimes to apply it when roots are well developed.

Techniques analytiques : Valeur comparée des différentes méthodes pour la détermination du potassium assimilable des sols

B. Dabin, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy/France

Résumé

Les différentes techniques d'analyse du potassium du sol sont passées en revue: potassium total aux acides forts, potassium difficilement échangeable, potassium échangeable, équilibre K/Ca + Mg entre le sol et l'eau. En plus de ces techniques chimiques, les méthodes physicochimiques et par culture en pot, sont également décrites.

Une étude bibliographique résume l'intérêt de ces différentes méthodes pour la détermination de l'alimentation potassique des plantes, elle montre que le potassium échangeable, compte tenu de son équilibre avec les autres cations, est généralement en bonne corrélation avec les exportations à court terme, par contre, dans le cas des cultures d'épuisement ou dans les sols très pauvres, les mesures du potassium «difficilement échangeable» montrent une relation meilleure avec l'alimentation des plantes; en ce qui concerne les exportations à long terme, on connaît encore mal la vitesse de libération du potassium total.

Introduction

Une étude, même sommaire, des différentes méthodes de dosage du potassium du sol et de leur valeur comparée pour la détermination du potassium assimilable, risque fort d'amener de nombreuses redites à propos de sujets déjà traités dans d'autres communications, par ailleurs cette revue ne peut être exhaustive, vu le nombre considérable de méthodes utilisées par le monde, chaque laboratoire cherchant à adapter au mieux celle qui convient à ses propres problèmes. Cependant, dans les publications récentes, quelques groupes de méthodes paraissent être utilisées plus fréquemment, et fournissent des résultats assez concordants, nous allons tenter de les rappeler brièvement.

Le groupe le plus important est celui des méthodes utilisant des réactifs chimiques, il y a ensuite les techniques physicochimiques, puis certaines techniques isotopiques, enfin les techniques utilisant les cultures en pot. Les essais aux champs ne peuvent être considérés comme des méthodes d'analyse.

1. Les méthodes d'analyse du potassium dans les sols

1.1. Les techniques chimiques

1.1.1. Méthodes d'attaque aux acides concentrés

De nombreuses méthodes utilisent les acides concentrés pour la détermination du potassium dit «total» du sol.

Ces méthodes sont employées dans les laboratoires de pédologie pour l'étude des constituants minéraux du sol, et du bilan géochimique en fonction des différents modes d'altération ou d'évolution dans les profils.

La méthode fluorhydrique-perchlorique ne laisse pratiquement pas de minéraux non solubilisés et donne vraisemblablement une valeur assez correcte du potassium total du sol (elle se pratique en creuset de platine ou en bombe de téflon).

La méthode d'attaque dite «aux trois acides», sulfurique, nitrique, chlorhydrique, n'attaque par contre que les produits secondaires d'altération ou de néosynthèse, et n'extrait qu'une faible part du potassium des minéraux primaires (elle se pratique en béchers pyrex). Généralement on effectue une première attaque triacide, puis, sur le résidu insoluble de l'attaque que l'on recueille, on analyse le potassium des minéraux primaires par le mélange fluorhydrique, perchlorique.

M. Boyer, dans sa communication, donne un certain nombre de résultats obtenus aux SSC Bondy avec ces méthodes; généralement, le rapport du potassium trouvé par les deux méthodes est en relation avec l'importance du résidu insoluble sauf lorsque ce dernier est composé essentiellement de quartz. Les taux de potassium total trouvés, dépassent généralement 100 fois celui du K échangeable.

Une autre méthode, qui a été utilisée fort longtemps dans les laboratoires français, est l'attaque par l'acide nitrique concentré et bouillant pendant cinq heures. Sur cette même liqueur d'extraction on dosait également le phosphore total.

Alors que les résultats sont bien reproductibles dans le cas du phosphore, par contre les quantités de K extraites par cette méthode varient souvent d'une attaque à l'autre, ce qui rend les chiffres difficilement interprétables. Les résultats sont inférieurs, parfois égaux à ceux de la méthode triacide.

Laudelout [23], en 1950, a utilisé HCl à point d'ébullition constant pendant une heure. Les résultats ne sont que cinq à dix fois supérieurs à ceux du K échangeable. Siew Kee [34], Coulter [11], Mohinder-Singh et Talibudeen [24], Ahenkorah [4] utilisent HCl 6N ou concentré, pendant trois heures. Ces auteurs définissent ainsi ce qu'ils appellent le potassium «non échangeable ou fixe».

1.1.2. Méthodes d'attaque aux acides dilués

Dans ce groupe de méthodes, citons celle à l'acide sulfurique 0,1N utilisée par Hunter et Pratt [22], d'après Crisostomo et Castro [12], cette technique donne des résultats voisins du potassium échangeable.

Une méthode utilisée par Reitemeier et al. [32] et MacLean [25], consiste en une percolation continue par 0,01N HCl.

Néanmoins, la technique qui semble avoir été la plus utilisée est une attaque à l'acide nitrique 1N pendant 10 mn à l'ébullition. Haylock [20], Pratt [31], MacLean, MacLean et Brydon [26], Moss et Coulter [27], Binnie et Barber [7].

Des extractions répétées avec NO_3H bouillant ont permis de mettre en évidence deux formes de potassium échangeable:

- a) le «potassium de départ» qui est une fraction en excès par rapport au potassium échangeable, mais qui diminue au cours des extractions successives, et
- b) le potassium à «taux constant» qui est extrait en quantité égale à chaque extraction (figure 1).

Robinson [33] propose une extraction avec un mélange $\text{ClH } 0,1N + \text{SO}_4\text{H}_2 \text{ } 0,002N$, avec ou sans addition de charbon activé.

Ces différentes techniques aux acides dilués fournissent une mesure du potassium «difficilement échangeable».

1.1.3. Méthodes utilisant des sels neutres à concentration moyenne et des acides organiques

La plus employée est l'extraction par percolation à l'acétate d'ammonium normal à $\text{pH} = 7$ qui donne par définition la valeur du «potassium échangeable» (10 g de sol dans 200 ml de réactif).

Nash [30] utilise également l'acétate d'ammonium très dilué $0,01N$; il lessive 5 g de sol à raison de 1 ml mn; et le filtrat est analysé périodiquement.

Certains auteurs utilisent un mélange de sel et d'acide organique: réactif de Morgan (acétate de Na à 10% et acide acétique à 3%).

Méthode Egmer, Riehm et Domingo [16]: mélange acide acétique + lactate d'ammonium à $\text{pH} = 3,75$ (citée par *Robinson [33]*). Ces dernières méthodes sont présentées comme donnant le potassium assimilable, on n'utilise pas de percolation mais on aboutit à un équilibre sol/solution.

On peut citer également dans ce groupe la méthode au tétraphénylborate de sodium; *Vely [39]* l'applique à certains sols tropicaux; elle permet d'extraire K échangeable, mais également de réaliser des épuisements plus complets.

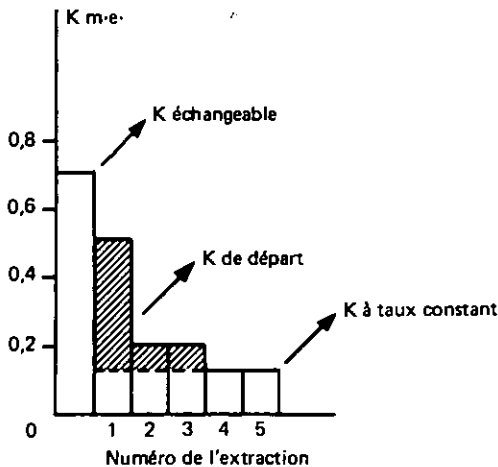


Fig. 1

1.1.4. Méthodes d'étude de la solution du sol, équilibre d'échange avec des solutions salines très diluées

De nombreux auteurs ont cherché à déterminer la teneur en potassium dans la solution du sol, en extrayant cette eau par centrifugation, ou membrane de pression, ou déplacement sur une colonne, avec de l'eau, ou encore dans un extrait de saturation (*Woodruff [40]*). Le point d'équilibre est souvent difficile à déterminer, et il se produit des perturbations liées à l'activité microbienne.

Une technique beaucoup plus employée est celle de *Beckett [6]*, qui dérive des travaux de *Woodruff [40]* et de l'application de l'équation de *Gapon*.

La formule de *Woodruff* mesure le changement d'énergie libre dans une réaction d'échange des ions K, Ca et Mg, dans un équilibre sol-eau

$$\Delta F = RT \operatorname{Ln} \frac{C_K}{\sqrt{C_{Ca} + C_{Mg}}}$$

R: constante des gaz parfaits, T: température absolue, C: concentration en moles/litre.

L'équation de *Gapon* définit l'équilibre entre le sol et la solution

$$\frac{\text{éch. K sol}}{\text{éch. Ca sol}} = k \frac{(C_K)}{\sqrt{C_{Ca}}} \text{ solution}$$

C: concentration proportionnelle aux «activités».

Beckett propose de déterminer le rapport ARK ou rapport d'activité du potassium, déterminé par la formule:

$$\text{ARK} = \frac{a(K)}{\sqrt{a(Ca + Mg)}}$$

et d'établir la relation entre les variations de ARK ou encore I_K (intensité en potassium) de la solution, et les variations de quantité Q_K des ions du sol capables de s'échanger avec une solution diluée de Ca^{++} et Mg^{++} .

Pour déterminer le rapport Q/I , c'est-à-dire la relation entre \ddot{Q}_K et ARK, on mesure ΔK , c'est-à-dire la variation de K labile, ou encore la proportion de K qui peut être gagnée ou perdue par le sol au cours d'équilibres avec des solutions de ARK différents de celui du sol originel.

La méthode consiste à mettre en équilibre pendant 12 heures à 25° des échantillons de 5 g de sol séché à l'air avec 50 ml de différentes solutions contenant KCl aux concentrations variant de $10^{-4}M$, à $10^{-3}M$ dans du $CaCl_2$ de concentration $(2-7 \cdot 10^{-3}M)$. En plus, on ajoute des quantités variables de sol aux 50 ml de solution contenant seulement $CaCl_2$ $(2-7 \cdot 10^{-3}M)$.

On dose K, Ca et Mg dans les solutions, la valeur ΔK est déterminée par la différence de concentration en K de la solution initiale et de la solution après équilibre.

Bien que cette méthode soit à présent fort connue, il convient d'en rappeler certaines données constantes dont l'interprétation sera donnée dans les paragraphes suivants.

On trace un graphique représentatif de ΔK échangeable, en milliéquivalent, porté en ordonnée positive ou négative, en fonction de ARK en abscisse; pour une valeur donnée de ΔK échangeable, ARK est indépendant de $\sqrt{a(Ca + Mg)}$ et de la concentration globale de la solution, l'équilibre est par contre fonction de la température.

La courbe présente une partie linéaire, et une partie incurvée à la base qui tend à être asymptotique à l'axe ΔK (figure 2).

L'intersection avec l'abscisse pour $\Delta K = 0$ est nommée AR_0 , elle représente en principe l'équilibre de la solution avec le sol, puisqu'il n'y a ni gain ni perte.

La valeur ΔK_0 est donnée par l'intersection du prolongement de la partie linéaire avec l'ordonnée, c'est la quantité du potassium du sol retenu par des sites, dont l'équilibre d'échange obéit à la loi linéaire, c'est-à-dire la loi de *Gapon*.

La valeur KL ou potassium labile est limitée par le prolongement linéaire de la partie incurvée.

Enfin, la valeur Kx est la différence entre KL et ΔK_0 , elle correspond à la capacité des sites d'échange spécifiques pour le potassium.

Le gradient de la partie linéaire porte le nom de PBC ou en français PTP (pouvoir tampon potentiel), mais on l'appelle aussi PTL (pouvoir tampon linéaire) par opposition à PTT (pouvoir tampon tangentiel) qui correspond à une valeur donnée de AR dans la partie incurvée.

La valeur de KL est généralement inférieure ou au plus égale au potassium échangeable.

Les méthodes de *Woodruff* et de *Beckett* ont été fréquemment utilisées dans des études sur la fertilité potassique au cours des années récentes.

Tinker [37] a appliqué cette méthode à des sols latéritiques assez sableux de Nigéria, fortement acides ($pH = 4$ à 5), avec des taux de Al échangeable variant de $0,5$ à 2 m.e. par 100 g.

Il a été constaté que dans les essais d'équilibre $\frac{K}{\sqrt{Ca + Mg}}$,

ces sols donnent des valeurs de AR_K très basses.

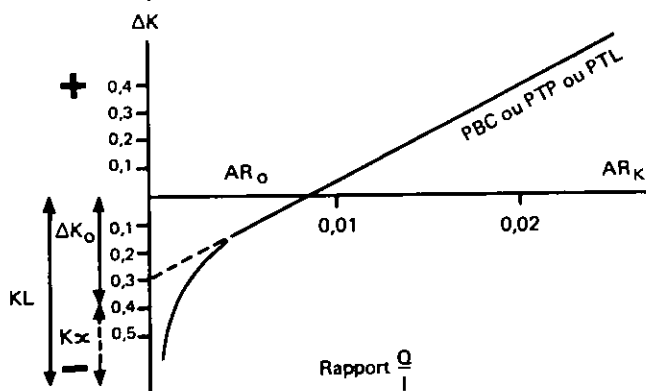


Fig. 2

En ce qui concerne la courbe représentative Q/t , on accroît la pente en ajoutant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et on la diminue en ajoutant AlCl_3 .

Tinker modifie la méthode de Beckett de la façon suivante:

Il agite 10 g de sol dans 50 ml de solution CaCl_2 0,002 M, contenant: 0-0,25-0,5-1-1,5-2- 10^{-3} M KCl et 0-5-10 ppm Al (AlCl_3).

Il aboutit à une nouvelle formule d'équilibre appelée ARU

$$\frac{aK}{\sqrt{a(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{P}^3}/\text{Al}}$$

Si on remplace Al par Ca en ajoutant 2 m.e. de Ca pour 100 g de sol, on ne modifie pas la valeur de cet équilibre.

D'autres auteurs ont tenté de modifier cette méthode ou de la simplifier, mais sans lui apporter d'améliorations importantes.

1.1.5. Méthode d'extraction à l'eau chaude

Nash [30] utilise une méthode assez originale qui consiste à extraire le K du sol dans un soxhlet par de l'eau à l'ébullition, les extraits sont analysés au bout d'une demi-heure, puis chaque heure jusqu'à 8 heures (figure 3).

L'extrait au bout de 8 heures est très hautement corrélé avec K échangeable ($r=0,953$), mais est supérieur au K échangeable par l'acétate d'ammonium, la différence correspond à du K difficilement échangeable. La différence de K après 8 heures et de K après une demi-heure s'appelle «K lentement extractible», elle a été mise en corrélation avec l'absorption de K par les plantes.

1.2. Méthodes physicochimiques

1.2.1. Electrodialyse

L'électrodialyse a été utilisée pour extraire K du sol. *Reitemeier et al.* [32], de même que des travaux plus récents, ont présenté cette méthode. Suivant le temps et l'intensité du courant, on extrait des formes plus ou moins difficilement échangeables ou même non échangeables.

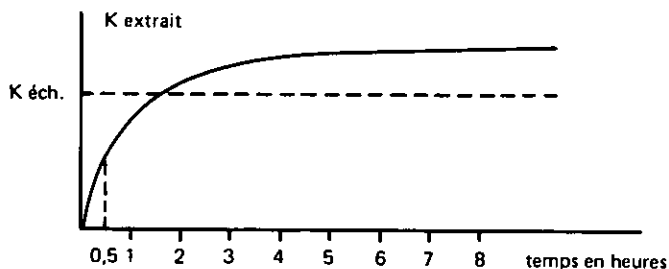


Fig. 3

1.2.2. Résines échangeuses

Les résines d'échange de cations H^+ ont été largement utilisées (*Barber et Matthews [8]*; *Arnold [5]*; *Salmon [35]*; *MacLean et Brydon [26]*; *Haugma et Miller [21]*; *Talibudeen et Rajendran [38]*).

Certains auteurs font agir la résine pendant deux jours (*Barber et Matthews [8]*), d'autres trois jours (*Salmon [35]*), certaines expériences ont porté sur des extractions de 43 jours.

Matthews et Smith [28] ont utilisé un système de percolation à l'eau, d'un sol, suivi d'une résine. Suivant le temps d'extraction, on obtient des formes de K plus ou moins difficilement échangeables et même non échangeables.

La différence entre le K extrait par une résine en deux jours et le K échangeable, s'appelle «K modérément disponible».

1.2.3. Méthode isotopique

Une méthode de K isotopiquement échangeable est présentée par *Graham et Fox [19]*. 1 g de sol sec (70°) est placé dans un flacon fermé par un bouchon vissé, avec 4 ml de $CaCl_2$ 0,05 M, enrichi avec une certaine quantité de K^{40} , puis on complète à 25 ml avec $CaCl_2$ 0,05M, et on agit par retournement quatre fois 15 mn, on centrifuge, on prélève 4 ml de solution surnageante, on ajoute 5,5 ml de tritium X 100, puis certains produits de complément (scintillateur), et on mesure l'activité avec un compteur à scintillation, on fait une correction pour la radioactivité due au potassium du sol. On effectue le même équilibre (sol- $CaCl_2$) sans élément radioactif et on mesure K^{39} - K^{41} , dans le surnageant, par photométrie de flammé.

On calcule la concentration de l'échangeur sur la phase sol.

La somme du potassium de la phase sol (interne) et de la solution (externe) est mise en relation avec la valeur du pool labile K_0 .

1.3. Méthodes par cultures en pot

Les cultures en pot sont pratiquées depuis fort longtemps, mais nous ne citerons que celles qui peuvent être considérées comme des tests analytiques.

Parmi ces derniers, le test de *Neubauer* est un des plus classiques; il a été utilisé en particulier par *Blanchet [9]*; il consiste à épuiser une petite quantité de sol, 20 à 50 g, par une grande densité de plantules (généralement des céréales), la quantité de K extraite en 21 jours représente une mesure du K assimilable du sol; ont peut le pratiquer sur des sols diversement enrichis en K. *Crisostomo et Castro [12]* l'ont appliqué sur des sols du Brésil.

D'autres techniques d'essais employées récemment utilisent des vases d'une capacité de l'ordre du litre ou davantage, les plantes utilisées sont variées et considérées comme plantes test (le ray-grass, la luzerne, l'avoine, le blé, le riz, le maïs, le sudan-grass, le pueraria, etc.), le nombre de graines utilisées est variable mais correspond à un fort développement racinaire. On apporte généralement au sol en une fois un mélange équilibré de tous les éléments, excepté le potassium, et on rajoute de l'azote à plusieurs reprises. L'humidité est maintenue à un taux connu et constant.

On pratique assez fréquemment, dans le cas du ray-grass par exemple, une culture de 21 jours et deux repousses (*Chaminade [13]*). Certains auteurs, comme *Farina*

au Natal [17], font jusqu'à sept récoltes (dès que les meilleures plantes ont 15 cm, on analyse le potassium de chaque récolte et on trace la courbe cumulative des exportations). Le sol est analysé avant l'expérience.

Hagin et Feigenbaum [36] font plusieurs cultures de blé (six cycles successifs de 21 jours); ils pratiquent suffisamment de répétitions pour analyser sol et plante sur deux répétitions après chaque cycle, et continuent ainsi jusqu'à épuisement.

Emo Ruy de Miranda et al. [15] utilisent des pots de 2500 g (terre sèche); ils sèment 5 graines de maïs hybride et font une première récolte après 28 jours, ils recommencent ensuite deux autres cultures de maïs (au moins), après chaque récolte ils retirent la terre des vases et éliminent les racines par tamisage et ils analysent le sol après chaque période afin de déterminer la relation Q_1 .

Les différents tests varient quelque peu suivant que l'on recherche un épuisement plus ou moins important, ou que l'on désire suivre d'une façon plus ou moins détaillée l'évolution du sol et l'exportation par les plantes au cours de l'épuisement.

Une autre méthode de culture un peu différente est celle préconisée par *De Ment, Stanford et Bradford* [14].

Une culture de jeunes plantules d'orge, alimentée sur sable avec une solution nutritive carencée en potassium est reportée avec son support inerte sur l'échantillon de sol à étudier. Après un temps de culture déterminé, le potassium est dosé dans le végétal, le K échangeable étant dosé avant et après culture dans le sol.

Le K non échangeable extrait du sol est

K non échangeable = K exporté — K échangeable.

D'une manière générale, la culture d'épuisement fournit une excellente méthode pour la détermination des réserves en K (échangeable et non échangeable), mais elle peut exiger plusieurs mois; les auteurs ont donc cherché à établir des corrélations entre les résultats de ces méthodes et les autres techniques par voie chimique plus rapides.

2. Valeur comparée des différentes méthodes

2.1. Techniques d'extraction du potassium total aux acides forts

Boyer, dans la communication précédente, cite plusieurs exemples de teneurs en potassium total extrait par des acides forts, le rapport K échangeable/K total est souvent inférieur à 1%, même dans des sols contenant peu de minéraux altérables, on admet que ce potassium est utilisé pour la reconstitution du stock échangeable à plus ou moins long terme, mais on connaît mal la vitesse de reconstitution. Suivant la nature des minéraux, la solubilisation peut être plus ou moins aisée, on admet le classement suivant:

Feldspath < illite < muscovite < biotite.

En ce qui concerne les sols à sesquioxydes très évolués, *Graham et Fox* [19] indiquent que le potassium diffuse très difficilement au travers des agrégats latéritisés.

Si l'on a pu, dans certains cas, trouver une corrélation entre potassium total et fertilité, elle n'est valable que pour un type de sol donné.

2.2. Extraction de potassium par les autres méthodes

En ce qui concerne les autres méthodes d'extraction qui fournissent soit le potassium échangeable, soit le potassium difficilement échangeable, ou au contraire des formes plus aisément libérables, les auteurs ont cherché à comparer entre elles plusieurs de ces méthodes, et à établir des corrélations avec les exportations par les plantes.

2.2.1. K échangeable

La méthode la plus simple et la plus couramment employée est celle du K échangeable par l'acétate d'ammonium normal à $\text{pH} = 7$.

Blanchet, en 1959, a étudié l'exportation du K échangeable dans des essais, *Neubauer* sur des sols de richesse variable. Les quantités de K absorbées varient de 16 à 250 ppm et représentent 75% du K échangeable. En ce qui concerne la réaction aux engrais potassiques, la teneur en K échangeable donne une corrélation faible, par contre

cette corrélation est nettement améliorée si l'on utilise les rapports $\frac{\text{K}}{\text{Ca}}$ ou $\frac{\text{K}}{\text{S}}$ ou $\frac{\text{K}}{\text{T}}$

La corrélation avec la concentration de la solution de sol est nulle. L'alimentation en K des plantes dépend de la densité des ions K par rapport aux autres cations échangeables du sol.

Dans les études comparatives récentes, *Farina* [17], sur des sols du Natal, *Graham* et *Fox* [19], sur des sols ferrallitiques des Hawaï, *Ruij de Miranda* [15], à Costa Rica, *Crisostomo* et *Castro* [12], au Brésil, *Nash* [30], au Mississipi, *Fernandez Caldas* et *Borges Perez* [18], aux Canaries [180], les auteurs ont montré que le potassium échangeable à l'acétate d'ammonium était en corrélation avec les exportations des récoltes, soit en pot, soit aux champs, et était également en corrélation étroite avec d'autres tests plus élaborés, mais plus difficiles à obtenir; ce qui fait que cette mesure restait dans de nombreux cas la plus intéressante en pratique.

2.2.2. Utilisation du rapport Q_1

Les mesures autres que K échangeable ont permis parfois d'améliorer ces corrélations, de mieux comprendre le mécanisme de la fourniture du potassium aux plantes, et d'expliquer les cas où la mesure du K échangeable était en défaut, en particulier dans les expériences d'épuisement du sol.

Les différents paramètres de la courbe Q_1 de *Beckett*, ARK_0 , K_0 , PBC_K , KI , etc., ont été très fréquemment corrélés avec les exportations des récoltes.

Dans les sols des régions tempérées, en particulier les sols britanniques, assez riches en K échangeable, l'absorption du K par le ray-grass est en relation étroite avec le rapport d'activité ARK (*Addiscott* et *Talibudeen* [2]); par contre, dans des sols de Malaisie carencés en K, les mêmes auteurs n'ont pas trouvé de corrélation du ARK avec l'absorption par le puéraria, mais une relation très significative avec le pouvoir tampon (PBC).

Nash, sur des sols du Mississipi, montre que AR_0 est en corrélation avec l'absorption sur une courte période, en particulier la première récolte en pot, mais n'indique pas l'absorption sur une plus longue période. AR_0 en particulier est en corrélation avec le potassium extrait en 30 mn par l'eau bouillante au soxhlet, et également avec K extrait dans les 25 premiers ml de l'acétate NH_4 0,01 N. AR_0 est en corrélation haute-

ment significative avec le pour-cent de saturation en K $\left(\frac{K}{Ca + Mg} \text{ échangeable} \right)$.

Emo Ruy de Miranda (Costa Rica) montre également dans un essai d'épuisement en pot une corrélation entre AR_0 et l'exportation en K de la première récolte en pot.

Graham et Fox (sols des Hawaï) trouvent également une corrélation ($R = 0,94$) entre ARK et le potassium des plantes, néanmoins ils constatent que la valeur des rapports d'activité de ces sols tropicaux sont relativement bas, comparés à ceux des sols de la zone tempérée.

Farina (Natal) ne trouve pas de corrélation entre AR_0K et l'exportation en pot par le ray-grass, par contre il trouve une corrélation hautement significative, qui se maintient à tous les stades d'épuisement (sept récoltes successives) en associant AR_0K et $PBCK$. *Tinker [37]* signale que dans les sols très acides de Nigéria, la réponse aux engrais potassiques des cultures de palmier à huile n'est pas en relation avec le AR_0 de Beckett,

par contre le rapport $AR_0 \frac{K}{\sqrt{Ca + Mg + P^3} \sqrt{Al}}$ donne une mesure de l'assimilabilité de K.

Si l'on remplace Al par Ca, par chaulage, le nouvel $ARCa$ est en corrélation avec l'assimilabilité du potassium.

En ce qui concerne la valeur K_0 , elle est souvent corrélée avec K échangeable, en ce qui concerne KL sa valeur est voisine de K échangeable, mais souvent un peu plus faible.

Le $PBCK$ ou pouvoir tampon potentiel, est une grandeur qui définit la plus ou moins grande constance de la phase soluble au cours des variations de la phase adsorbée; généralement l'enrichissement ou l'appauvrissement normal d'un sol par la culture modifie peu le rapport Q/I , on a des séries de courbes parallèles, le gradient de la partie linéaire restant constant.

La valeur de PBC_K peut être en relation avec l'alimentation potassique des plantes lorsqu'on compare des sols présentant des valeurs très différentes, par exemple sols ferrallitiques des Hawaï (*Graham et Fox [19]*); plus fréquemment les corrélations directes sont faibles (*Nash [30]*, *Ruy de Miranda [15]*); par contre, on peut améliorer ces corrélations en associant PBC_K avec K_0 ou AR_0K (*Farina [17]*).

Généralement, $PBCK$ est en corrélation avec la capacité d'échange de bases (CEC), mais surtout la teneur en argile. La matière organique par rapport à sa CEC intervient moins que l'argile sur le PBC. De nombreux facteurs peuvent intervenir sur la valeur de $PBCK$ en modifiant les sites d'échange pour K-Ca-Mg.

Les cations Fe-Al, les produits organiques, les variations de pH, modifient la valeur du potentiel tampon, de même, l'épuisement intensif en serres accroît la valeur de PBC. Cette valeur ne peut donc être utilisée comme une donnée fixe du sol. Le seul paramètre unique est l'énergie libre standard d'échange dans des états standards bien définis.

Dans des essais d'épuisement avec le blé (six cycles de 21 jours), *Feigenbaum et Hagin [1967]* trouvent une relation linéaire entre le K extrait par les plantes et le ΔF de *Woodruff*

$$\Delta F = RT \ln \frac{C_K}{\sqrt{C_{Ca} + C_{Mg}}}$$

Il existe une relation linéaire entre ΔF et $\text{Log } \frac{K}{\text{CEC}} \%$

$$\text{Log } K/\text{CEC}\% = -0,0058 \Delta F + 3,304$$

$r = 0,80$ $n = 120$.

Si le PBC n'est pas toujours en relation directe avec l'exportation, par contre, on peut l'utiliser pour juger de la fréquence d'une fertilisation potassique (*Emo Ruy de Miranda [15]*); de même, la courbe PBC dans les sols ferrallitiques des Hawaï est assez caractéristique du degré d'altération des sols (*Graham et Fox [19]*).

Acquaye, MacLean et Rice [3] ont trouvé que le pouvoir tampon de quelques sols ghanéens était en corrélation avec leur pouvoir de fixation du potassium et avec les réserves en K non échangeables mesurées par la méthode à l'acide nitrique ou l'épuisement par des cultures d'avoine.

2.2.3. Réserves en potassium non échangeable

Après exportation du pool labile (généralement représenté par KL), il se produit une libération du potassium non échangeable qui tend à restaurer l'état d'équilibre

potassique du sol, il existe pour chaque sol une valeur d'équilibre $\frac{K}{\text{CEC}}$ vers laquelle

la libération (ou la fixation) du potassium tend à restaurer le sol.

La libération du K provient d'une fraction dite «potassium intermédiaire» ou «pool intermédiaire» qui est généralement retenue dans les angles dilatés des plaques d'argile. Le potassium est plus facilement libéré de ce pool intermédiaire que le potassium non désagrégé ou «K natif» qui se situe au centre des plaques d'argile ou des minéraux primaires. Ce pool intermédiaire ne contient qu'une quantité modérée qui peut être éliminée par un épuisement soutenu par une culture, ou certains réactifs chimiques. Différentes techniques ont été présentées, les meilleures sont les cultures d'épuisement, mais elles peuvent exiger plusieurs mois. L'épuisement par les résines a donné de bons résultats. *MacLean [25]* a trouvé une corrélation entre K non échangeable extrait par les résines et le K extrait par l'avoine ou le Sudan-Grass de sols canadiens. Selon *Salmon [350]*, dans des sols rhodésiens, la corrélation est presque de 1/1 du K disponible pour une culture et du K extrait par les résines H en trois jours. *Bolton [100]* a trouvé le même résultat pour des sols britanniques et malais, mais pour un épuisement de 43 jours.

L'acide nitrique N bouillant pendant 10 mn appliqué à plusieurs reprises, donne deux formes non échangeables, le «K de départ» et le «K à taux constant».

Haylock [20] a montré que les plantes peuvent puiser le «K de départ» non échangeable. *MacLean [250]* a obtenu également une corrélation entre le K non échangeable extrait par les plantes et les extraits répétés avec NO_3H N bouillant.

Nash [30] montre que le K difficilement échangeable extrait à l'eau bouillante en soxhlet pendant 8 heures est en meilleure corrélation avec la deuxième récolte en pot que le K échangeable.

Farina [17] montre que l'acide nitrique bouillant ne donne pas de corrélation avec la première exportation en pot, mais le coefficient de corrélation augmente avec les cultures successives - 2^e, 3^e, 4^e - jusqu'à la 7^e récolte.

Moss et Coulter [27] ont montré que des parcelles non fertilisées et des parcelles fertilisées avec K avaient des valeurs similaires de K libéré à taux constant, mais que

les parcelles fertilisées avec K avaient beaucoup plus de «K de départ». Donc le «K de départ» représenterait mieux le «pool intermédiaire», alors que le K à taux constant constituerait l'extraction progressive du K «natif» ou «non désagrégé». D'autres techniques d'épuisement peuvent également rendre compte du pool non échangeable, en particulier la technique de *Hagin* qui consiste à tracer la courbe d'épuisement du sol par 14 extractions successives par CaCl_2 N/100 dans un rapport

$$\frac{\text{sol}}{\text{solution}} = \frac{1}{10}$$

On a cherché à mettre en relation le K non échangeable avec la finesse des particules du sol, les résultats sont souvent contradictoires. D'après *Abed et Drew [1]*, c'est surtout la présence d'illite et de mica qui donne des résultats positifs.

Newman et Brown [29] ont montré que des micas di- et trioctaédriques ont été transformés en minéraux similaires à la vermiculite lorsque K a été extrait par le tétra-phenylborate de sodium.

D'une manière générale, *Reitemeier et al. [32]* et *MacLean [25]* ont montré que les différentes méthodes d'extraction du K non échangeable: NO_3H bouillant, résine H, percolation continue par 0,01 N HCl, électrodialyse, etc., donnaient des résultats qui étaient significativement en rapport entre eux et classaient les sols de la même manière que les techniques d'épuisement par les cultures.

3. Conclusion générale

La revue qui vient d'être exposée est loin d'être complète, cependant elle permet de montrer que les méthodes d'analyse du potassium fournissent de bons renseignements pour les diagnostics de fertilité, la technique du potassium échangeable à l'acétate d'ammonium N, est intéressante par sa simplicité et donne des corrélations suffisantes avec les exportations des récoltes dans un grand nombre de cas. Cependant, même

dans les sols bien pourvus en potassium, il faut tenir compte du rapport $\frac{\text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$

échangeable, qui est en corrélation avec l'intensité ARK de la solution en équilibre avec le sol et, par ailleurs, en condition d'épuisement il est indispensable de déterminer le potassium non échangeable du «pool intermédiaire» que l'on peut obtenir par différentes méthodes; il n'existe peut-être pas de méthode unique et universelle pour résoudre aisément tous les problèmes, mais l'on dispose déjà d'un arsenal suffisant de méthodes qui, joint à une connaissance de la nature du sol et de certaines de ses propriétés (nature des colloïdes, pH, type d'évolution, etc.), peut permettre une connaissance convenable du métabolisme potassique des sols.

4. Bibliographie

1. *Abed F. M. A. H. et Drew J. V.*: Importance of illite as a source of potassium in Nebraska soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30, 242 (1966).
2. *Addiscott T. M. et Talibudeen O.*: The buffering capacity of potassium reserves in soils. *Revue de la Potasse* (Berne), sujet 4, 45, sept. (1969).
3. *Acquaye D. R., MacLean A. J. et Rice H. M.*: Potential and capacity of K in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103, 2, 79-89 (1967).

4. *Ahenkorah Y.*: Potassium supplying power of some soils of Ghana cropped to cacao. *Soil Sci.* 109, 2, 127-135 (1970).
5. *Arnold P. W.*: Potassium uptake by cation-exchange resins from soils and minerals. *Nature, Lond.* 182, 1594 (1958).
6. *Beckett P. H. T.*: Studies on soil potassium. II. The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15, 9-23 (1964).
7. *Binnie R. R.* et *Barber S. A.*: Contrasting release characteristics of potassium in alluvial and associated upland soils of Indiana. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28, 387 (1964).
8. *Barber T. E.* et *Mathews B. C.*: Release of non-exchangeable potassium by resin equilibration and significance for crop growth. *Canad. J. Soil. Sci.* 42, 266 (1962).
9. *Blanchet R.*: Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. *Ann. Agron.* 10, n° 1, 5-53, n°2, 125-149, n° 3, 267-307 (1959).
10. *Bolton J.*: The distribution and availability to plants of sodium and other cations in soils. Ph. D. Thesis Londres 1967.
11. *Coulter J. K.*: Soils of Malaysia. A review of investigations on their fertility and management. Committee on tropical soils. London 8-12 June 1970, 54 p.
12. *Crisostomo L. A.* et *Castro A. F.*: Poder de suprimento de potássio dos solos da zonafisiográfica de Baturite. Ceará, Brasil, Turrialba 20, 4, 425, 433 (1970).
13. *Chaminade R.*: Etude des carences minérales du sol par l'expérimentation en petits vases de végétation. *Science du Sol* n° 2 (1964).
14. *De Ment J. D.*, *Stanford G.* et *Bradford B. N.*: A method for measuring short term nutrient absorption by plants potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23, 47-50 (1959).
15. *Emo Ruy de Miranda, Kozen Igue* et *Gilberto Paez*: Efeito de cultivos sucessivos Na relação Q/I de potássio. *Revista Theobroma, An. n° 2, Outubro Alzembro, n° 4* (1972).
16. voir [33].
17. *Farina M. P.*: Fertility studies of the major soil series in Natal potassium availability in six depth increment of Avalon medium sandy loam. Landbouw Vorsing Agricultural Research, Final report (1969/70).
18. *Fernandez Caldas E. F.* et *Borges Perez A.*: Interactions entre divers indices du K assimilable dans les sols de bananeraies. *Fruits* 28, n° 3 (1973).
19. *Graham E. R.* et *Fox R. L.*: Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. *Soil Science*, vol. 111, n° 5, p. 318 (1971).
20. *Haylock O. F.*: A method for estimating the availability of non-exchangeable potassium. *Proc. 6th int. Cong. Soil Sci. B.* 403 (1956).
21. *Haagsma T.* et *Miller M. H.*: The release of non-exchangeable soil potassium to cation exchange resins as influenced by temperature, moisture and exchanging ion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27, 153 (1963).
22. *Hunter A. H.* et *Pratt P. F.*: Extraction of potassium from soils by H₂SO₄. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21, 595-598 (1958).
23. *Laudelout H.*: Etude pédologique d'un essai de fumure minérale de l'Elaeis à Yagambi. Publ. INEAC - Série Scientifique n° 47, 21 p. (1950).
24. *Mohinder Singh M.* et *Talibudeen O.*: Thermodynamic assessment of the nutrient status of rubber growing soils. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya* 21, 2, 240-249 (1969).
25. *MacLean A. J.*: Potassium supplying power of some Canadian soils. *Canad. J. Soil Sci.* 41, 196 (1961).
26. *MacLean A. J.* et *Brydon J. E.*: Release and fixation of potassium in different size fractions of some Canadian soils as related to their mineralogy. *Canad. J. Soil Sci.* 43, 123 (1963).
27. *Moss P.* et *Coulter J. K.*: The potassium status of West Indian volcanic soils. *J. Soil Sci.* 15, 284 à 298 (1964).
28. *Mathews B. C.* et *Smith J. A.*: A percolation method for determining the potassium supplying power of soils. *Canad. J. Soil Sci.* 37, 21 (1957).
29. *Newman A. C. D.* et *Brown G.*: Chemical changes during the alteration of micas. *Clay Minerals* 6, 297 (1966).
30. *Nash V. E.*: Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi coastal plain as revealed by various extracting agents. *Soil Sci.* 111, n° 5 (1971).
31. *Pratt P. F.*: Potassium in Method of soil analysis. *Madison Wisconsin. An. Soc. of Agro.* 1022-1030 (1965).
32. *Reitemeier R. F.*, *Holmes F. S.*, *Brown I. C.*, *Klipp L. W.* et *Parks R. Q.*: Release of non-exchangeable potassium by greenhouse. Neubauer and Laboratory methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 12, 158 (1947).

33. *Robinson J. B. et Semb C.*: Advisory soil and plant analysis and fertiliser use. I. Comparison of soil analysis methods. II: Evaluation of soil analysis methods with maize yield data. *East Africa Agric. and For.* 34, 1, 117-127, et 34, 1, 140-152 (1968).
34. *Siew Kee N.G.*: Potassium status of some Malayan soils. *Malayan agric. J.* 45, 143-161 (1965).
35. *Salmon R.C.*: Release of non-exchangeable potassium from some Rhodesian soils cropped with grass. *J. agric. Sci. Camb.* 65, 135 (1965).
36. *Hagin J. et Feigenbaum S.*: Estimation of available potassium reserves in the soil. *Potassium Symp.* 7, 219 (1962).
37. *Tinker P.B.*: Studies on soil potassium. IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertiliser of Nigerian oil palms. *J. Soil Sci.* 15, 35 (1964 b).
38. *Talibudeen O. et Rajendran N.*: Extraction of potassium from soils by exchange resins. *Rothamsted Exp. Stn. for 1968*, 55 (1969).
39. *Vely J.*: Fertilisation prolongée des sols tropicaux. *Agronomie Tropicale* 17, n° 9, p. 966-976 (1972).
40. *Wodruff V.M.*: The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19, 167-171 (1955).

Comparative Studies of Analytical Methods for Determining Available Potassium in Tropical Soils

B. Dabin, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy/France

Extended Summary

In the *1st part of the study* various techniques of soil potassium analysis are surveyed, without pretending to exhaust the subject. The methods may be placed in three classes, with their sub-classes, as follows:

Chemical techniques:

Attack by concentrated acids, mainly the hydrofluoric – perchloric attack which gives a fairly correct value of soil potassium and the triacid attack (sulphuric, nitric, hydrochloric) which extracts only a small part of potassium from primary minerals.

Attack by diluted acids, and more especially the Haylock method (boiling HNO₃), which permits distinction of two forms of non-exchangeable potassium: initial potassium, and 'constant rate' potassium, extracted in equal quantity at each extraction.

The methods using neutral salts at moderate concentration, and organic acids, among which the most widely used is the exchangeable potassium method with *N* ammonium acetate; methods of the Morgan type; and sodium tetraphenylborate.

Methods that study the soil solution, in particular those using very dilute salt solutions in exchange equilibrium with the soil. The Beckett method and its adaptation by Tinker to soils containing exchangeable aluminium are described in detail with precise indication of the various values which they can determine for a particular soil.

Finally the Nash extracting method with hot water. By difference from exchangeable potassium, the results of the Nash method lead to the definition of a slowly extractable potassium.

The physico-chemical techniques

including electrodialysis, which gives variable results according to the length of time and the current intensity.

The H⁺ exchange resins which with various operating processes are able to extract forms of K more or less exchangeable with more or less difficulty.

The isotopic method, in particular the Graham and Fox technique using 40 K.

The pot experiments which vary widely from one author to another and among which one may distinguish:

- the Neubauer classical method
- the methods utilizing a plant (generally one of the gramineae) with successive regrowths (the Chaminade type of method)
- the methods using alternate cultivation of one or several plants
- the Stanford-De Ment method utilizing seedlings previously made deficient in K.

Generally speaking pot experiments are complemented by chemical analysis. Most often, one tries to calculate the quantity of non-exchangeable potassium which has been removed by the plants.

In the 2nd part of the study, a bibliographic index compares the value of these different methods in relation to the potassic nutrition of the plants.

- The total potassium given by extraction with strong acids is often a hundred times higher than the soil exchangeable potassium. It is assumed that this potassium is used to restore the exchangeable stock, but without accurate knowledge of the reconstitution rate. In some cases there is a correlation between total K and fertility but this is only true for a given type of soil.
- The exchangeable potassium by ammonium acetate remains very often the most interesting determination for practical purposes for, as many studies have shown, in tropical soils it is in correlation with K removal by crops whether in pots or in the field and also with the results of more complicated measurements.
- The bibliographic study of work carried out with methods of the Beckett type shows that according to cases – soils or crops – it seems appropriate to utilize one or the other of the factors that this method enables us to define – for example the activity ratio at equilibrium (ARK^0) or the buffering power (PBC κ) – or a combination of these factors.

The buffering power is itself in correlation with the base exchange capacity (CEC) and moreover with the clay content. The fraction of the CEC due to organic matter has less importance for the PBC κ than the one linked to clay. A case of liaison between the buffering power on the one hand, and the fixing power of K or the non exchangeable K reserves on the other hand, is mentioned.

For the estimation of these non-exchangeable K reserves the best techniques remain the K-exhausting pot experiments but unfortunately they take too much time to carry out. Some good results have been obtained with H^+ resins and also with boiling I-N nitric acid (Haylock method).

The conclusion seems to be that, if there is no unique and universal method, the range of techniques which is at our disposal together with the knowledge of other soil characteristics may enable us to gain a fair knowledge of the dynamics of potassium in soils.

Evaluation of Analytical Methods for Determining Potassium Status of Nigerian Soils

R. A. Sobulo, M. Agric. Sci., Institute of Agricultural Research and Training, University of Ife, Ibadan/Nigeria

Summary

Exchangeable potassium with 1*N* ammonium acetate or other quantity measurements using dilute mineral acids of 0.1*N* in strength and dilute salt solutions are suitable indexes for determining potassium status of Nigerian Soils for short cropping season while a combination of the exchangeable K and non-exchangeable in 1*N* nitric acid is a better index than either alone for continuous cropping.

Response to potassium under intensive cropping for annual crops is unlikely on soils with exchangeable K of about 20 mg K/100 g though lower limit is common in the savannah area. Recommendations on potassium fertilisation on maize based on calibration of soil tests with field yield data have been adopted in some parts of Nigeria.

Introduction

Soil potassium in Nigeria has not been given as much attention as it deserves except in oil palm growing areas of the South Eastern part (*Tinker and Ziboh [31]; Forde [16]*) where potassium is indispensable to the crop. This is probably because response to this element by annual crops is not wide spread, as it is with phosphorus and nitrogen (*Amon [5, 6]; Baker [11]; Watson [34]*). Recent work in the savannah area (*Heathcote and Stockinger [20]*) and in the rain forest zone of South Western Nigeria (*Amon and Adetunji [8]*) indicate that potassium could be as important as the other major elements under intensive cropping and improved agricultural practices. Soils in Nigeria are derived from different parent materials which include igneous, metamorphic and sedimentary rocks as well as loess and alluvial deposits (*Smyth and Montgomery [29]; Wild [360]*). The bedrock character varies from highly acidic to highly basic. Rainfall varies from about 2500 mm in the south to about 500 mm in the north under savannah vegetation. It is therefore expected that potassium status and the most suitable methods of assessment would vary from one ecological zone to the other.

This paper reports on the methods that have been used to assess potassium status in various parts of Nigeria and their suitabilities in determining potassium status of the soils. Such evaluation will be useful for soil testing advisory service, to farmers in Nigeria, on potassium fertilisation.

This report will be discussed under various headings, viz. Correlation of soil potassium with potassium uptake in greenhouse studies; release of non-exchangeable po-

tassium by biological and chemical methods as well as relationship between this parameter and other soil properties such as potassium fixing capacity and clay content; the calibration of soil analysis with field yield data and leaf analysis.

1. Correlation studies in the greenhouse

In the evaluation of analytical methods for determining nutrient status of soils, greenhouse studies are useful since other environmental factors can be controlled to a minimum except the one under test. *Sobulo* [30] used various extractants and procedures as shown in table 1 and obtained very good correlations between potassium extracted by dilute acids and salt solutions, and potassium uptake by elephant grass and maize. Activity ratio (a function of potassium potential - *Beckett* [12]), potassium potential buffering capacity (PBCk) and potassium saturation

exchangeable K
cation exchange capacity

were poorly related to uptake. *Wild* [36] also found that potassium potential and PBCk were poor indexes of available K for savannah soils of Northern Nigeria which forms about two-thirds of the country. On soils of south eastern Nigeria, mostly supporting oilpalm, *Epkete* [14] also obtained very good correlations with various extractants which include 1N HNO₃ (*Pratt* [23]) ammonium acetate and 0.01M calcium chloride. It is evident from these facts that all quantity measurements of available potassium are only slightly superior to one another, perhaps due to the fact that the clay fraction which is kaolinitic could not hold potassium strongly and is therefore easily removed even by any weak extractant. In general, dilute mineral acids of 0.1N in strength extract potassium almost equal to the exchangeable potassium by 1N ammonium acetate pH 7 (*Sobulo* [22] and Table 2) and could therefore be substituted for the latter. Very good correlations between K extracted by these reagents were also obtained (*Sobulo* [30]). Extraction by shaking for 30 minutes using soil/solution of 1:10 will be more suitable than leaching because

Table 1. Correlation between various methods of potassium extractant and potassium uptake by elephant grass and maize

Extractant	Method	Soil/ Solution	Time	Elephant grass		Maize
				Correlations		1st harvest
				1st harvest	2nd harvest	
1N ammonium acetate	leaching	1:50	12 h	0.81*	0.85***	N.D.
1N ammonium acetate	shaking	1:10	30 min	0.75***	0.80***	0.95***
0.13 NHC1	shaking	1:5	40 sec	0.74***	0.74***	0.94***
0.1N HNO ₃	shaking	1:10	30 min	0.79***	0.81***	0.96***
Morgan's solution	shaking	1:10	30 min	0.86***	0.92***	N.D.
0.01M CaCl ₂	shaking	1:2	30 min	0.66**	N.D.	0.97***

* = significant at 5%

** = significant at 1%

*** = significant at 0.1%

N.D. = not determined

the former is faster and more reproduceable than the latter where variability in leaching rates especially in a clayey soil may cause big differences between replicates of the same soil.

2. Release of non-exchangeable K

Release of non-exchangeable potassium has been used to assess long term potassium fertility of soils (*Reitemeier [22]*, *Smith and Matthews [28]*). Potassium supplying power of soils also called release of non-exchangeable K could be determined biologically by exhaustive cropping of a small volume of a soil (*Arnold and Close [10]*; *Acquaye et al. [1]*) or by chemical methods using various extractants (*Pratt [23]*); *Haylock [19]*; *Moss and Coulter [30]*). Good agreements between the two methods have sometimes been found (*Semb et al. [26]*).

Release of non-exchangeable K by exhaustive cropping was reported by various workers in Nigeria. (*Forde [16]*), using rye grass found 2.3–7.3 mg K/199 g on 'acid sands'. *Sobulo [unpublished]* obtained 7.1–17.1 mg K/100 g on soils from different ecological zones of South Western Nigeria and 0.35–12.5 mg K/100 g were obtained by *Wild [36]* in Northern Nigeria. The values on the 'acid sands' are relatively low compared with values obtained by the author (unpublished). This is a reflection of very poor reserves on the 'acid sands'. The author also found that soils derived from sandstone released lower non-exchangeable K than soils from the basement complex. Savannah soils were also found in this work to show slightly higher release than forest soils of

Table 2. Potassium status in profiles of typical soil supporting tree crops in Nigeria

Description of soils			Extractable K (mg K/100 g)				Total (%)	Clay (%)
Soil Profile No.	Soil series and parent material	Soil Depth (cm)	Ammonium acetate	0.1N HNO ₃	1N Boiling HNO ₃	Non-exchangeable K		
1	Iwo Coarse grained granite	0– 13	20.0	19.5	28.0	8.0	0.80	22.5
		13– 25	7.5	8.5	20.0	12.5	0.69	17.5
		25– 45	16.5	15.5	30.0	13.5	0.69	37.4
		45– 70	37.5	38.0	64.0	26.5	1.42	47.3
		70–104	37.0	36.5	74.0	37.0	2.89	47.4
		104–137	25.0	25.0	46.0	21.0	2.40	52.5
			18.5	17.5	48.0	29.5	3.70	47.5
2	Olorunda Fine grained biotite gneiss	0– 10	13.0	10.9	20.0	7.0	0.24	16.5
		10– 30	4.5	6.0	18.0	13.5	0.26	17.6
		30– 70	4.0	3.5	10.0	6.0	0.20	42.7
		70–100	3.5	3.3	8.0	4.5	0.15	48.8
		100–182	5.3	4.5	10.0	4.7	0.15	44.0
3	Alagba Fermiginous Sandstone	0– 30	10.30	–	14.80	4.20	0.06	20.4
		30– 60	6.60	–	7.50	0.90	0.03	16.4
		60– 90	6.80	–	9.00	2.20	0.02	28.4
		90–120	3.40	–	5.75	2.35	0.02	47.2
		120–150	2.50	–	4.75	2.25	0.02	38.2
		150–180	3.30	–	9.50	6.20	0.03	25.2
		180–210	2.40	–	5.00	2.60	0.02	25.2

similar exchangeable K. There was no relationship between potassium supplying power and various soil properties like clay content, initial exchangeable K, and potassium fixing capacity (*Sobulo [unpublished]*). This was partly due to kaolinitic nature of the soils (*Smyth and Montgomery [29]*; *Wild [33]*) which has no mechanism for holding K in 'fixed' forms from which the bulk of non-exchangeable K is drawn (*Arnold and Close [10]*). There was however a positive correlation between pH and release of non-exchangeable K (*Sobulo [unpublished]*) for fifteen soils from basement complex, indicating that acidification by fertiliser treatment and weathering could drastically reduce potassium reserves in the soils. Similar result was found in East Africa (*Grant [18]*). Potassium releasing power of Nigerian Soils are relatively low compared with some temperate soils (*Arnold and Close [10]*) but compares with others 1.2–18 mg K/100 g (*Smith and Matthews [29]*) on Canadian soils and 0.4–4.8 mg K/100 g in Ghana (*Acquaye et al. [1]*). It should be borne in mind that strict comparisons are difficult because of differences in test crops, volume of soil used and environmental conditions during cropping which would affect the amount of potassium released. This technique, though useful in differentiating soils of basement complex from those on sandstone (ferrallitic soils), is very laborious, slow and results cannot be easily compared because of the various methods of determination. It is therefore not a practicable routine method of assessing potassium status of Nigerian Soils. PH may probably be a rough guide in soils of similar parent rock.

The difference between soluble K in 1N HNO₃ and exchangeable has been used by some workers (*Pratt [23]*; *Haylock [19]*) as an index of K reserves. This technique has been found useful for differentiating soils of basement complex high in K from those derived from sandstone on Nigerian soils (*Tinker and Ziboh [31]*; *Sobulo [unpublished]*). It could measure intrinsic K status of soils for tree crops to which slow release rates of potassium from weatherable minerals in subsoil could suffice for good growth. Table 2 illustrates potassium status of three typical profiles of some soils good for tree crops in South Western Nigeria. Two series derived from coarse granite and with fragments of potassium at shallow depths (*Smyth and Montgomery [29]*) has, not only high reserve K (non-exchangeable K) but also high exchangeable K in the subsoil. Interpretation of soils with high organic matter should be done with caution because the acid tends to extract high potassium from the humus that contributes little to the mineral reserves of the soil (*Sobulo [unpublished]*).

Despite the ability of hot acid extraction in characterising potential of soils to supply K, it tells us little on rate of supply to the crop. It was found that, in some cases, a high proportion of non-exchangeable K extracted by the acid on forest soils was not available to crop even under intensive cropping (*Sobulo [unpublished]*) suggesting that much of the K extracted by the acid from the forest soils may not be available and could be likened to 'constant' rate K (*Haylock [19]*; *Moss and Coulter [21]*). Leaching method with very dilute acids and salt solutions (0.01N HCl and 0.01M CaCl₂) may be more useful than this method. When cumulative K extracted is plotted against volumes of extractants, slopes of such curves are likely to be more related to release rates than drastic treatments with hot acids. The slopes are more easily measured (*Sobulo [unpublished]*) than quantity intensity (Q/I) relationship (*Beckett [12]*; *Tinker [33]*) especially for Nigerian soils having very low buffering capacities (*Sobulo [30]*; *Tinker [33]*; *Wild [36]*). Work using very dilute acid like 0.05N and 0.01N is being done by the author to find the relationship between release rates of potassium by a soil in a continuous cropping and slopes of these curves,

and also to compare total release of non-exchangeable K by this method with that under continuous cropping.

3. Total K

Total K in soils especially in the clay fraction have been found to be related to release of non-exchangeable potassium in some British soils (*Arnold and Close [10]*). It was also shown that the fine clay gave the best relationship with release of non-exchangeable K. Such relationship could not be demonstrated on Nigerian soils (*Forde [16]*; *Sobulo [unpublished]*; *Wild [36]*) because the clay in these soils are kaolinitic and contain no hydrous micas capable of releasing substantial potassium. Total K in Nigerian soils are however useful in differentiating the ferrallitic soils low in reserves from soils on basement complex rocks (*Forde [16]*; *Wild [36]*). It is useful for finding ultimate reserves of soils from the basement complex rocks which vary widely in mineral composition over a short distance (*Wild [36]*). It is however useless in differentiating K status of soils derived from sandstone (*Tinker and Ziboh [31]*; *Sobulo [unpublished]*) which are low and show little variations down the profile and between profiles over widely separated areas (*Tinker and Ziboh [31]*; *Wild [30]*).

Total K in soil fractions, though useless in terms of predicting available non-exchangeable K, could be useful in assessing weatherable potash minerals, in the sand and silt fractions, which could decompose under hot humid conditions to meet needs of crops under non-intensive system of agriculture as practised in many parts of Nigeria. Table 3 contains total K determined by the author in some particle sizes of some soils in South Western Nigeria. Two series which has a high total K in the silt and fine sand contained feldspars. Total K is however tedious to measure but could be predicted from soluble K in hot N nitric acid (*Sobulo [unpublished]*) which is faster and more easily determined.

4. Calibration of soil analysis with yield data in the field

Greenhouse results cannot be readily interpreted in terms of yield data under field conditions. Methods found promising in the laboratory need to be calibrated in the field using properly designed experiments. There are very few reported work in

Table 3. Percent total potassium in various particle sizes of some soils in Nigeria

Soil Series	Parent material	Fine sand 200-20 μ	Silt 20-2 μ	Clay <2 μ
1. Aponu	Fine grained biotite gneiss and schists	1.15	-	0.50
2. Matako	Alluvium	1.45	-	0.57
3. Iwo	Coarse granite and gneiss	3.94	3.38	1.86
4. Egbeda	Fine grained biotite gneiss and schists	1.12	1.36	1.07
5. Gambari	Medium grained gneiss	1.66	-	0.48
6. Alagba	Feruginous sandstone	0.01	-	0.30

Nigeria on calibration of soil analysis with yield data. *Tinker and Ziboh [31]* compared various soil test methods which include exchangeable K, acid soluble K, and mole fraction $\frac{(\text{exchangeable K})}{(\text{cation exchange capacity})}$ and found that mole fraction gave the best index of predicting potassium responses measured by bunch yield of the oil palm. Later work by *Tinker [33]* showed that unified activity ratio

$$\frac{(\text{K}^+)}{(\text{Ca}^{++}) + (\text{Mg}^{++}) + \text{P}_3 \cdot (\text{Al}^{+++})}$$

was a better index than activity ratio which did not include a term of aluminium i.e.

$$\frac{(\text{K}^+)}{(\text{Ca}^{++}) + (\text{Mg}^{++})}$$

Contrary to the findings of *Tinker*, *Forde [15]* showed that exchangeable potassium gave the best correlation with yield data in the field and also obtained fairly good correlation with activity ratio containing no term for aluminium

$$\left(\frac{(\text{k}^+)}{(\text{Ca}^{++}) + (\text{Mg}^{++})} \right)$$

The discrepancies between the results of the two workers was explained by *Sobulo [30]* to be partly due to differences in methods of sampling for yield data.

Tinker sampled palms of different ages from also different experimental designs and used mean of four years while *Forde* sampled palms of the same age and took the mean of one year. The former also established critical potassium level to be 0.015 mole fraction in soils supporting oil palm (*Tinker and Ziboh [31]*) while exchangeable potassium of 5.5 mg/100 g seemed adequate from *Forde's* work [16].

Fertiliser trials on crops grown in rotation in soils derived from sediments. *Amon [5]*, also reported by *Bromfield [13]* and *Amon and Adetunji [8]* have always indicated responses to potassium on these soils when available K in 0.13N HCl (*Sobulo [30]*) is low. Figure 1 illustrates the yield increase obtained to potassium treatment on these soils compared with soils on basement complex. Where response was not found on the sediments with low exchangeable K, the soils were rather acid (pH < 4.5) and application of ammonium sulphate would repress uptake of potassium on no K plots resulting in very poor yields (*Bromfield [13]*).

The results of soil chemical data in fertiliser trials on maize in Nigeria (*Amon and Johnson [unpublished]*; *Amon and Adetunji [8]*; *Agboola [3, 4]*) indicate that yield responses to potassium were small or rare when exchangeable potassium is above 20 mg K/100 g though values as low as 5 mg K/100 g in the savannah is not an index of deficiency for yields as high as 3000 kg d.g/ha perhaps due to the fact that maize can extract non-exchangeable K from the primary minerals found in these savannah soils. It is however not known to what extent high potassium saturation of savannah soils (*Nye and Greenland [22]*) affects availability of potassium of these soils relative to forest soils of similar exchangeable K but higher cation exchange capacity.

Higher critical level of potassium often required in the forest than savannah may perhaps be partly due to lower yield often recorded in the latter than the former which in turn is due to lower rainfall in the savannah. Leaching losses of potassium is also likely to be more in the forest than savannah thus making a relatively high proportion

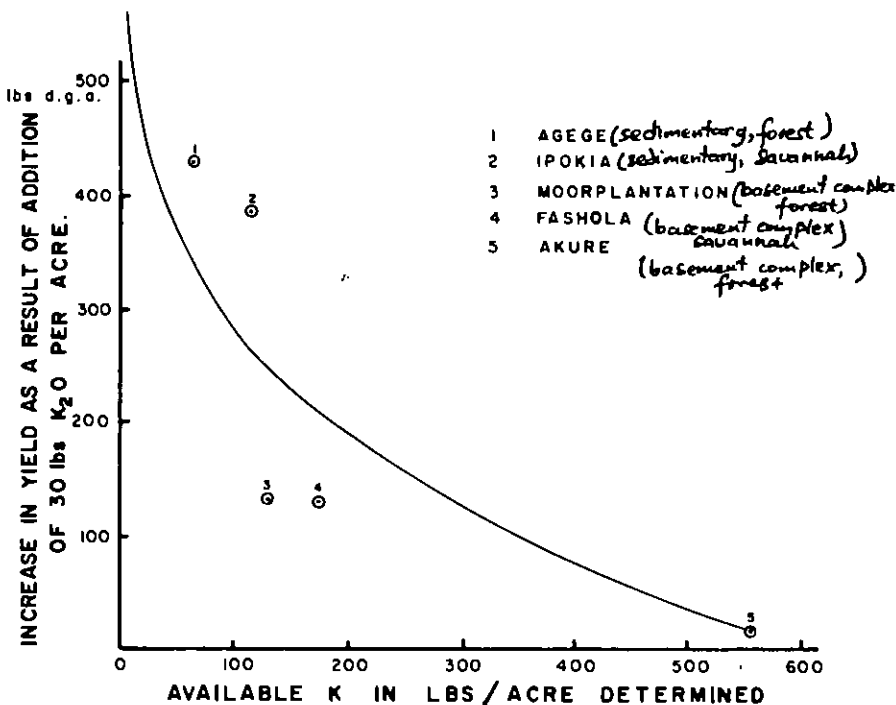


Fig. 1. Relationship between available K in 0.13N HCl and yield response by maize (Amon and Adetunji [8]).

of available potassium determined in the laboratory before cropping to be unavailable to the crop. Foster [17] reported that critical level of exchangeable potassium was 18 mg K/100 g for various crops in Uganda and claimed that response to potassium couldn't be predicted on soils with far lower value, except if they had been cropped continuously for long. It is therefore likely as Foster rightly suggested that under intensive cropping non-exchangeable K would be greatly tapped thus leading to K deficiency. This deficiency is aggravated by use of sulphate of ammonia and explains why the author found good correlation between release of non-exchangeable K and soil pH (Sobulo [unpublished]). The critical exchangeable K level suggested by the author is applicable to other crops like cassava and yams based on unpublished analytical results of reported work by Amon [6].

5. Soil analysis and fertiliser recommendation

The success of any extractant lies in its ability to predict economic fertiliser to apply to a crop. It should be able to differentiate deficient soils from those sufficient in the nutrient under test. Work done by Adetunji and Sobulo [2] for three years in calibrating various soil test methods with yield response of maize to potassium in different ecological zones of South Western Nigeria, indicate that available K measured with

0.13N HCl (*Sobulo [30]*) was the most suitable index of predicting economic fertiliser to maize. A general recommendation of 60 kg K/ha for the state on soils under continuous cropping was also suggested while it was advised that no potassium should be applied on freshly cleared site (ten years bush old) on both the savannah or forest zone. It is worth mentioning that response up to 120 kg K/ha was recorded in the forest zone under tertiary sediments in this work. The *Ministry of Agriculture* has now, recommended 50 kg K/ha for land under continuous cropping to farmers in the State in the light of the present findings. This potassium recommendation is in the presence of high levels of nitrogen (80 kg N/ha) and phosphorus (50 kg P₂O₅/ha). Similar work is being done on other crops like rice and tomatoes by the author. Application of potassium fertiliser on yams and cassava is considered un-economic, *Amon and Adetunji [8]* though response up to 60 kg K/ha has been found especially on the sediments (*Amon and Adetunji [7, 8]*).

6. Leaf analysis and potassium status

The best test of the nutrient status of a soil is the crop. Where soil analysis is difficult to predict fertiliser responses, plant analysis has sometimes been found useful in assessing nutrient status of the soil. In general, plant analysis in predicting fertiliser requirements is only good for tree crops where deficiency can be corrected before it is too late. Plant analysis needs to be standardised because the position of the leaf on the plant, age, and season, among other things, do affect the level of nutrient found in the crop.

Leaf 17 has been used as a standard routine method for oil palm in Nigeria and good relationship between nutrient content and bunch yield has been found as well as between exchangeable K in soil and percent K in plant (*Forde [15]*). Interpretation of leaf analysis is sometimes very difficult because of interactions between the element studied and other ions. Critical level found in leaf 17 was 1.00–1.1% (*Anon. [9]*) and agrees with values obtained in Ivory Coast (*Ruer [25]*). Effect of season was found to be small in Nigeria (*Smilde and Leyritz [27]*).

For annual crops, plant analysis can be used to assess nutrient status of crops and in interpreting fertiliser treatments. *Agboola [31]* sampled ear leaf at tasselling and found a range of 1.6–4% for plots receiving no fertiliser and potassium fertiliser. He concluded that luxury consumption of potassium occurred in the treated plots based on *Tyner's [34]* threshold level of 1.39%. *Agboola [4]* also found critical level for eight varieties of maize in Nigeria to be 2.44% K.

Conclusion

Exchangeable potassium in a soil or other quantity measurements using dilute mineral acids (0.1N in strength) and dilute salt solutions could be used to predict available potassium to a crop on Nigerian soils. All functions of potassium potential are poor indexes of available potassium. It was suggested that potassium extracted by shaking with this solution is preferable to leaching because the former is faster and more reproduceable.

Potassium reserves in soils could be determined with 1N HNO₃ which is faster than exhaustive cropping or total potassium determination. The hot nitric acid extraction

is useful in identifying intrinsic potential of soils to supply potassium on soils from basement complex but useless on soils derived from sediments which are poor in mineral reserves. Both 1N HNO₃ and exchangeable K should jointly provide a better index of available potassium to crops than either alone. Response to potassium by annual crops is likely to be very low when exchangeable K is about 20 mg K/100 g, but lower value of 5 mg in the savannah may not be an index of deficiency.

Recommendations on potassium fertilisation based on calibrations studies of soil tests with yield have been adopted in some parts of Nigeria. Leaf analysis is a good index of potassium status of soils for oil palm and critical level for leaf 17 is about 1.1%.

References

1. Acquaye, D. K., MacLean, A. J. and Rice, H. M.: Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103, 79-89 (1967).
2. Adetunji, S. A. and Sobulo, R. A.: Correlation of soil analysis with yield of maize. Annual Report. Institute of Agricultural Research and Training, University of Ife, Ibadan, Nigeria (1972).
3. Agboola, A. A.: Preliminary investigation on the use of leaf analysis to evaluate fertiliser recommendation for maize. *W. A. Journal of Biological and Applied Chemistry* 12 (No. 2), pp. 35-43 (1969).
4. Agboola, A. A.: The relationship between the yields of eight varieties of Nigerian maize and content of nitrogen, phosphorus and potassium in the leaf at flowering stage. *J. agr. sci. Camb.* 71, 391-396 (1972).
5. Amon, B. O. E.: Report of the first meeting on soil fertility and fertiliser use in West Africa. FAO, pp. 24-25 (1962).
6. Amon, B. O. E.: The response by crop in a rotation to nitrogen, phosphorus and potassium in the Savannah zone of Western Nigeria. Proceedings of OAU/STRC symposium on the maintenance of soil fertility, publication No. 58 (1965).
7. Amon, B. O. E. and Adetunji, S. A.: Agege experimental station Research Report 1951-1967. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Research Division, Ibadan, Nigeria (1968).
8. Amon, B. O. E. and Adetunji, S. A.: Review of soil fertility investigations in Western Nigeria. Research Report No. 55. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Research Division, Ibadan, Nigeria (1970).
9. Anon.: Annual Report W. Africa Inst. for Oil Palm Res., Benin, Nigeria (1963).
10. Arnold, P. W. and Close, B. M.: Release of non-exchangeable potassium from some British soils cropped in glasshouse. *J. Agric. Sci.* 57, 295-304 (1961).
11. Baker, E. F. I.: Response of Kenaf to fertiliser. Quarterly Report Vol. 1, No. 1.
12. Beckett, P. H. T.: II. The immediate (Q/I) relations of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15, 9-23 (1964).
13. Bromfield, A. R.: End of Tour Report. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Research Division, Ibadan, Nigeria (1967).
14. Ekpete, D. M.: Responses to potassium in Eastern Nigerian soils. Proceedings of the Agricultural Society of Nigeria 7, p. 57 (1970).
15. Forde, C. M.: Relationship between soil and leaf analysis Quarterly Progress Report. Nigerian Inst. of Oil Palm Res. No. 56, pp. 18-19 (1966).
16. Forde, C. M.: Potassium supplying power of soils in South Eastern Nigeria. Quarterly Progress Report Nigerian Inst. of Oil Palm Res. No. 57, pp. 21-22 (1966).
17. Foster, H. L.: The identification of potentially potassium deficient soils in Uganda. *E. Afr. Agric. J.* 37, 224-233 (1972).
18. Grant, P. M.: The fertility of sand veld soil under continuous cultivation. Part. II. The effect of manure and nitrogen fertiliser on the base status of the soil. *Rhod. Zamb. Mal. J. agric. Res.* 5, 117-122 (1967).
19. Haylock, O. F.: A method for estimating the availability of non-exchangeable potassium. 6th int. Congr. Soil Sci. B: 403-408 (1956).
20. Heathcote, R. G. and Stockinger, K. R.: Soil fertility under continuous cultivation in Northern Nigeria III. Response to fertilisers in the absence of organic manures. *Expl. Agric.* 6, 345-350 (1970).

21. Moss, P. and Coulter, J. K.: The potassium status of West Indian Volcanic Soils. *J. Soil Sci.* 15, 284–298.
22. Nye, P. H. and Greenland, D. J.: Soils under shifting cultivation. Technical Communication No. 51. Commonwealth Bureau of Soils (1960).
23. Pratt, P. F.: Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Sci.* 72, 107–117 (1951).
24. Reitemeier, R. F.: Forms of soil potassium and their availability to plants. *Adv. Agron.* 3, 114–142. Academic Press Inc. Publishers N.Y. (1951).
25. Ruer, P.: Relationships between climatic factors and mineral nutrition in oil palm. *Oléagineux* 21, 143–153 (1966).
26. Semb, G., Sortenberg, A. and Oren, A.: Investigation on potassium availability in soils varying in texture and parent material. *Acta Agric. Scand.* 9, 229–252 (1959).
27. Smilde, K. W. and Leyritz, M. J. P.: A further investigation on the errors involved in leaf sampling of oil palm. *J. Nigerian Inst. Oil Palm Res.* 14, 251–261 (1965).
28. Smith, J. A. and Matthews, B. C.: Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. *Canada J. Soil. Sci.* 37, 1–10.
29. Smyth, A. J. and Montgomery, R. F.: Soils and land-use in Central Western Nigeria. Ibadan, Government press of Western Nigeria, (1962).
30. Sobulo, R. A.: Evaluation of methods of assessing available potassium in some typical soils of Western State of Nigeria. *Niger. agr. J.* 6, 65–73 (1969).
31. Tinker, P. B. and Ziboh, C. O.: Soil analysis and fertiliser response. *J.W. Afr. Inst. Oil Palm Res.* 3, 52–79 (1959).
32. Tinker, P. B.: Studies on soil potassium. III. Cation activity ratio in acid Nigerian Soils. *J. Soil Sci.* 15, 9–23 (1961).
33. Tinker, P. B.: Studies on soil potassium. IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertiliser of Nigerian oil palm. *J. Soil Sci.* 15, 35–41 (1964).
34. Tyner, E. H.: The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. *Soil Sci. Soc. Am. proc.* 11, 317–323 (1947).
35. Watson, K. A.: Fertiliser in Northern Nigeria and current utilization and recommendation for their use. *Samaru Res. Bull.* No. 38 (1964).
36. Wild, A.: The potassium status of soils in the savannah zone of Nigeria. *Expl. Agric.* 7, 257–270 (1971).

Evaluation de techniques analytiques pour la détermination des niveaux de fertilité potassique des sols au Nigéria

R. A. Sobulo, Institute of Agricultural Research and Training, University of Ife, Ibadan/Nigéria

Version abrégée

Dans la région des savanes et de la zone forestière pluvieuse du sud-ouest du Nigéria, on a besoin de toujours plus d'informations concernant le niveau de fertilité potassique des sols en conditions de culture intensive et de méthodes culturales améliorées. Des travaux récents indiquent que les applications de K devraient être aussi importantes que pour les autres éléments nutritifs majeurs.

Les sols de cette région sont dérivés de roches-mères très différentes et se sont développés sous des conditions de précipitations variant entre 500 mm au Nord et 2500 mm au Sud. On peut donc s'attendre à ce que les niveaux de fertilité potassique de ces sols présentent de fortes fluctuations, et peut-être à devoir utiliser différentes méthodes d'évaluation dans les différentes régions.

1. Etudes de corrélation effectuées en serre

On a extrait le potassium avec l'acétate de NH_4 , HNO_3 0,1 N, la solution de Morgan, et CaCl_2 0,01 N. Tous ces agents extracteurs ont donné de bonnes corrélations avec l'absorption de K par l'herbe d'éléphant et le maïs ($P = 0,001$). Toutefois, le rapport d'activité, le potentiel du pouvoir tampon du potassium et la saturation en K étaient en moins bonne corrélation avec l'absorption de K.

Libération du K non échangeable

Dans une prairie en culture continue, on a relevé une libération de K fluctuant entre 0,35 et 17 mg/100 g de sol. Toutefois, la libération de K ne se trouvait pas en relation avec les propriétés du sol tels que teneur en argile, K échangeable initial ou pouvoir de fixation de K, probablement à cause du caractère kaolinitique des sols. On a également utilisé du HNO_3 1 N pour extraire le K non échangeable. On considère que la détermination de la libération de K avec des acides forts n'est pas une méthode de routine praticable pour l'estimation du niveau de fertilité potassique du sol puisqu'elle ne fournit aucun renseignement sur le taux de libération qui est aussi important que la quantité libérée. L'inclinaison des courbes du K cumulatif extrait, en fonction du volume de l'agent extracteur, peut donner une mesure plus précise du taux de libération que le traitement rigoureux avec des acides chauds; mais cette méthode est trop fastidieuse pour une application générale.

3. K total

Le K total donne une mesure des réserves pouvant devenir disponibles sous l'effet des intempéries, ou, à long terme, en conditions de culture non intensive. Il n'indique pas la disponibilité immédiate.

4. Etalonnage de l'analyse du sol avec les données de rendement au champ

L'étalonnage des résultats des analyses du sol ne se trouve qu'au stade initial et jusqu'ici on n'a obtenu que des résultats prêtant à confusion, cela partiellement à cause de différences dans la technique d'échantillonnage et dans les propriétés du sol. Dans quelques cas, 5 mg/g de K échangeable/100 g de sol ont produit des rendements adéquats, mais dans d'autres cas, environ 20 mg de K/100 g étaient nécessaires. Cependant, il faut tenir compte du fait qu'en présence de faibles teneurs en K échangeable, les cultures s'alimentent fortement sur les réserves non échangeables, épuisant de cette façon le sol, ce qui finalement conduira à une carence en K.

5. Analyse du sol et recommandations de fertilisation

Pour le sud-ouest du Nigéria on a trouvé que l'indice de K disponible déterminé avec HCl 0,13 N convenait le mieux pour programmer une fertilisation économique du maïs. Le *Ministère de l'Agriculture* a recommandé des apports de 50 kg de K/ha en conditions de culture continue. Dans quelques régions on a toutefois enregistré des réponses jusqu'à 120 kg de K/ha.

6. Analyse foliaire et niveaux de fertilité potassique

En général, l'analyse de la plante comme moyen pour programmer les besoins en engrais n'est valable qu'en arboriculture, où les carences peuvent être corrigées à temps. On a utilisé la feuille 17 comme méthode standard de routine pour le palmier à huile et on a obtenu de bonnes corrélations entre la teneur en éléments nutritifs et le rendement. Le niveau critique était de 1 à 1,1% de K.

Conclusions

L'agitation d'un sol avec un acide dilué (0,1 N), pour la détermination du niveau de fertilité potassique, constitue une méthode adéquate, en considération des performances de rendement. Pour les cultures annuelles, le *Ministère de l'Agriculture* recommande 50 kg de K/ha.

La détermination des réserves en K non échangeable est utile pour prévoir le comportement des sols à long terme. Une combinaison de K échangeable et non échangeable devrait fournir un meilleur indice pour la disponibilité de K que l'un ou l'autre considéré isolément.

Release and Fixation of Potassium in Some Soils Supporting the Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Nigeria

D. O. Ataga, Soil Chemist,
Nigerian Institute for Oil Palm Research, Near Benin City/Nigeria

Summary

The potassium release from two broad groups of soils supporting the oil palm in Nigeria was assessed by successive extraction with 0.005*N* CaCl₂, single extraction with boiling 1*N* HNO₃ and extraction with a salt solution of sodium tetraphenyl boron. All the methods have indicated that soils derived from Basement Complex rocks had relatively large amounts of reserve potassium, while the acid sand soils had small potassium reserves.

Using amounts of potassium extracted in 2 hours with 2*N* NaCl-0.067*N* sodium tetraphenyl boron to estimate plant available potassium reserve, the average value for soils derived from Basement Complex rocks was found to be 376.00 kg K/ha, out of which about 155.00 kg K/ha was from non-exchangeable sources. The corresponding values for the acid sand soils were 98.00 kg K/ha and 59.00 kg K/ha.

The amounts of non-exchangeable potassium extracted from the soil fractions were in the order clay > silt >> sand fraction. The clay fraction was shown to contribute between 78 and 92% to the non-exchangeable potassium release of whole soils.

Substantial proportion of added potassium (35-65%) was fixed by both the acid sand soils and the soils derived from Basement Complex soils when KCl was added at the rate of 10 mg K/100 g soil. About 46% of the fixed potassium was released to H-resin within the short time of two weeks.

1. Introduction

The importance of potassium in the nutrition of the oil palm is very well known and many useful studies have been carried out both in Nigeria and elsewhere on potassium status of oil palm soils and to relate soil measurement of potassium to responses of palms to potassium fertilisers in different soils (*Broeshart [1955]; Tinker and Ziboh [1959b]; Forde et al. [1968] and Forde [1969]*).

In Nigeria, oil palm is grown on two main groups of soil; the ferruginous soils or soils derived from Basement Complex rocks, and the acid sand soils which are derived from unconsolidated sands and sandstones. The Basement Complex soils are characterised by gravelly horizons, medium to high clay content and relatively high potassium status. Because the parent material vary from granite to mica to quartzose schist, the potassium content is variable (*Tinker [1962]*). Responses to potassium fertiliser are rarely found and it seems that the oil palm can draw from non-exchangeable potassium sources for its requirements. The acid sand soils have profiles characterized by deep, well drained, stone free and coarse sands in which the clay content

usually increases with depth. They have low potassium content and response to potassium fertiliser is almost invariably obtained. The dominant clay mineral is kaolinite (*Tinker [1959a]*), and unlike the basement complex soils, potassium release from the acid sand soils would be small. A study of potassium release of these contrasting soils is therefore considered of importance not only for the estimation of the potassium reserves but also in allowing a better understanding of the pattern of response to fertiliser application.

Although potassium fixation against normal rapid exchange by other metal cations is extensively documented for vermiculitic, illitic and montmorillonitic soils in many countries (*Schuffelen and Van Der Marel [1955]*) very little has been published on potassium fixation on the acid sand soils. This is primarily due to the dominance of kaolinite clay minerals in the soils as a result of which potassium fixation by these soils was assumed to be negligible.

Tinker [1959b] was probably one of the first to suggest that acid sand soils may fix potassium particularly in the subsoil. In a soil analysis of potassium fertilised and unfertilised plots in an acid sand soil, while there was no indication of any marked retention of exchangeable potassium at any particular point in the profile, there was a striking and consistent increase in total potassium in the fertilised plots. He attributed this increase to fixation of potassium fertiliser in a form which is not immediately available but is presumably released slowly over a long period. The extent and factors of fixation in the various soils supporting the oil palm have not been fully studied. Recent work on potassium fixation in acid sand soils (*Forde [1969]*) was mainly concerned with comparison of methods of determining potassium fixation and studies of the effects of concentration of added potassium and drying temperature on potassium fixation.

This paper reports results obtained in a series of studies on the release and fixation of potassium in some soils supporting the oil palm in Nigeria.

2. *Materials and methods*

Fourteen soil samples representing ferruginous and acid sand soils were collected from different parts of the oil palm belt of Nigeria, air dried and passed through a 2 mm sieve. The derivation, mechanical composition and other properties of the soils are given in Table I.

Potassium release characteristics were measured by three methods:

- (a) Repeated extraction with 0.005*N* CaCl₂: duplicate 10 g samples of each soil were extracted with 50 ml of 0.005*N* CaCl₂ eight times, allowing an interval of 24 h, between each extraction. The cumulative amount of potassium removed after eight extracts was determined. Also the maximum amount of potassium which may be removed by successive extraction (b-index) was determined from the linear form of the Langmuir equation (*Olsen and Watanabe [1957]*).
- (b) Single extraction with boiling 1*N* HNO₃: duplicate 5 g sample of each soil were extracted with 25 ml of 1*N* boiling HNO₃ in a paraffin oil bath at 113°C for 30 min.
- (c) Extraction with sodium tetraphenyl boron solution (*Scott and Reed [1962]*): duplicate 3 g samples of each soil were shaken with 20 ml of 2*N* NaCl-0.067*N* sodium tetraphenyl boron solution for 2 h after which the precipitated potassium

tetraphenyl boron was prepared for flame photometric determination of potassium by the method of *Schulte and Corey [1963]*.

Non-exchangeable potassium in the $<2\mu$, $2-20\mu$ and $>20\mu$ particle size fraction (separated without prior destruction of organic matter) was measured by (a) single extraction with boiling $1N$ HNO_3 and (b) extraction with sodium tetraphenyl boron. The procedures used were essentially those described for whole soils.

Table 1. Some properties of the soils studied

Soils	Soil type	pH	Exch. K C.E.C.		Clay %	Silt %	Sand %
			meq/100 g soil				
NIFOR I-1	Acid Sand - Benin fasc	6.43	0.029	3.68	14.2	1.4	84.4
NIFOR F.18	Acid Sand - Benin fasc	5.98	0.045	3.57	15.0	1.4	83.6
NIFOR 2-15	Acid Sand - Benin fasc	4.53	0.038	4.58	12.2	1.4	86.4
NIFOR 2-15	Acid Sand - Benin fasc	5.10	0.034	4.13	14.2	1.4	84.4
Acharu	Acid Sand - Benin fasc	5.25	0.034	2.82	13.2	1.4	85.4
Agbarho	Acid Sand - Intergrade	4.44	0.077	2.63	10.0	1.4	88.6
Abak	Acid Sand - Calabar fasc	3.87	0.051	5.15	14.2	2.5	85.4
Aden	Acid Sand - Intergrade	5.83	0.115	2.83	15.0	3.4	82.6
Aden (6-18")	Acid Sand - Intergrade	5.08	0.102	11.06	32.0	6.4	61.6
Onishere	Basement Complex - granitic gneiss	6.25	0.320	8.25	20.2	5.4	74.4
Onishere (6-18")	Basement Complex - granitic gneiss	6.00	0.262	7.75	22.0	2.4	75.6
Tafari	Basement Complex - granites	6.10	0.461	4.45	18.7	4.9	76.4
Kabba	Basement Complex - granites	5.40	0.141	5.38	37.2	2.9	55.6
Calaro 556-2	Basement Complex - Mica schist	4.23	0.099	5.63	18.0	1.4	80.6

In the fixation experiments, potassium was added to soil as KCl at the rates of 300 mg K/100 g and 10 mg K/100 g soil. The dry method of fixation was employed. Fixed potassium was determined from the amount added and the amount extracted by $0.5N$ magnesium acetate from treated and control samples after six cycles of wetting and drying at $45^\circ C$ in an oven.

The release of fixed potassium was studied by adding to the soil H-resin (Amberlite IR-120) in amounts equivalent to ten times the cation exchange capacity of the soils. The soil/resin mixture was incubated for two weeks and the potassium extracted with $0.5N$ magnesium acetate. Release of fixed potassium by the resin was estimated from the amounts of potassium removed from the treated and control samples and the amounts of potassium fixed.

All potassium determinations were made with an EEL flame photometer.

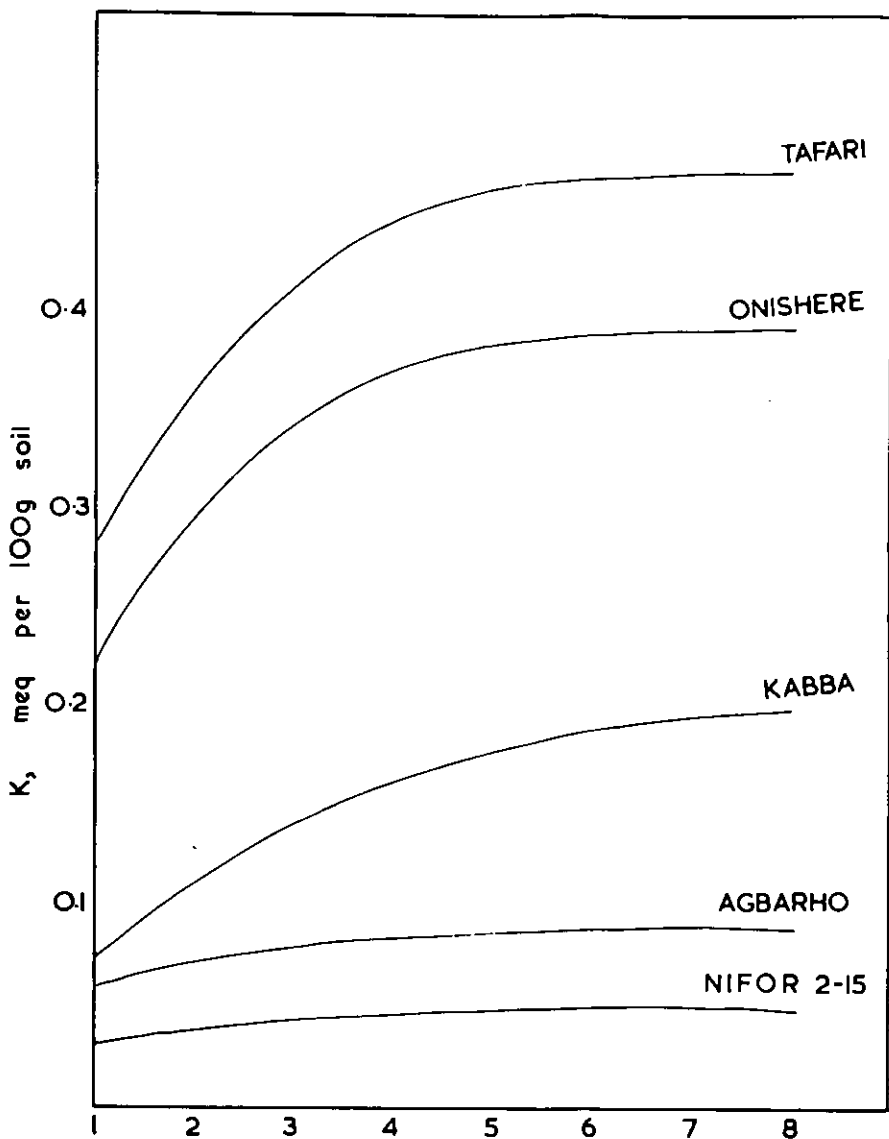


Fig. 1. Relation between number of extractions with 0.005N CaCl₂ and amount of potassium extracted from the soil.

3. Results

Figure 1 shows representative potassium release curves obtained when soils were extracted eight successive times with 0.005N CaCl₂. On the average, more than 80% of the total potassium released was removed at the third extraction. Thereafter,

Table 2. Exchangeable Potassium Contents of Soils and Amounts of Potassium removed by Different Procedures

Site	Exchangeable K	Extracted Potassium				Nonexchangeable- K extracted (NaPhTB)
		Extraction, ¹ 0.005N CaCl ₂	Extraction, ² 0.005N CaCl ₂	Extraction, Boiling 1N HNO ₃	Extraction, Sodium Tetraphenyl Boron (NaPhTB)	
		meq/100 g	meq/100 g			
NIFOR 1-1	0.029	0.037	0.045	0.077	0.106	0.077
NIFOR 18	0.045	0.051	0.056	0.078	0.106	0.061
NIFOR 2-15a	0.038	0.051	0.054	0.079	0.117	0.079
NIFOR 2-15b	0.034	0.045	0.051	0.079	0.106	0.072
Acharu	0.034	0.043	0.048	0.077	0.102	0.068
Agbarho	0.077	0.093	0.099	0.131	0.128	0.051
Abak	0.051	0.060	0.066	0.089	0.117	0.066
Aden (0-6")	0.115	0.142	0.155	0.172	0.276	0.151
Aden (6-18")	0.102	0.075	0.087	0.114	0.140	0.038
Onishere (0-6")	0.320	0.398	0.462	0.761	0.605	0.285
Onishere (6-18")	0.262	0.235	0.263	0.299	0.474	0.212
Tafari	0.461	0.477	0.563	0.597	0.578	0.117
Kabba	0.141	0.206	0.244	0.364	0.371	0.230
Calaro 556-2	0.099	0.117	0.136	0.195	0.166	0.077

¹ Cumulative amount of potassium removed by eight successive extractions with 50 ml 0.005N CaCl₂

² Maximum amount of potassium that can be released by successive extractions with 0.005N CaCl₂

potassium release became very slow. The pattern of potassium release by all the methods differed in the two groups of soils studied. Soils derived from Basement Complex rocks released relatively large amounts of potassium while the acid sand soils released small amounts of potassium. The various methods of assessing potassium release were compared. As shown in Table 2, sodium tetraphenyl boron (2 h shaking) on the average extracted the largest amount of potassium followed in decreasing order by extraction with boiling 1N HNO₃, b-index, cumulative amount extracted with 0.005N CaCl₂ and exchangeable potassium as determined by 1N ammonium acetate. All the methods were however very significantly correlated with one another (Table 3). Release of potassium from non-exchangeable source was estimated by subtracting exchangeable potassium from the amount of potassium extracted by sodium tetraphenyl boron solution. The values for the acid sand soils (except those from Aden Estate) were in the range 0.051 to 0.079 meq/100 g, while the values for the basement complex soils were in the range 0.077 to 0.285 meq/100 g soil.

Table 3. Correlation Coefficients for Exchangeable Potassium and the Various Assessments of Potassium Supplying Power

	ΣK	b	1N HNO ₃ extracted K	Sodium Tetraphenyl Boron Extracted K
Exch. K	0.9803	0.9789	0.8987	0.9281
ΣK		0.9996	0.9581	0.9772
b			0.9582	0.9771
1N HNO ₃ extracted K				0.9705
Level of significance	P=0.01 0.6410	P=0.001 0.7603		

Table 4. Non-exchangeable Potassium in Particle-size Fractions (meq/100 g air dry materials)

	Extraction with boiling 1N HNO ₃			Extraction with sodium tetraphenyl boron		
	Particle-size - Microns					
	< 2	2-20	> 20	< 2	2-20	> 20
NIFOR 1-1	0.335	0.320	0.006	0.641	0.641	0.063
NIFOR 18	0.321	0.321	0.009	0.801	0.801	0.126
NIFOR 9-3	0.292	0.258	0.007	0.962	0.930	0.101
Acharu	0.274	0.245	0.007	0.833	0.737	0.101
Agbarho	0.533	0.317	0.014	1.122	1.058	0.113
Abak	0.478	0.278	0.007	1.122	0.926	0.095
Aden (0-6")	0.373	0.258	0.004	1.122	1.058	0.057
Aden (6-18")	0.527	0.199	0.009	2.917	1.058	0.158
Onishere	1.854	0.773	0.091	2.083	1.186	0.120
Tafari	0.509	0.411	0.009	1.923	1.442	0.189
Kwa Falls	1.094	0.895	0.015	1.474	1.122	0.126
Calaro 556-2	0.580	0.533	0.009	2.083	1.363	0.158

Aden Estate was just opened from secondary virgin forest and non-exchangeable potassium value for the surface soil was found to be 0.151 meq/100 g soil.

The amounts of non-exchangeable potassium in the soil fractions were generally found to decrease with increasing particle size (Table 4). The sand fraction, as expected, released very small amounts of potassium. Extraction of potassium with sodium tetraphenyl boron (3 days) gave a much higher value of non-exchangeable potassium than when fractions were extracted with boiling 1N HNO₃. Even so, the correlation between non-exchangeable potassium released by the two methods for all the soil fractions was highly significant ($r=0.72^{***}$). The contribution of the particle size fraction to non-exchangeable potassium release by whole soils were computed from the mechanical composition of the soils and the amount of non-exchangeable potassium extracted from the particle size fractions with boiling 1N HNO₃. As shown in Table 5, the clay fraction contributed between 78 to 92% to the non-exchangeable potassium released by the soils. The computed amounts of non-exchangeable potassium were in most cases in good agreement with the non-exchangeable potassium actually determined.

3.2. Fixation of potassium in soils

The amounts of added potassium fixed against extraction with 0.5N magnesium acetate are reported in Table 6. There was no difference in K fixation by the acid sand and Basement Complex soils. At the higher rate of added KCl, potassium fixation ranged between 7.3 to 21.6 mg K/100 g soil. Using these values, the clay content and the cation exchange capacity were found to be significantly correlated with potassium fixation, the correlation coefficients being 0.890^{xxx} and 0.740^{xx} respectively.

4. Discussion

In a previous study at NIFOR (Forde [1969]), it was shown that the amount of potassium removed by Italian Rye grass in a continuous cropping experiment was very closely related to the maximum amount of potassium that could be released from soil with successive extractions with 50 ml of 0.005N CaCl₂ (b-index). In the present study, the amount of potassium extracted with 2N NaCl-0.067N sodium tetraphenyl boron solution in two hours was very significantly correlated with the b-index. It can thus serve as a means of estimating plant available potassium reserve in the soils. The average value of plant available potassium reserve in the largely potassium depleted acid sand surface soils studied is about 98.00 kg K/ha of which about 59.00 kg K/ha is from non-exchangeable sources. The corresponding values for the soils derived from Basement Complex rocks are 376.00 kg K/ha and 155.00 kg K/ha respectively. Thus, the soils developed from Basement Complex rocks have relatively large potassium reserves although most of it is in readily soluble and exchangeable form. The dominant potassium containing mineral appears to be the resistant muscovite (Tinker [1962]) and non-exchangeable potassium from this source cannot be regarded as highly available. The potassium reserve in Aden virgin soil was 241.00 kg K/ha out of which 132 kg K/ha was from non-exchangeable source. Acid sand soils newly opened from virgin forest may therefore have moderately high potassium reserve at least in the first two or three years of cropping.

Table 5. Contribution of Various Size Fractions to the Potassium Supplying Power of the Soils as Determined with Boiling 1N HNO₃

	Non-exchangeable Potassium Contributed by Fractions							Actual non-exchangeable K determined meq/100 g soil
	<2 μ		2-20 μ		>20 μ		Total	
	meq/100 g	%	meq/100 g	%	meq/100 g	%	meq/100 g	
NIFOR 1-1	0.047	82.2	0.005	8.8	0.005	8.8	0.057	0.058
NIFOR 18	0.048	78.69	0.005	8.20	0.008	13.11	0.061	0.050
Acharu	0.036	80.00	0.003	6.67	0.006	13.33	0.045	0.043
Agbarho	0.053	89.89	0.004	6.56	0.004	6.56	0.061	0.054
Abak	0.067	91.78	0.001	1.37	0.005	6.85	0.073	0.049
Aden (0-6")	0.056	90.32	0.009	14.52	0.003	4.84	0.061	0.057
Aden (6-18")	0.167	83.30	0.013	6.95	0.007	3.74	0.187	0.012
Onishere	0.375	86.41	0.042	9.68	0.017	3.92	0.434	0.441
Tafari	0.095	78.5	0.020	16.51	0.006	4.96	0.121	0.136
Calaro	0.104	88.14	0.007	6.78	0.006	5.08	0.061	0.054

Table 6. Amount of Potassium Fixed by Soils at Two Levels of Application of KCl and its Release to H-Resin

Soil	Amount of KCl Added					
	300 mg K/100 g soil			10 mg K/100 g soil		
	Amount of K fixed		Fixed K released to Resin	Amount of K fixed		Fixed K released to Resin
	mg/100 g soil	% of added K		mg/100 g soil	% of added K	
NIFOR 1-1	10.90	3.63	22.02	4.60	46.0	30.00
NIFOR 18	9.10	3.13	24.62	4.50	45.0	38.00
NIFOR 2-15a	8.00	2.67	33.4	4.01	40.1	30.00
NIFOR 2-15b	8.10	2.70	22.20	3.75	37.5	45.00
Acharu	8.10	2.70	21.00	4.16	41.6	30.00
Agbarho	7.30	2.43	27.12	3.60	36.0	41.00
Abak	9.50	3.17	29.15	4.24	42.4	47.00
Aden 0-6"	7.70	2.57	31.17	3.00	30.0	53.00
Aden 6-18"	21.60	7.20	67.6	5.94	59.4	61.00
Onishere 0-6"	8.50	2.87	70.00	3.94	39.4	65.6
Onishere 6-12"	9.10	1.23	64.84	3.80	38.0	58.0
Tafari	10.80	1.20	47.80	4.90	49.0	55.2
Calaro	10.10	1.83	33.06	6.50	65.0	41.6

The clay fraction contributed the bulk of the non-exchangeable potassium released by the soils. Although the amount of potassium extracted from the silt fraction was comparable to that extracted from the clay fraction, the contribution of the silt fraction to the non-exchangeable potassium released by whole soils was very small due to very negligible content of silt in most of these soils.

Potassium fixation in the soils have been characterised by the fixation occurring when potassium is added to soil at the rates of 300 mg K/100 g soil and 10 mg K/100 g soil. Maximum potassium fixation obtained when potassium is added to the soils at the rate of 300 mg K/100 g soil, did not differ significantly in the two soil groups. The average value for the acid sand surface soils was 8.7 mg K/100 g soil, while that for the soils derived from Basement Complex rocks is about 9.6 mg K/100 g soil. These fixation results compare closely with those obtained in Malaya for certain sedentary and alluvial soils (*Ng Siew Kee [1965]*). Fixation of potassium occurring when potassium is added at the rate of 10 mg K/100 g soil is more related to what obtains in practice in oil palm plantations where potassium is applied at the rate of 21b of potassium sulphate per palm. At this rate, the potassium fixation was between 30 and 65% of added potassium. Similar results (35 to 59%) have been obtained in some Swedish soils with an exchangeable potassium value of about 0.10 meq/100 g soil (*Wiklander [1961]*). Thus, a significant proportion of potassium fertilisers applied to these soils is fixed and will be unavailable for immediate use by the palm. However, the fixed potassium is ultimately released gradually to the palm as may be seen from the appreciable proportion of fixed potassium released to amberlite-IR 120 H-resin in just two weeks. Thus, as has been recognised by other workers (*Ng Siew Kee [1965]*; *Kaila [1966]*), potassium fixation is beneficial as it retards loss through leaching especially in an environment of intense rainfall.

Acknowledgements

I wish to thank the Director of the Institute for permission to publish this work and the junior staff of the Chemistry Division for carrying out the analyses.

5. Bibliography

- Broeshart, H.*: The application of foliar analysis in oil palm cultivation. Thesis, Wageningen, 1955.
- Forde, St. C. M.*: The dynamics of soil potassium in relation to the nutrition of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Unpublished PH. D. Thesis, 1969.
- Forde, St. C. M., Leyritz, M. J.-P. and Sly, J. M. A.*: The importance of potassium in the nutrition of the oil palm in Nigeria. Pot. Review, Suite 46, 1-11 (1966).
- Kaila, A.*: Fixation of Potassium in Finnish Soils. Pot. Review, Subject 4, Suite 35, 1-10 (1966).
- Ng Siew Kee*: The potassium status of some Malayan soils. Malayan Agric. J. 45, 143 (1965).
- Olsen, S. R. and Watanabe, F. S.*: A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 21, 144 (1957).
- Schuffelen, A. C. and van der Marel*: Potassium fixation in soils. Potassium symposium, Ann. Meeting Intern. Potash Inst., p. 157-201 (1955).
- Schulte, E. E. and Corey, R. B.*: Flame photometric determination of potassium precipitated in soils as potassium tetraphenyl boron. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 27, 358 (1963).
- Scott, A. D. and Reed, M. G.*: Chemical extraction of potassium from soils and micaceous minerals with solutions containing sodium tetraphenyl boron: III. Illite. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 26, 45-48 (1962).

- Tinker, P. B. H.*: Some basement complex soils of Calabar Province, Eastern Nigeria. *J.W. Africa Inst. for Oil Palm Res.* 12, 308-328 (1962).
- Tinker, P. B. H. and Ziboh, C. O.*: A study of some typical soils supporting oil palms in Southern Nigeria. *J.W. Africa Inst. for Oil Palm Res.* 9, 16-51 (1959a).
- Tinker, P. B. H. and Ziboh, C. O.*: Soil analysis and fertiliser response. *J.W. Africa Inst. for oil palm Res.* 9, 52-75 (1959b).
- Wiklander, L.*: Potassium in the cultivated soils in the Province of Skane. *Pot. Review, Subject 5, Suite 18*, 1-19 (1961).

Libération et fixation du potassium dans certains sols de plantations de palmier à huile au Nigéria

D. O. Ataga, Nigerian Institute for Oil Palm Research, Benin City, Nigéria

Version abrégée

Il est indispensable de connaître le niveau de K dans les sols de palmier, puisque K est un élément nutritif important pour les palmiers à huile. Au Nigéria, le palmier à huile est cultivé sur deux groupes de sols principaux: les sols ferrugineux, dérivés de roche primitive, et les sols sableux acides. Les sols dérivés de roche primitive proviennent de roches pyrogènes et métarmorphiques et possèdent une teneur en argile moyenne à élevée. Les sols sableux présentent des profils profonds et bien drainés. On a étudié la libération et la fixation de K de 14 sols (9 provenant de sables acides et 5 de roche primitive).

On a utilisé 3 méthodes pour étudier la libération du potassium:

1. extraction répétée avec CaCl_2 0,005 N;
2. extraction simple avec du HNO_3 1 N à ébullition;
3. extraction avec du tétraphénylborate de sodium.

Les méthodes (2) et (3) furent appliquées aux sols dans leur intégralité ainsi qu'aux fractions à taille de particules.

On a déterminé la fixation de K en ajoutant 300 mg de K/100 g et 10 mg de K/100 g, puis par ré-extraction avec MgCl_2 0,05 N après 6 traitements d'humectation et de séchage alternatifs (45° C). On a étudié la libération du K fixé par addition de résine H aux sols traités avec K.

Comme on s'en doutait, les sols de roche primitive avaient des réserves en K plus importantes que les sols sableux acides. Ils contenaient de 0,1 à 0,4 méq. de K/100 g sous forme échangeable et ont libéré de 0,08 à 0,29 méq. de K/100 g provenant de sources non échangeables, tandis que les valeurs respectives pour les sables acides étaient de 0,03 à 0,12 méq. de K/100 g et de 0,04 à 0,15 méq. de K/100 g. Le K non échangeable des fractions à taille de particules est inversement proportionnel à la taille des particules. La fraction > 20 μ n'a libéré que quelques pourcents de la quantité libérée par l'argile, ce qui explique la différence entre les caractéristiques de libération des deux groupes de sols. Avec le tétraphénylborate, on a extrait des quantités plus élevées qu'avec HNO_3 1 N (30% de plus, en moyenne).

On ne relève pas de différence dans la fixation de K entre les deux groupes de sol. La capacité de fixation a été de 10 mg de K/100 g au moins, à une exception près (22 mg de K/100 g). Mais le sol sableux acide a libéré de 20 à 30 pour cent du K fixé contre 33 à 70 pour cent par les sols dérivés de roche primitive. Lors d'une étude antérieure, on a montré que la quantité maximum de K libérée par extractions successives avec CaCl_2 0,005 N était en corrélation étroite avec la quantité qui pouvait être exportée par une culture continue de ray grass d'Italie. Les 3 méthodes de libération se trouvaient aussi en corrélation étroite entre elles, de sorte qu'elle se prêtent de manière égale à l'évaluation des réserves en potassium des sols.

On a calculé qu'au taux de K qui est appliqué aux palmiers à huile, environ 30 à 60% sera fixé et ne sera plus disponible dans l'immédiat. Il sera cependant libéré graduellement. La fixation des engrais potassiques retardera les pertes par lessivage en conditions de fortes précipitations.

Rapport du coordonnateur de la 1^{re} séance de travail

Prof. H. Laudelout, Université de Louvain/Belgique;
Membre du Conseil Scientifique de l'Institut International de la Potasse

Les communications de la première séance de travail reflètent l'état actuel des préoccupations des agronomes concernés par la fertilisation des sols des tropiques humides: pour certaines cultures d'exportation, l'agriculture dans un système de plantation exploite le climat abstraction faite des contraintes édaphiques. On ne demande au sol que de former un substrat perméable, aéré, rétentif si possible, auquel tous les éléments nécessaires à la croissance de la plante sont apportés. Dans le cas des cultures vivrières, l'agriculteur subit au contraire tout le poids des contraintes climatiques, ce qui se traduit dans les tropiques humides par la nécessité d'enrichir la concentration de la solution de sols lessivés typiques de ces régions.

La stabilisation d'abord, l'intensification ensuite de l'agriculture traditionnelle suppose que l'on utilise avec le maximum d'efficacité les ressources en potassium du sol et l'engrais potassique apporté.

Les communications de la première séance de travail sont très représentatives de l'acquis et des lacunes dans nos connaissances relatives aux problèmes de la compréhension du mécanisme et du diagnostic du besoin de la fumure potassique.

Puisqu'il est clair que le potassium du sol existe dans divers «compartiments», aussi longtemps que le système peut être considéré comme fermé, la condition d'équilibre est simplement qu'un facteur d'intensité, le potentiel chimique, soit le même dans tous les compartiments. Dans ce cas, des relations thermodynamiques concernant les réactions de solubilisation ou d'échange ionique permettent en principe de calculer les concentrations. Si le système est ouvert, ce qui correspond évidemment au cas normal d'apport de K, de perte par lixiviation ou par absorption, la description nécessite d'autres paramètres: la vitesse de transfert d'un compartiment à un autre, la quantité présente dans un compartiment, le potentiel chimique qui y règne et la différence entre la concentration instantanée dans un compartiment et la concentration qui y régnerait à l'équilibre.

Une analogie hydraulique simple permet de mieux comprendre la nature du problème: si l'on se donne une série de réservoirs dont la base est à une même hauteur, à l'équilibre la charge hydraulique sera la même dans chacun de ces réservoirs indépendamment du volume de liquide qu'ils contiennent ou de la section des canalisations qui les connectent.

Il n'en va plus de même si l'on se propose de calculer le débit du système de réservoir à travers l'un d'eux vers l'extérieur. Dans ce cas la charge hydraulique variera d'un

réservoir à l'autre, leur capacité et la section des tuyauteries joueront un rôle dans le calcul du débit que l'on obtiendra et de ses variations en phase transitoire, de même que l'apport de liquide dans l'un des réservoirs.

La relation entre ce système analogue et le potassium du sol devient évidente si l'on substitue charge hydraulique, capacité des réservoirs, section des canalisations par facteur d'intensité, quantité de K et constante de vitesse ou de transferts.

Il est donc indispensable de disposer de l'ensemble de ces éléments pour apprécier la capacité du sol pour fournir à une plante donnée une quantité suffisante de potassium.

La méthode analytique idéale serait évidemment celle qui fournirait en un seul chiffre l'intégration de ces éléments. Un coup d'œil à l'exposé de M. *Dabin* montre que la diversité des méthodes ne peut dissimuler leurs insuffisances individuelles en dépit de leur intercorrélation ou de leur corrélation avec la réponse à la fumure potassique. Leur valeur pratique quoique limitée qu'elle soit ne souffre guère de discussion et justifie des études régionales utilisant l'une ou l'autre de ces méthodes comme les études très fouillées des sols du Ghana et du Nigéria présentées par MM. *Acquaye, Sobulo* et *Ataga*. Il y a toutefois intérêt à ne pas utiliser des méthodes dont le concept de base est erroné.

On peut raisonnablement penser que l'avenir de ces méthodes d'approche est limité, ce qui n'est guère dommageable dans des pays où le diagnostic du besoin en engrais se fonde sur un réseau serré d'expérimentation et sur une tradition empirique ou semi-empirique déjà très longue. Il n'en va pas de même pour des pays où l'introduction de la fumure potassique est relativement récente et où la stabilisation de l'agriculture introduira des conditions radicalement différentes de celles qui existent actuellement. L'urgence des solutions exige que parallèlement aux approches classiques les méthodes les plus modernes soient utilisées. Une approche consisterait à réaliser une étude séparée des facteurs d'intensité, de capacité et de vitesse de transferts au moyen de l'un ou l'autre des radioisotopes du potassium et à en intégrer les résultats dans un modèle incorporant les valeurs numériques de ces paramètres de façon à améliorer la valeur des prédictions du besoin en potassium et la généralisation des expériences en champ.

2e Séance de travail
2nd Working session

**Physiologie et nutrition
potassique des plantes tropicales**

**Physiology and potassium
nutrition of tropical crops**

Président de la séance
Chairman of the session

S.N. Muturi
Asst. Director of Agriculture and Director
National Agricultural Laboratories, Ministry of
Agriculture, Nairobi/Kenya

Coordonnateur
Co-ordinator

Prof. Dr. K. Mengel
Director of the Agricultural Research Station
Büntehof, Hannover/Federal Republic of Germa-
ny.

Influence of Special Ecological Conditions on Growth, Metabolism, and Potassium Nutrition of Tropical Crops (as exemplified by the case of rice)

Prof. A. Tanaka, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo/Japan

Summary

In the tropics food crops are grown by subsistence farmers with primitive technology. An environment-variety-cultural practice equilibrium has been established with which not high, but fairly consistent yields are obtained with minimum capital input.

Using advance technology to overcome the present low yield level involves, reorganization of this equilibrium. For this purpose, fragmentary knowledge of plant physiology is not enough. Only complete information obtained on the site will give the solution.

The climate-variety complex places a low ceiling on the grain yield. Except in extreme cases of nutritional disorder, fertilisers other than nitrogen give no positive yield response due to the ceiling. Variety improvement based on physiological informations to improve yielding ability and to give more flexibility in planting seasons is in progress. When farmers can afford to use improved varieties with improved irrigation and ample nitrogen, responses to phosphorus or potassium will become significant, although these are being masked by the climate-variety complex at present.

In tropical agriculture more attention has been paid to plantation crops, which supply industrial raw materials, than to food crops. With these crops tropical advancing countries earn foreign exchange to maintain their sound economic condition. However, in many of these countries food importation constitutes a significant drain on the foreign exchange reserve. Moreover, the growth rate of population is higher than that of food production, and shortage of foods is becoming the most important political issue. In some other countries food crops are important export items. For these reasons, more attention is now being paid to the improvement of food crop production.

Plantation crops have been grown by, or with sponsorship of, established enterprises, and have been well managed supported by adequate capital. On the other hand, food crops in tropical countries have been grown by subsistence farmers who could not afford fertilisers, etc., and their yields are far lower than in other parts of the world. As the varieties and cultural practices used in these countries have been established through thousands of years of unconscious experience, these are intimately adapted to environmental conditions in the tropics and to the primitive technology practiced by subsistence farmers. To increase the yield of tropical food crops significantly, the environment-variety-cultural practice equilibrium must be completely reorganized and for this, basic knowledge of the effect of ecological conditions on growth and yield is indispensable.

Based on this general picture of tropical agriculture, and due to the author's limited experience, discussion will be based mainly on rice in the tropics.

1. Yield Limiting Factors in the Tropics

The tropics lie between the latitudes of 23° 27' north and south. The inclination of the sun is higher, and the variation in day length is less in the tropics than in other parts of the earth, resulting in higher temperature and more annual solar radiation incidence.

As rainfall is influenced by wind, topography, distance from the sea, etc., there are both wet and dry areas in the tropics; i.e. rain forest, savanna, low latitude steppe, low latitude desert. There are marked rainy and dry seasons in the savanna. The available solar energy fluctuates during the year following the rain pattern.

In the rain forest, high temperature and plentiful rains throughout the year favor profuse plant growth, as demonstrated by natural heavy vegetation in this area. In this area there is some agriculture where malaria is still uncontrolled and jungles are too heavy to be cleared. In the savanna crops grow vigorously in the rainy season, but, as the solar energy is less in the rainy season, the yield of rain grown crops may not be very high.

Due to increased population pressure and to the greater availability of public capital, irrigation systems are now being improved, and cultivation of food crops is expanding to areas and to seasons with less rainfall.

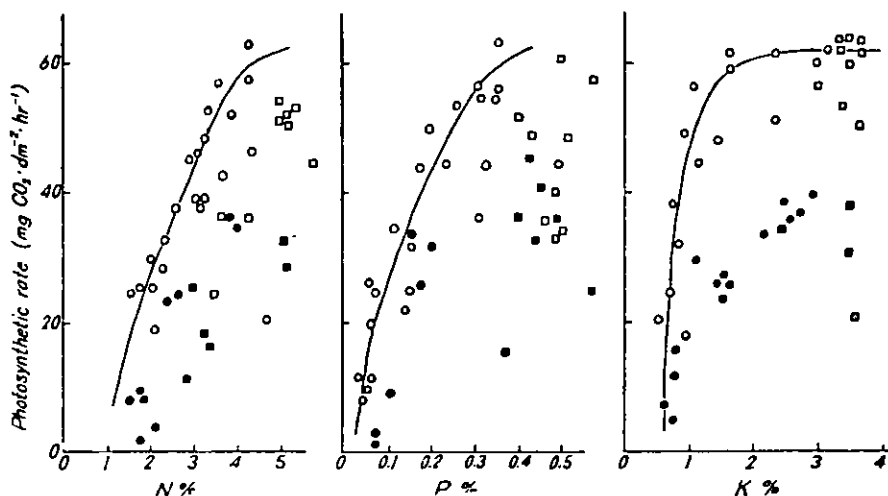
Rice yield is higher in the dry than in the rainy season in monsoon Asia, and also in drier areas, such as in Pakistan, than wetter areas, provided irrigation is available. This is also demonstrated by very high national average rice yields in Spain, Peru or Australia, where rice is grown in seasons with plentiful solar energy. An extremely high maize yield, 13 t/ha, is also recorded experimentally in dry areas, such as in Egypt (*Shehata, Dhawan and Salama [1972]*).

There is no doubt that the solar energy is the controlling factor of grain yield during the monsoon season in the tropics.

Nutrient status controls plant growth. Photosynthesis is the basic factor of plant growth. Photosynthetic rate per unit leaf area (p_o) is correlated with the nutrient content of leaves. For example, when potassium content of a maize leaf is very low p_o is very low; with its increase p_o increases; and above two percent K there is no more increase (Fig. 1) (*Tanaka and Yamaguchi [1972]*). There are similar relationships between nitrogen or phosphorus content and p_o , although the adjustment stage is more gradual with nitrogen or phosphorus than in potassium.

In relation to Figure 1, it should be mentioned that a leaf which is high in these elements is not necessarily high in p_o as when a leaf ages, p_o generally decreases. This decrease with ageing frequently disturbs the simple correlation between element content and p_o . This point will be discussed later more in detail.

Generally the photosynthetic rate is higher when a leaf is well supplied with nutrient elements than when it is suffering from malnutrition. This is the basis of fertiliser application. Application of the growth limiting nutrient element promotes photosynthesis and growth, and results in an increased crop yield. In fact, rice yield and fertiliser usage of a country are often closely related, implying that the application of fertilisers may be the key to higher yields.



- Element deficient or normal leaves.
 - Leaves from plants grown with culture solutions at higher concentrations than 150 ppm N, 50 ppm P or 150 ppm K.
- (Open and solid symbols represent young and old leaves, respectively).

Fig. 1. Relation between nutrient content and photosynthetic rate (D403 × D405, water cultured).

In most soils, nitrogen is the yield limiting factor; increasing its application increases crop yield, but only up to a certain level, beyond which additional phosphorus and/or potassium may be needed for further increase. It is thus believed that a proper ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium is needed for maximum crop growth. However, a question arises as to how far balanced fertiliser application can increase crop yield.

To answer this question the following experiment was conducted (*Tanaka [1966]*). A tall, leafy typical tropical rice variety, Peta, adapted to primitive technology, was planted in pots and grown in nutrient solutions having varying levels of nitrogen from 5 to 300 ppm N in combination with varying P- and K-concentrations. The pots were spaced 70 × 70 cm from each other to minimize competition among plants (isolated condition). In a separate set, three nitrogen levels (5, 20, and 150 ppm N) were used, in combination with high P- and high K-concentrations. Sixteen pot cultures were established at each nitrogen level and these were closely arranged in a square of 4 pots by 4 pots to simulate a normal plant population (population condition). In this set only the plants at the center of the population were sampled.

Under the isolated condition, if the phosphorus and/or potassium level is low, the increase of nitrogen level increases grain yield, but only up to a certain nitrogen level (40 ppm) (Fig. 2). However, if the phosphorus and potassium levels are both high the grain yield increases up to a critical level (100 ppm N) which is higher than the critical nitrogen level at low phosphorus and/or potassium levels. At low nitrogen levels (5 and 10 ppm) grain yield did not differ in the low phosphorus and/or low potassium level series from that of the high phosphorus and high potassium level series.

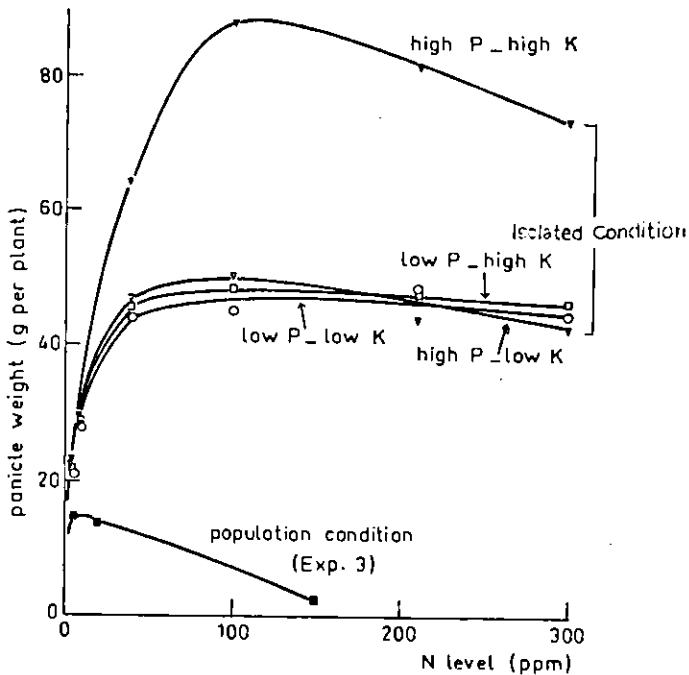


Fig. 2. Panicle weight at various nitrogen levels in culture solution under various conditions.

The difference appeared only above a critical nitrogen level (40 ppm). Under the population condition, the pattern of nitrogen response is completely different. The optimum nitrogen level hardly reaches 20 ppm, even though phosphorus and potassium levels were adequate. Above 20 ppm N there was a sharp yield decrease and maximum yield per plant was far lower than under the isolated condition.

This result demonstrates that under population conditions supplied with moderate amount of nitrogen, phosphorus and potassium factors other than nutrients are limiting yield. Possible factors are the solar energy and the ability of variety to utilize the energy.

When nitrogen is the growth limiting factor, an increase of nitrogen application to a population causes an increase of the leaf area index (LAI). The changes of photosynthetic and respiratory rates of the population with an increase of LAI are not parallel (Fig. 3, see solid lines). Due to this there is an optimum LAI for the maximum balance between these two, i.e. the dry matter production.

This explains why improved nutrition, which improves grain yield of the plants under isolated conditions, results in a decrease of grain yield under population conditions. When the optimum LAI is reached, the adverse effect of additional nitrogen application can not be removed by additional application of phosphorus or potassium. Excessive leaves, which are produced by ample supply of nutrients, cause serious mutual shading and thus impose a ceiling on the grain yield.

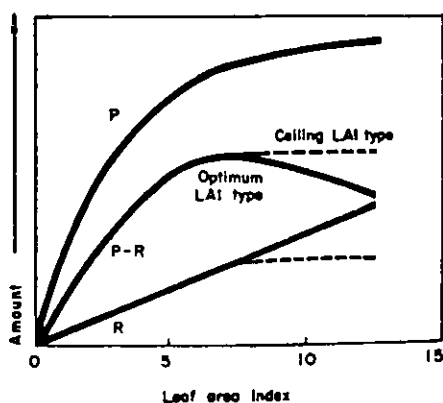


Fig. 3. Schematic explanation of optimum LAI and ceiling LAI (P=photosynthesis, R=respiration).

In the tropics, numerous dead leaves are frequently observed on the basal portion of overcrowded populations. The more the dead leaves, the lower the grain yield (*Ishizuka and Tanaka [1956]*). Under mutually shaded conditions lower leaves can not photosynthesise because of limited light supply, but they continue to respire. Shortage of carbohydrates causes decomposition of proteins, accumulation of soluble nitrogen compounds, and death of lower leaves (*Navasero and Tanaka [1966]*). Under these conditions nitrogen and potassium are leached out from the leaves by rain or dew before they die (*Tanaka and Navasero [1964]*).

Table 1. Concentration of nitrogen, phosphorus, and potassium in rain water and dew collected from leaves of rice plants (ppm)

Element	Rain	Dew
N	46	106
P	trace	3
K	44	156

From above discussion it can be deduced that:

(a) When a soil is extremely poor in nutrients, application of growth limiting elements improves the yield. On most ordinary soils nitrogen is the only element which produces yield response.

(b) Traditional tropical varieties adapted to primitive cultural technique are leafy. This characteristic favors utilisation of solar energy where nutrient supply is limited, and improves competition with weeds. When nitrogen is applied to such varieties, the population becomes too leafy and mutual shading becomes serious. Thus, yield response to applied fertilisers is limited (*Jennings [1964]*).

(c) Limited solar energy during the rainy season, which is the major cropping season at present, aggravates the adverse effect of mutual shading. The climate-variety complex places a rather low ceiling on grain yields.

(d) Because of the low yield ceiling, yield response of traditional varieties to phosphorus and potassium application is often not apparent although the plants may not be sufficiently supplied with these elements.

(e) For a breakthrough to the low ceiling adjustment of planting season and improvement of varieties are indispensable. After such a breakthrough is accomplished and heavy nitrogen doses are used, yield response to phosphorus, potassium, etc., will become apparent on many types of soils.

2. Physiological Basis for Yield Level Breakthrough

2.1. Growth Duration and Growing Season

Where the growing season is limited by winter low temperature or by limited water supply in the dry season, only one crop can be grown in the year. However, in the tropics temperature is suitable for crop growth throughout the year, and crops can be grown any time of the year, if the rains are well distributed or if irrigation can supply the necessary water in the dry season.

When only one crop is planted to a field in the year, the productivity of the field can be expressed by the term of the amount of grains produced by a crop. However, when more than one crop can be raised in the year on the same field, the productivity should be expressed by the term of the grain yield from the field per year. On annual basis, a long duration crop, which produces 7.30 t/ha but occupies a field so long period that no additional crop can be grown in the field, is out yielded by three short duration crops, each producing 3.65 t/ha and planted to the same field successively in a year. In these cases the productivity can be expressed as $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ and $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, respectively.

For such reasons, discussions on growth duration and growing season are much more complicated in the tropics than in the temperate area, need agronomic and social-economic considerations, and are out of the scope of this paper. However, the following points should be mentioned in relation to this problem:

(a) Yield per crop is higher when there is more solar energy during the final 30 to 40 days of the crop cycle (*Moomaw, Baldazo and Lucas [1967]*).

(b) Varieties, which have a fixed short growth duration and produce a consistent high yield regardless of the growing season, are useful because they have more flexibility in adjusting the planting season.

Rice is a short-day plant. However, some varieties are almost photoperiod non-sensitive (Group A in Fig. 4) and the others are strongly sensitive (Group C). Among photoperiod non-sensitive varieties, some varieties (*Milfor 6 [2]*) have longer basic vegetative phase than others (Norin 20) (*Vergara, Puranabhavung and Lilis [1965]*). Photoperiod sensitive varieties (Raminad Str. 3) flower at on almost fixed date regardless of planting date (Fig. 5).

This characteristic is needed to harvest the crop on a certain date, although the planting date fluctuates because of uncertain monsoon outbreak. On the other hand, weak sensitive or non-sensitive varieties (Peta) flower after an almost fixed period

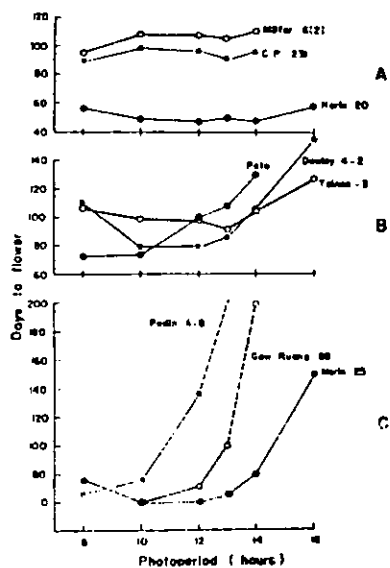


Fig. 4. Flowering response of representative varieties to different photoperiods. The broken line connected to the last mark indicates that no flowering had occurred as of that date.

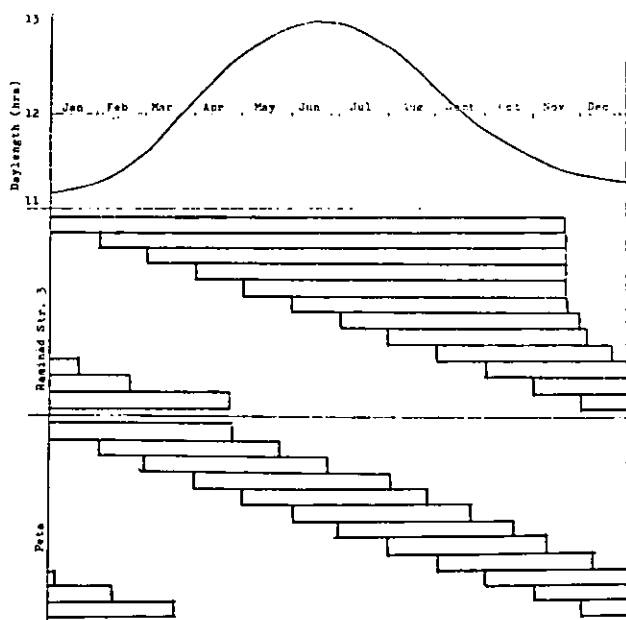


Fig. 5. Duration from sowing to harvest of seasonal and non-seasonal varieties at Los Banos.

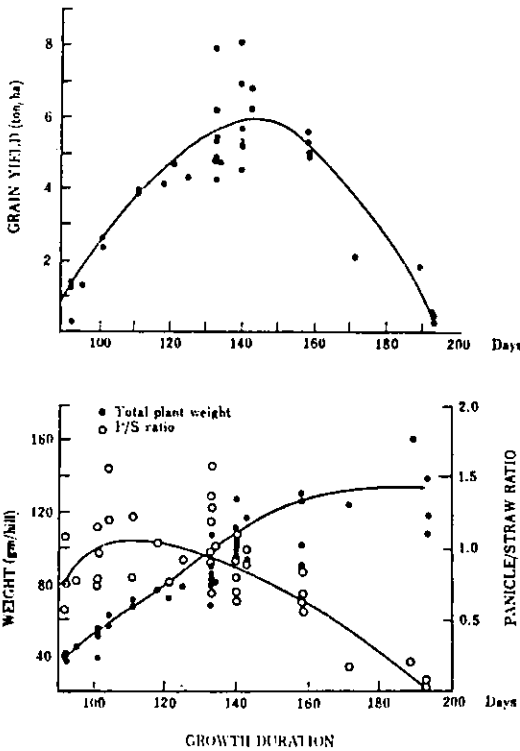


Fig. 6. Grain yield, total plant weight and panicle straw ratio of 40 varieties with different growth durations planted in the dry season.

from planting and growth duration is fixed regardless to planting date (*Escuro [1960]*). Agronomically the former and the latter types are called the seasonal and the non-seasonal varieties, respectively.

The longer the growth duration, the more the total dry matter production, but the smaller the grain-straw ratio, and the maximum grain yield is obtained with the growth duration of about 140 days (Fig. 6) (*Vergara, Tanaka, Lilis and Puranabhavung [1966]*). Nitrogen response is larger with short than with long growth duration (Fig. 7) (*Kawano and Tanaka [1968]*). Optimum growth duration tends to be shorter at higher nitrogen level.

From the above discussion it can be concluded that non-seasonal varieties with growth duration of 100 to 120 days are most desirable.

2.2. Plant Type

In the tropics early growth is more rapid because of higher temperature, leaves expand faster, and LAI frequently exceed the optimum; mutual shading among leaves limits dry matter production, and the growth rate during later growth stages becomes lower: dry matter production after flowering is positively correlated with

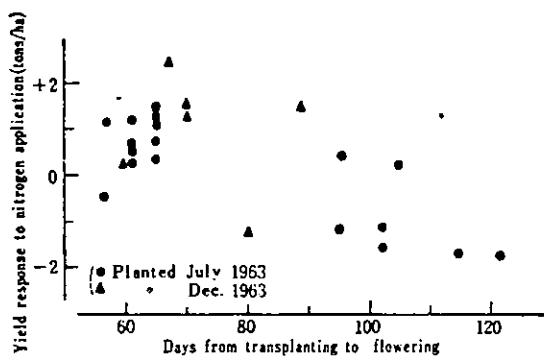


Fig. 7. Relation between varietal growth duration and nitrogen response.

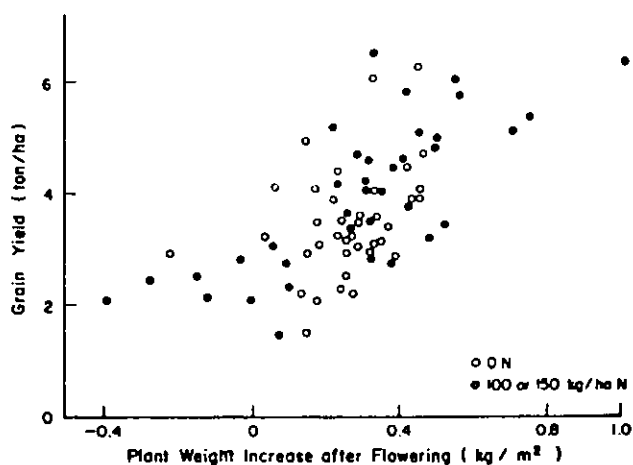


Fig. 8. Relation between grain yield and plant weight increase after flowering.

the grain yield (Fig. 8), thus the grain yield tends to be lower. This situation is aggravated by vegetatively vigorous characteristics of traditional varieties in the tropics (Tanaka, Kawano and Yamaguchi [1966]).

The key to producing high fertiliser response and high grain yield is in minimizing the adverse effect of mutual shading during ripening caused by the large LAI produced by abundant fertiliser.

The relationship between LAI and the light transmission ratio through a plant population canopy (LTR) can be written as $LTR = e^{-k \cdot LAI}$, where k is the extinction coefficient. There is a varietal difference in the k value, and the smaller the k value, the less the mutual shading with a given LAI.

Small k values are associated with short, erect leaves, and large k values with long, droopy leaves (Tanaka [1965]). Tall stature is also unfavorable because of susceptibility to lodging. Because of these reasons, it can be said that varieties with good plant type, i.e. with short stature, moderate tillering, and short, erect leaves, respond

better to nitrogen and yield better than varieties with bad plant type; i.e. with tall stature, excessive tillering, and long, droopy leaves (*Tanaka, Kawano and Yamaguchi [1966]*). Table 2 summarizes desirable characters described by various authors (*Yoshida, Cock and Parao [1972]*).

Table 2. Morphological characters associated with high yielding potential of rice varieties

Plant part	Desirable characters	Effects on photosynthesis and grain production	References
Leaf	Thick	Associated with more erect habit. Higher photosynthetic rate per unit leaf area	<i>Baba [1961]; Murata [1961]; Hayashi and Ito [1962]; Tsunoda [1964]; Jennings [1964]; Tanaka and Kawano [1965]; Tanaka et al. [1966]</i>
	Short and small	Associated with more erect habit. Even distribution of leaves in a canopy	<i>Baba [1961]; Kariya and Sakamoto [1963]; Tsunoda [1964]; Jennings [1964]; Matsushima et al. [1964]; Tanaka and Kawano [1965]; Tanaka et al. [1966]</i>
	Erect	Increases sun-lit leaf surface area, thereby permitting more even distribution of incident light	<i>Takeda and Kumura [1959]; Baba [1961]; Hayashi and Ito [1962]; Kariya and Sakamoto [1963]; Tsunoda [1964]; Jennings [1964]; Matsushima et al. [1964]; Tanaka and Kawano [1965]; Tanaka et al. [1966]; Tanaka et al. [1968]; Hayashi [1969]; Tanaka et al. [1969]; Ito and Hayashi [1969]</i>
Culm	Short and stiff	Prevents lodging	<i>Baba [1954]; Hayashi and Ito [1962]; Tsunoda [1964]; Jennings [1964]; Tanaka et al. [1964]; Chang [1967]; Tanaka et al. [1968]; Ito and Hayashi [1969]</i>
Tiller	Upright (compact)	Permits greater penetration of incident light into canopy	<i>Tsunoda [1964]; Tanaka et al. [1966]</i>
	High tillering	Adapted to a wide range of spacings; capable of compensating for missing hills; permits faster leaf area development (transplanted rice)	<i>Baba [1954]; Yoshida and Parao [1971]</i>
Panicle	Low sterility or high ripening percentage at high nitrogen rates	Permits use of larger amounts of nitrogen	<i>Baba [1961]; Jennings and Beachell [1965]</i>
	High grain-to-straw ratio (high harvest index)	Associated with high yields	<i>Baba [1961]; Tanaka et al [1964]; Hayashi [1966, 1967]; Chandler [1969]</i>

In the case of populations of good plant type, the efficiency of respiration is maintained high even with a large LAI, and there is no optimum LAI (see broken lines in Fig. 3) (*Yoshida, Cock and Parao [1972]*). On the other hand, in the case of populations of bad plant type the efficiency of respiration is low when LAI is over optimum, because of the respiration of excessively elongated internodes and mutually shaded lower leaves. The respiration of these organs are not geared with growth, but is accelerated by high temperature. Thus, an adverse effect of high temperature to dry matter production occurs only in bad plant type varieties (*Tanaka [1972]*).

It is also demonstrated that adverse effect of limited solar energy during the rainy season is more apparent in bad than good plant type varieties (*Moomaw, Baldazo and Lucas [1967]*).

From above discussion it can be said that good plant type varieties produce consistently high yield throughout the year. Improvement in plant type through breeding has accomplished a tremendous contribution in increasing the productivity of tropical rice as demonstrated by the new varieties bred in tropical Asian countries in the past few years.

2.3. Possible Approach for Further Improvement

Some think we have reached the ceiling in improving yielding ability through the improvement of plant type in rice.

There is a varietal difference in p_o in rice (Fig. 9) (*IRRI Annual Report [1968]*), maize (*Heickel and Musgrave [1969]*), etc., and a possible approach to improving

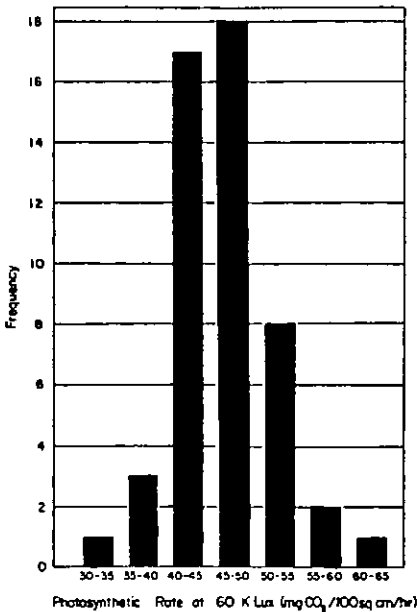


Fig. 9. Distribution of photosynthetic rate of rice varieties at 60 K Lux.

the yielding ability is to increase p_o . Since there is a large difference in p_o between rice and maize, a comparison of yielding ability between these two crops may be useful to identify the feasibility of this approach. The p_o of maize is about twice that of rice if we compare young leaves developed under an adequate nutritional condition, but there is not much difference in accomplished maximum yields under similar conditions between these two crops. No correlations have so far been observed between p_o and yielding ability among varieties in rice or in maize. These contradictions suggest that breeding for high p_o may not be a feasible approach at least at the present yield level. It appears that there is some factor other than p_o limiting grain yield.

P_o is controlled not only by the potential ability of leaves where photosynthesis is taking place (the source), but also by the potential ability of organs where the photosynthetic products are utilized (the sink). As mentioned earlier, p_o decreases with ageing of leaf. Experimental evidence has proved that the decline of p_o with ageing is due to a decreased demand at the growing point for photosynthates of aged leaves caused by the surplus supply of photosynthates from new leaves (Tanaka and Yamaguchi [1972]).

In rice, it may be reasonable to consider that by the improvement of the plant type, the source has been improved markedly, and now it is the time to improve the sink. This hypothesis is supported by the close correlation between the grain number per unit field area and the grain yield due to almost constant filled grain percentage and 1000 grain weight in improved varieties (Fig. 10) (Yoshida, Cock and Parao [1972]). At least at the present yield level of improved varieties, further improvement of yielding ability appears possible by the improvement of the sink; i.e. increased number of grains per unit field area or increased grain size.

3. Nutritional Problems

In the tropics weathering is more rapid due to high temperature, and the soil characteristics reflect the weathering condition. Latosols prevail in high rainfall areas. In the rain forest, the top soil is rich in plant nutrients due to accumulation of plant

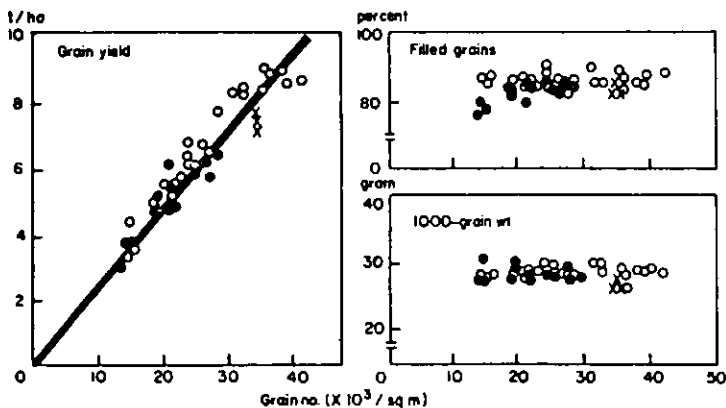


Fig. 10. Relationship between total number of grains per square meter, grain yield, filled grain percentage, and grain weight. Variety IR8 (○ = dry season; ● = wet season; x = direct-seeding).

residues, but, when jungles are cleared and cultivated, the climate-soil-plant balance is disturbed and soil fertility declines rapidly. Irrigation has extended cultivation into drier areas, where calcareous or sodic soils are found.

The authors made an extensive survey on nutritional disorders of rice in Asian countries (*Tanaka and Yoshida [1970]*). As nitrogen deficiency is so frequent, it was excluded from this survey.

The survey showed that the rice reflects well the nature of soils on it grows, because almost nothing has so far been done to improve fertility. Generally speaking, in the rain forest or savanna climate areas nutritional disorders are rather rare in paddy fields on alluvial soils along large rivers, but are frequent in fields in small valleys among or on terraces on hills with latosols and also in ill-drained small basins surrounded by limestone hills. In the dry areas, nutritional disorders are rather frequent because of high pH and high salt content of the soil.

Various nutritional disorders found in Asia can be classified as in Table 3. Figure 11 illustrates the occurrence of these disorders.

Descriptions of nutritional disorders frequently observed in the tropical Asia follow.

Table 3. Classification of nutritional disorders in Asia

Soil	Soil condition	Disorder	Local name
Very low pH	(Acid sulfate soil) Low in organic matter	Iron toxicity Phosphorus deficiency	'Bronzing'
Low pH	High in active iron	Phosphorus deficiency combined with iron toxicity	'Akagare Type III'
	High in iodine	Iodine toxicity combined with phosphorus deficiency	
	High in manganese	Manganese toxicity*	
	Low in active iron and exchangeable cations	Low in potassium	Iron toxicity interacted with potassium deficiency
High pH	Low in bases and silica, with sulfate application	Imbalance of nutrients associated with hydrogen sulfide toxicity	'Akiuchi'
	High in calcium	{ Phosphorus deficiency Iron deficiency Zinc deficiency	{ 'Khaira' 'Hadda' 'Taya-Taya' 'Akagare Type II'
	High in calcium and low in potassium	Potassium deficiency associated with high calcium	
	High in sodium	{ Salinity problem Iron deficiency Boron toxicity*	

* Probably rare.

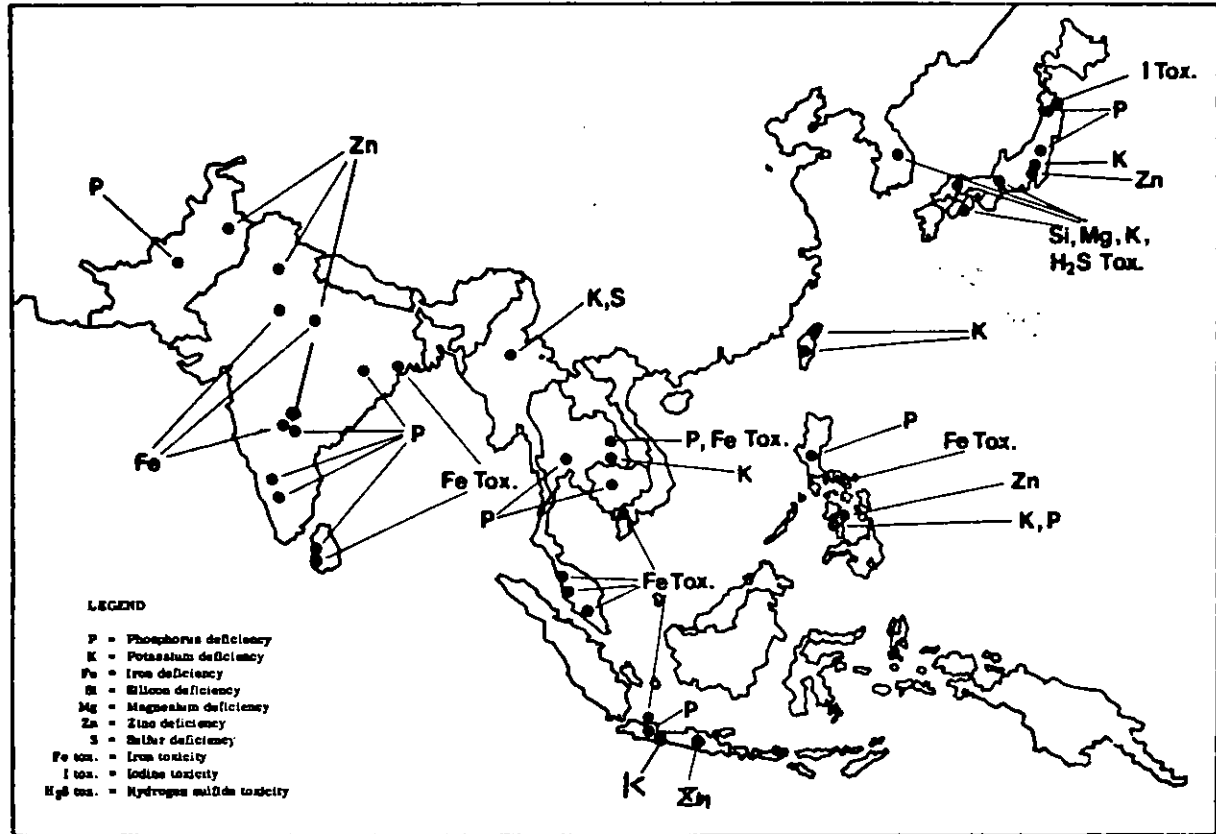


Fig. 11. Nutritional disorders of rice in Asia.

3.1. Iron Toxicity

On low pH soils iron toxicity is frequent. Upon submergence ferric iron in the soils is reduced to ferrous iron which is more soluble, especially at low pH. A high level of ferrous iron in the soil solution results in iron toxicity.

The symptoms of iron toxicity are characterized by the development of scattered small reddish brown spots on the lower leaves, the spots spread over the leaves, sometimes the whole leaf becomes brown, the lower leaves turn dark gray and die. The severity of iron toxicity does not necessarily correlate well with the iron concentration in the soil solution. Iron toxicity symptoms do not develop even above 1000 ppm Fe in the soil solution in some cases, but can occur with 100 ppm Fe in other cases. Rice roots have the iron excluding power by which iron is intercepted and thus prevented from entering the roots with the water (*Tanaka and Tadano [1969]*). The iron excluding power is affected by the status of roots: When the roots are injured by hydrogen sulfide, organic acids, etc., which accumulate in submerged soils, or even mechanically, it is weakened or destroyed, iron goes into the root more readily, and plants suffer from iron toxicity although the iron concentration in the soil solution is not very high.

Simple iron toxicity occurs in paddy fields on acid sulfate soils in coastal areas in the tropics. It can be corrected by application of calcium carbonate (*Tanaka and Navasero [1966]*). This disorder can be minimized by continuous submergence of the soil throughout the year because the iron concentration in the soil solution decreases with prolonged submergence due to an increase of soil pH (*Ponnamperma [1965]*). However, yields will not be very high under such a condition. Iron toxicity frequently develops in association with low levels of cations in the soil. 'Bronzing' in Sri Lanka is one of the examples.

3.2. Zinc Deficiency

Zinc deficiency was first identified in northern India in 1966 (*Nene [1966]*). It has since been shown that zinc deficiency in rice is widespread in many Asian countries, such as India, Indonesia, Japan, Pakistan, Philippines, Sri Lanka, and Taiwan.

Zinc deficiency is closely associated with neutral to alkaline pH, low available zinc content, and high content of organic matter in the soil (*Yoshida and Tanaka [1969]*). These characteristics are often associated with poor drainage.

Zinc deficiency symptoms are characterized by chlorosis of the midribs of younger leaves, especially at the base; smaller leaf-blades with normal leaf-sheath; brown blotches and streaks on lower leaves; stunted growth; and continued tillering. When zinc content of straw is below 10 ppm Zn, the plants are definitely suffering from zinc deficiency, and when it is above 20 ppm Zn, zinc deficiency is unlikely.

There is varietal difference in producing reasonable grain yield on zinc deficient soils: The lines susceptible to zinc deficiency were less vigorous in vegetative growth and low-tillering (*Yoshida, Ahn and Forno [1973]*).

Zinc deficiency is aggravated by addition of organic matter to the soil and also by application of urea rather than ammonium sulfate or ammonium chloride as nitrogen fertilisers. It can be corrected by application of zinc sulfate, zinc chloride, zinc oxide or FTE at the level of 10 to 100 kg/ha Zn depending on the severity of the deficiency.

Foliar spraying of soluble zinc salts is also effective. Dipping the roots of seedlings in 1 or 2% zinc oxide suspension before transplanting is the cheapest way to correct zinc deficiency.

3.3. Phosphorus Deficiency

Phosphorus insufficiency, which is demonstrated by low phosphorus content of the plant, is wide spread on acid soils high in iron and aluminium, and on neutral or alkaline calcareous soils.

Yield response to applied phosphorus in farmers' fields is observed on some acidic soils in Thailand or grumsols in India. However, in many cases insufficiency of phosphorus is masked by the low yield ceiling imposed by the climate-variety complex.

3.4. Potassium Deficiency

There are many cases of potassium insufficiency indicated by low potassium content of the plant on sandy latosols, calcareous soils, etc.

Potassium deficiency is frequently accompanied with iron toxicity. High levels of iron in growth media depress potassium absorption (Table 4) (*Tanaka, Loe and Navasero [1966]*), and potassium application depresses iron absorption (Table 5) (*Mulleriyawa [1966]*). The iron excluding power of the roots decreases when the plants are deficient in potassium, calcium or magnesium (Table 6) (*Tadano [1970]*). For these reasons, potassium application not only corrects simple potassium deficiency, but also iron toxicity induced by potassium insufficiency.

Table 4 Effect of iron level in nutrient solution on element content of plant

Fe ppm in culture solution	P (%)	K (%)	Mn (ppm)	Fe (ppm)
2.....	0.35	3.12	75	148
75.....	0.30	3.06	20	341
150.....	0.20	2.42	trace	785
300.....	0.13	1.30	trace	1602

Table 5. Effect of potassium application on iron content and iron toxicity symptoms on an acid sulfate soil in Vietnam

Amount of potassium sulfate applied (g/pot)	Dry weight (g/plant)	K (%)	Fe (ppm)	Iron toxicity symptoms
0.....	5.0	0.35	2710	+ +
1.....	13.8	0.90	1517	+
2.....	18.1	1.20	1450	+
3.....	23.1	1.80	1090	+

An unidentified nutritional disorder of rice at Cihea, Java was shown to be potassium deficiency accompanied with iron toxicity by a remarkable yield response to applied potassium in the field (Table 7) (*Isumunadji, Hakim, Zulkarnaini and Yazawa [1973]*). Potassium deficiency is also sometimes associated with high calcium carbonate content of soils in ill-drained fields. Upon submergence calcium carbonate in the soil is dissolved by an increase of the carbon dioxide partial pressure or of the organic acids concentration (*Lian and Tanaka [1972]*). Potassium absorption is retarded by organic acids, such as butyrate (Table 8) (*Tanaka and Navasero [1967]*), and also by bicarbonate, especially when potassium level is low (Table 9) (*Lian and Tanaka [1972]*). On such soils potassium application gives positive response (Table 10 (*Yoshida [1971]*)), though frequently zinc or phosphorus deficiency are found at the same time.

Except for above-mentioned cases, yield response to applied potassium is rather rare, because the response is frequently masked by the low climate-variety complex ceiling as in the case of phosphorus response. Under conditions of intensive cropping with

Table 6. Iron excluding power of rice plant deficient in various nutrient elements

Status of plant	Iron excluding power (%)
Complete	60
-N	60
-P	30
-K	20
-Ca	22
-Mg	27
-Mn	38

Table 7. Effect of potassium application on grain yield and mineral content of plant at Cihea, Java

Treatment	Grain weight (kg/ha)	K (%)	Fe (ppm)
No potassium	2958	0.35	214
60 kg/ha K as KCl	5594	1.00	167
60 kg/ha K as K ₂ SO ₄	5932	1.00	139

Table 8. Effect of butyrate at pH 6 on potassium content of plant

Butyrate concentration (millinormal)	Potassium content of plant K (%)
0	3.35
10	3.62
20	3.05
40	1.85

high yielding varieties and high rates of nitrogen, increasing responses to potassium may be expected with time as evidenced by results in the IRR1/BPI long term fertiliser experiments in the Philippines (Table 11) (*De Datta [1973]*).

Table 9. Effect of calcium and 'carbon dioxide' at pH about 6.2 on potassium content of plant

Treatment	Low Ca	High Ca	High Ca with CO ₂ saturation plus HCO ₃ ⁻ at	
			18 mM	32 mM
Concentrations in culture solution (mM)				
Ca	1	22	22	22
HCO ₃ ⁻	0	0	17	31
H ₂ CO ₃ + CO ₂	0	0	21	19
Potassium concentration in culture solution (mM)		Potassium content (%)		
0.9	2.57	2.54	1.50	1.27
1.8	3.07	3.03	2.13	1.75
5.4	3.53	3.29	2.56	2.34

Table 10. Effect of potassium application on grain yield of rice on a calcareous soil in the Philippines

Potassium fertiliser applied	Grain yield (t/ha)	
	T (N) 1	Panganahao
No potassium	2.61	1.83
Potassium sulfate	3.69	2.56
Potassium chloride	4.08	3.02
Potassium silicate	4.17	2.99

Table 11. Effects of NPK fertilisation on the grain yield (t/ha)* of flooded rice grown for ten successive seasons at Maligaya in the Philippines

Fertiliser treatment			Crop number										Mean										
N	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O	1		2		3		4		5			6		7		8		8		10	
			1968		1969		1970		1971		1971			1972		1972		1972		1972			
			D	W	D	W	D	W	D	W	D	W		D	W	D	W	D	W	D	W	D	W
0	0	0	4.0	2.8	3.1	3.5	2.7	3.2	3.7	3.3	3.5	2.6	3.6										
140**	0	0	6.7	4.9	5.7	4.4	5.1	5.0	5.1	4.3	5.5	3.4	5.0										
140**	60	0	7.0	5.2	5.8	4.6	5.7	5.3	6.5	4.5	6.1	4.0	5.5										
140**	0	60	6.5	5.1	5.6	3.3	5.0	5.3	5.6	4.8	5.4	3.5	5.5										
140**	60	60	7.0	5.6	5.8	5.1	6.3	5.5	7.1	5.3	7.0	4.6	5.9										
140**	60	30+30	7.1	5.6	6.1	4.9	5.8	5.7	7.1	5.2	7.3	4.2	5.9										

D = dry season; W = wet season.

* = Average of three improved varieties; IR 8, IR 22 and IR 20.

** = 70 kg/ha N in the wet season.

3.5. Iron Deficiency

Iron deficiency is frequently observed on calcareous or sodic soils high in pH and low in organic matter, at early growth stages of rice, especially under upland conditions. It can be corrected by adjusting soil pH with sulfuric acid application (Okajima, Mannikar and Rao [1970]), although this procedure may be impracticable to farmers.

Nutritional disorders of rice are generally considered to be caused by the adverse factors induced by soil submergence. However, the survey revealed that disorders of rice are intimately associated with the nature of soils as in the case of upland crops, although the water regime of submerged soils often related to them.

4. References

- De Datta, S. K.: Changes in soil fertility under intensive cropping of rice. Seminar on soil fertility at Bicol Rice and Corn Experiment Station. April 13-14, 1973.
- Escuro, P. B.: The response of rice varieties to season of planting. *Philippines Agr.* 44, 1 (1960).
- Heickel, G. H. and Musgrave, R. B.: Varietal difference in net photosynthesis of *Zea mays* L. *Crop Sci.* 9, 483-486 (1969).
- Ishizuka, J. and Tanaka, A.: Studies on ecological characteristics of rice plant grown in different localities, especially from standpoint of the nutrio-physiological character of the plant (Part. 4). Studies on the physiological relation between drying of the lower leaves and the grain-straw ratio. *J. Sci. Soil and Manure, Japan*, 27, 145-148 (in Japanese) (1956).
- Isumunadjii, M., Hakim, L. N., Zulkarnaini, I. and Yazawa, F.: Physiological disease of rice in Cihea. *Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor*, No. 4, 10 p. (1973).
- Jennings, P. R.: Plant type as a rice breeding objective. *Crop Sci.* 4, 13-15 (1964).
- Kawano, K. and Tanaka, A.: Growth duration in relation to yield and nitrogen response in the rice plant. *Jap. J. Breeding* 18, 46-52 (1968).
- Lians, S. and Tanaka, A.: Calcareous soils in Pingtung area (Taiwan) in relation to the growth of lowland rice. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 18, 15-22 (1972).
- Moomaw, J. C., Baldazo, P. G. and Lucas, L.: Effects of ripening period environment on yields of tropical rice. Symposium on problems in development and ripening of rice grain. *Int. Rice Com. Newsletter Special Issue* 18-25, 1967.
- Mulleriyawa, P. R.: Some factors influencing bronzing. Master Thesis, Univ. of Philippines, College of Agr., 1966.
- Navasero, S. A. and Tanaka, A.: Low-light induced death of lower leaves of rice and its effects on grain yield. *Plant and Soil XXV*, 17-31 (1966).
- Nene, Y. L.: Symptoms, cause, and control of Khaira disease of paddy. *Bull. Ind. Phytopathol. Soc.* 3, 97-101 (1966).
- Okajima, H., Mannikar, N. D. and Jaganmohan, Rao: Iron chlorosis of rice seedling in calcareous soils under upland conditions. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 16, 128-132 (1970).
- Ponnamperma, F. N.: Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. The mineral nutrition of the rice plant. Johns Hopkins Press. 295-328, (1965).
- Shehata, A. H., Dhawan, N. L. and Salama, S. I.: Genetic analysis of grain yield of maize as manifested in diverse varietal populations and their crosses. The Eighth Inter-Asian Corn Improvement Workshop. Bangkok 96-107 (1972).
- Tadano, T.: Studies on the iron nutrition of rice plant. Part. 4. Excess iron absorption as affected by nutritional status of the plant. *J. Sci. Soil and Manure, Japan* 41, 498-501 (in Japanese) (1970).
- Tanaka, A.: Plant characters related to nitrogen response in rice. The mineral nutrition of the rice plant. Johns Hopkins Press 419-435, (1965).
- Tanaka, A.: Mutual shading as a factor limiting the yield response of rice to application of nitrogen, phosphorus and potassium. *Plant and Soil XXV*, 201-210 (1966).
- Tanaka A.: Efficiency of respiration. *Int. Rice Res. Inst. Rice breeding 1972*, Los Banos, Philippines 483-498 (1972).
- Tanaka A., Kawano, K. and Yamaguchi, J.: Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. *Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull.* 7, 46 p. (1966).

- Tanaka A., Loe, R. and Navasero, S. A.*: Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 12, 158-164 (1966).
- Tanaka, A. and Navasero, S. A.*: Loss of nitrogen from the rice plant through rain or dew. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 10, 36-39 (1964).
- Tanaka, A. and Navasero, S. A.*: Growth of the rice plant on acid sulfate soils. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 12, 107-114 (1966).
- Tanaka, A. and Navasero, S. A.*: Carbon dioxide and organic acids in relation to the growth of rice. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 13, 25-29 (1967).
- Tanaka, A. and Tadano, T.*: Studies on the iron nutrition of rice plant. Part. 2. Iron excluding capacity of the rice roots. *J. Sci. Soil and Manure, Japan* 40, 469-472 (in Japanese) (1969).
- Tanaka, A. and Yamaguchi, J.*: Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *J. Facult. Agr. Hokkaido Univ.* 57, 71-132 (1972).
- Tanaka, A. and Yoshida, S.*: Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull.* 10, 51 p. (1970).
- Vergara, B. S., Puranabhavung, S. and Lilis, R.*: Factors determining the growth duration of rice varieties. *Phyton* 22, 177-185 (1965).
- Vergara, B. S., Tanaka, A., Lilis, R. and Puranabhavung, S.*: Relationship between growth duration and grain yield of rice plants. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 12, 31-39 (1966).
- Yoshida, S.*: Nutritional disorders of rice in Asia. *Food and Fertiliser Tech. Cent. ASPAC. Ext. Bull.* No. 4 (1971).
- Yoshida, Y., Ahn, J. S. and Forno, D. A.*: Occurrence, diagnosis, and correction of zinc deficiency of lowland rice. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 19, 83-93 (1973).
- Yoshida, S., Cock, J. H. and Parao, F. J.*: Physiological aspects of high yields. *Int. Rice Res. Inst. Rice Breeding 1972, Los Banos, Philippines* 455-469 (1972).
- Yoshida, S. and Tanaka, A.*: Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 15, 75-80 (1969).

Influence de conditions écologiques particulières sur la croissance, le métabolisme et la nutrition potassique des plantes tropicales

A. Tanaka, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo/Japon

Version abrégée

Dans la plupart des pays rizicoles, l'azote est le principal facteur limitant. En général, des doses de N plus élevées exigent un meilleur approvisionnement en P et en K, particulièrement en conditions de luminosité solaire abondante. Cela n'est pas le cas dans la saison de la mousson, où les rendements en grains sont limités surtout par l'énergie solaire. Lorsque l'indice optimum de la surface foliaire est atteint, des apports de N plus élevés provoquent une croissance des feuilles excessive et réduisent le rendement en grains à cause d'un ombrage réciproque plus important. Le P et le K ne peuvent corriger cet effet négatif de N. Dans les feuilles inférieures, l'ombrage induit des pertes de respiration relativement élevées, provoquant une mort précoce de ces feuilles, ce qui se traduit par un effet négatif sur les rendements en grains.

Les variétés traditionnelles ont un plafond de rendement bas et, de ce fait, ne répondent que rarement aux fumures phosphatée et potassique.

Sous les tropiques, la durée de croissance et les saisons sont plus complexes que dans les régions tempérées, étant donné que l'on peut souvent y effectuer plus d'une récolte par an. Par conséquent, ce qui compte le plus, ce n'est pas le rendement d'une seule culture, mais le rendement annuel. Les variétés de riz dont la durée de croissance est courte s'adaptent mieux aux saisons de plantation, parce qu'elles sont généralement moins sensibles au photopériodisme. Ces variétés appelées «variétés non saisonnières» à courte durée de croissance, répondent mieux à N que les variétés dont la durée de croissance est plus longue. En général, la durée de croissance optimale est d'autant plus courte que les doses de N sont plus élevées. On considère des durées de croissance de 100 à 120 jours comme optimales.

Le taux de croissance après floraison exerce une influence positive sur le rendement en grains; donc l'ombrage réciproque des plantes devrait être réduit particulièrement pendant la maturation. On définit le type de plante optimal ainsi: feuilles courtes, érigées, stature courte et tallage modéré. Ces types possèdent un coefficient respiratoire élevé, qui les différencie des variétés traditionnelles.

Les taux de photosynthèse du maïs sont deux fois plus élevés que ceux du riz. Toutefois, il n'y a pas de différences majeures entre les rendements maxima de ces deux cultures, sous conditions semblables; donc de toute évidence, le taux de photosynthèse n'est pas le facteur clef dans l'accroissement maximum d'une culture de riz. On suppose que la «source» (taux de photosynthèse) des variétés à rendement élevé n'est pas le facteur limitant, mais bien le «sink», c'est à dire dans ce cas précis le nombre de grains par unité de surface (qui est en corrélation directe avec le rendement en grains).

Dans les rizières sur sols alluviaux des régions de forêts humides et de savanes les troubles nutritionnels du riz sont en général rares, mais, par contre, ils sont fréquents sur les latosols des petites vallées et dans les petits bassins mal drainés entourés de collines calcaires. La carence en Zn est très répandue sur les sols à pH neutre ou alcalin. On trouve des carences en P tant sur les sols acides que calcaires; les plantes affectées ont une faible teneur en phosphates. On pense que les carences en K des latosols sableux, de même que celles des habitats calcaires, sont souvent accompagnées d'une toxicité ferrique. La capacité des racines du riz à exclure l'absorption du fer est faible dans les plantes qui souffrent d'une carence en K. Sur ces sols, la fumure potassique produit des réponses de rendement considérables. Cela est aussi vrai pour les sols à teneur élevée en HCO_3^- . Le H_2S et les acides gras que peuvent contenir les sols de rizières en conditions de submersion ont une influence négative sur la capacité d'absorption de K.

Dans les conditions de culture intensive avec des variétés à haut rendement et des doses de N plus élevées, on s'attend à des réponses de rendement plus fortes aux fumures phosphatée et potassique comme le montrent de récents essais effectués aux Philippines.

Potassium Uptake Rates in Tropical Crops

Prof. P. B. Tinker, Department of Plant Sciences, The University of Leeds/United Kingdom

Summary

Methods of treating plant nutrition as a dynamic process are considered theoretically superior to conventional methods of investigation. There should be no fundamental differences between temperate and tropical crops in this respect, but the larger relative growth rate of tropical crops may demand a higher flow rate of potassium to the roots.

The difficulties of applying nutrient flow ideas in the field is stressed, but an attempt has been made at a nutrient flow analysis of oil palms in Southern Nigeria, using existing data in the literature. This indicates that the root system unit absorption rate is very small compared to temperate annual crops, though there are no tropical tree crop data for comparison. Calculation indicates a moderate degree of depletion of soil solution potassium around the absorbing roots.

1. Soil factors affecting uptake of potassium

The study of soil parameters affecting plant uptake of potassium has progressed into steadily greater detail. Originally a measurement of some empirically determined fraction of soil potassium sufficed, and much advisory work still proceeds on the same basis. The lack of any clear relationship between uptake and soil measurement (other than empirical correlations) is a sufficient reason why these methods fail when tested in new areas. Then followed measurement of more closely defined soil potassium indices: the exchangeable potassium, and various ratios of the exchangeable potassium to other exchangeable cations, or the cation exchange capacity. These have a more fundamental basis.

A further improvement in our understanding of potassium supply came with the concepts of 'intensity' and 'quantity' of supply (*Schofield [22]; Arnold [1]; Beckett [5]*), which allowed a conceptual separation of the immediate condition of a plant, and its subsequent nutritional state during the rest of its growth period. This was early linked to the idea that 'intensity' of nutrient supply was expressed by an activity ratio, such as

$$(K) / \sqrt{(Ca) + (Mg)}$$

in the soil solution. This work has been extensively reviewed by *Beckett [6, 7]*. The activity ratio is a well defined soil function, depending only upon the exchange properties of the soil and the amounts of exchangeable ions; it is, therefore, related to

methods using exchangeable ion ratios. Later the ion activity method was extended to soils where the major cation varied – for example *Tinker* [27] utilised a complex ratio to predict potassium deficiency in a range of soils ranging from near neutral (major ion Ca) to extremely acid (major ion Al).

The activity ratio is accepted as a well defined soil parameter, but there is much less agreement on whether it defines availability of potassium to plants (see *Wild, Rowell* and *Ogunfawona* [32]), and it is clear that a more fundamental treatment is needed. A new aspect has been added by considering the dynamic nature of plant nutrition, and the transport of ions to roots in soil (*Barber* [4]; *Blanchet, Bosc* and *Maertens* [8]). With this approach, immediate nutrient uptake has been described in terms of root properties, the soil solution concentration, the soil buffer power, and the diffusion coefficient for potassium, and the presence of competing or toxic ions (*Nye* [15]; *Baldwin, Nye* and *Tinker* [3]). Slow release of inter-layer potassium in the soil must also be included where this occurs. Fundamentally, the factors determining the uptake of potassium by tropical crops are likely to be exactly the same as those for temperate ones. There is no suggestion that the potassium uptake mechanism of the roots of tropical plants differs from that of temperate plants (as, for example, the C-3 and C-4 photosynthetic pathways differ). The properties may differ in degree between temperate and tropical soils, but there do not seem to be any fundamental differences in relation to potassium nutrition.

A very pressing problem is how to apply the 'dynamic' ideas of plant nutrition in practice. If it is too difficult to get the information needed, or if the inevitable uncertainties and errors of field work make their application of little value, then existing methods of investigating potassium supply from soils may in practice prove more useful. This paper is a first attempt at such an application, using existing data.

2. Potassium flow rates into roots

Since uptake is a dynamic process, *Brewster* and *Tinker* [11] have recently urged the value of measuring the flow of nutrients into roots, i.e. the rate of uptake referred either to root length (Inflow), surface area (Flux) or mass (Specific uptake rate). This type of measurement is analogous to growth analysis in plants (*Tinker* [28]), in that it relates a flow of material into the plant to the total size of the absorbing organ as does the net assimilation rate.

The rate of uptake of potassium is an important factor in considering a deficiency in a crop, and *Nye* and *Tinker* [14] considered that the inflow *I*, or uptake rate per unit length of root, was most vital, since this determines whether there is a serious depletion of labile potassium around the root. A soil must be capable of supplying the *I* value required by the crop, or a deficiency will result.

This argument suggests one possible difference between temperate and tropical crops. It may easily be seen that the rate of uptake of potassium into plant roots is a function of the relative growth rate (*R*); *Nye* and *Tinker* [14] showed that approximately,

$$I = \frac{W}{L} \cdot R \cdot P$$

where *I* is the mean uptake per unit length of absorbing root, *W* is the total plant weight, *L* the root length and *P* the mean percentage of nutrient (which we here

assume to be potassium). This implies that I increases with R, with P or with W/L . The mean concentrations of potassium required for optimum growth in temperate and tropical plants show no obvious differences. There is, as yet, insufficient data to decide whether the shoot/root length ratio W/L tends to differ, and it is hoped that this discussion may stimulate such measurements in tropical plants.

However, tropical plants may well have a higher relative growth rate than temperate ones. In particular, this is likely to occur in the early stages of growth, when temperate crops often grow very slowly because of low temperatures; the I value can consequently also be small. This situation is analogous to the suggestion of *Rorison [19]*, that certain species are particularly resistant to phosphate deficiency because of their slow relative growth rate. We may thus expect to find that tropical crops, growing at their optimum rate, will need a better supply of potassium in the soil than temperate ones. A good example might be sugar cane, with its very large potassium content.

An investigation of the rates of transport and root uptake of potassium in a crop in the field is extremely difficult, and few have been attempted. Partly this is because complete sets of data are difficult to obtain, partly because the soil is not homogeneous, and all variables are constantly changing. Some data on potassium uptake rates into vegetation are available (as in *Rodin and Basilevic [18]*), but information on quantity of absorbing root is almost totally lacking. An analysis of the potassium flow of the oil palm root system is given here, as a first attempt to deal with a tree crop in this way. This crop has the advantage that it forms a very stable system (*Tinker [27]*). The growth rate and potassium demand are very constant from year to year, and there is no strongly marked period of leaf production or leaf loss. The soil in this case was the morphologically and pedologically simple one developed on the deep sandy sediments of southern Nigeria. It is known that non-exchangeable potassium release is extremely slow, that the exchangeable potassium in the topsoil diminishes very slowly (*Tinker [26]*) and that seasonal changes in exchangeable potassium are negligible.

3.1. Potassium inflow analysis for oil palms

A variety of data are available on the potassium nutrition of oil palms in Benin in Southern Nigeria. *Tinker and Smilde [29]* found that 20 year old oil palms removed about 5.7 kg K per palm in the palm itself and in the bunch production. The accumulation of potassium proceeds at a roughly constant rate after the first 5 years, and it may be taken that this rate is 0.29 kg K/palm/yr. The palm must also absorb all the potassium in the leaves which is then lost back to the soil, some in litter and a very little in rain wash (*Tinker [24]*); any translocated from old to young leaves has to be neglected. From data on leaf production (28 kg/palm/yr leaflets, and 50 kg/palm/yr rachises for 17–22 year old palms, *Rees and Tinker [17]*) and potassium concentration in the leaves (0.76% K for leaflets, 0.47% K for rachises, *Tinker and Smilde [29]*) it can be calculated that the potassium turnover must be about 0.44 kg/palm/yr. There is no way of finding turnover in the roots. Total uptake is thus 0.73 kg/palm/yr. *Rees and Tinker [17]* report a dry root weight of 128 kg, but to a depth of 90 cm, and without differentiation between primary and other roots. A straight calculation of the specific absorption rate (*Welbank [31]*; *Brewster and Tinker [24]*) of the root

system gives 4×10^{-12} moles $\text{s}^{-1} \text{g}^{-1}$, to dry weight; the value referred to fresh weight (unit absorption rate) would, of course, be considerably smaller. This value is extremely small in comparison with other published work (*Brewster and Tinker [11]*) though no tree crops have yet been studied in this way.

Purvis [16] has given much more detailed data for 14 year old palm roots, growing in a similar field on the same station. *Ferwerda [13]* states that the palm root system remains constant from 9 years on, hence *Purvis's* data have been used here. He gives the weight of primary and other roots separately, at depths of 0–30 and 30–60 cm, and at varying distances from the palm. The primary roots are heavily lignified, and are most unlikely to absorb. To include those would be analogous to including trunk weights in with the leaves in a classical growth analysis. *Purvis* found no root hairs on the roots. The potassium content in these soils diminishes rapidly from the surface downwards (*Tinker and Ziboh [30]*), and the weight of non-primary roots in the top 12 inches (30 cm) seems the most reasonable value to use. Calculation gives us a total of 16 kg fresh roots per palm in this class. The mean unit absorption rate \bar{S} , is then 3×10^{-11} mole $\text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$. Data for secondary, tertiary and quaternary roots have been given by *Ruer [2]*, *Taillez [23]* and *Corley [12]*, who all report that the weight of the absorbing roots, tertiaries and quaternaries, form between $\frac{1}{4}$ and $\frac{1}{2}$ of the total weight. If we take $\frac{1}{3}$ of the above weight, we get 5 kg of root assumed to be absorbing, which yields a value for \bar{S} of about 10^{-10} mole $\text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$. This is still a rather small value, compared to the typical value (for annual plants) of 5×10^{-10} mole $\text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ given by *Brewster and Tinker [11]*. The topsoil is dry for about three months, and the effective \bar{S} may, therefore, reasonably be regarded as 1.3×10^{-10} mole $\text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$. It is interesting that the oil palm has a particularly low net assimilation rate (*Rees and Tinker [17]*), which is analogous to the unit absorption rate for nutrients. The absorbing organs of the oil palm, both above and below ground, thus seem to be relatively inefficient.

3.2. Relation of oil palm uptake rate to soil potassium availability

Nye [15] has outlined the dynamic approach to nutrient uptake in contrast to the classical 'static' methods. *Brewster and Tinker [10]* applied a simple dynamic model to the growth of a whole plant in soil, and this approach is used here. It is obvious that the field situation is extremely variable, and the results can only be regarded as orders of magnitude at present. The essential point about this model is that it assumes uniform rates of uptake at all times and all positions on the root – this is clearly not correct, but it should approximate to the mean situation. Some of the roots must be absorbing more rapidly than the average, at least. The oil palm has the advantage for this work that it is virtually a 'steady state' crop, in that soil and palm are in near equilibrium [*Tinker [27]*].

It is now believed that the soil solution concentration of potassium (C_{ii}) is the most important parameter determining the instant rate of uptake (i.e. the 'intensity') of potassium. It is well known that C_{ii} varies widely from day to day in the field, and that no one figure can be accurate. No direct measurements are available in this case, but estimates can be obtained from two sources. A small lysimeter close to the field carrying the experimental palms and under the same ground cover plants, gave data for K and (Ca + Mg) in the run-through (*Tinker [25]*). A more reliable method is by

using the activity ratio $\frac{(K)}{\gamma(Ca) + (Mg)}$ which is known to be 0.008 in the topsoil of this

field and to be constant. *Tinker [27]* showed that such a value for the activity ratio indicates a slight degree of potassium deficiency. Occasional measurements of nitrate in the topsoil, with the known field capacity of 10–12%, allow an estimate of total electrolyte concentration (since nitrate is virtually the only anion in this soil). The use of the Activity Ratio to estimate soil solution concentration is stressed, since it seems likely that a major reason for the successful use of this parameter is its direct relationship to the soil solution concentration, if the mean soil solution electrolyte level does not vary widely between the sites tested. *Braunschweig and Mengel [9]* have pointed out, that the activity ratio is of little or no use as an indicator of potassium supply when the concentration of Ca and Mg in the soil solution does vary. Both these methods indicate a C_{ii} of $2-2 \times 10^{-4}N$ for potassium in the topsoil of fields of this type.

The roots in the top 30 cm included in the value used here are tertiary and quaternary. Measurements of palm roots (*Corley [12]; Ruer [20]*) indicate that the diameter of tertiary and quaternary roots are 1 mm and 0.2 mm respectively, and that 1 cm of tertiary root bears 2.7 cm of quaternary root. This gives a specific root length of about 400 cm g^{-1} , and a total root length of $2 \times 10^6 \text{ cm per palm}$. From this, the inflow, I , of $3 \times 10^{-13} \text{ moles cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ can be calculated. This value is again rather low.

We follow *Brewster and Tinker's [10]* equation $I = 2\pi (Db) (C_{ii} - C_{ir})$, when (Db) is the porous system diffusion coefficient, γ a function of the diffusion coefficient, time and the root radius, and $(C_{ii} - C_{ir})$ is the difference in soil solution concentration of potassium between the bulk soil and the root surface. (Db) for a moist sandy soil will be about $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$; and for a mean root age of 10–30 days γ will be about 0.7. Hence $C_{ii} - C_{ir} \sim 0.7 \times 10^{-4} \text{ moles l}^{-1}$.

On this calculation, the decrease in concentration at the root surface is about 20–30% of the total C_{ii} , which is not unreasonable (*Bagshaw et al. [2]*) and suggests that this gives the right order of result. Bearing in mind that some of the root is lignified, and that the C_{ii} will often be less than the estimate in periods of heavy rain, it is clear that this value for $C_{ii} - C_{ir}$ is likely to be an underestimate, hence the diffusion impedance around the root may often be limiting, and cannot be neglected in studies on potassium nutrition. These results seem reasonable for a plant in the incipient stages of deficiency.

The conclusion is that oil palms, in spite of their heavy demands for potassium, have a rather inefficient root system, in terms of the total weight of root required for its absorption, compared with temperate annual crops. A comparison with other tropical tree crops would be of considerable interest. It is, therefore, interesting that the critical activity ratio of potassium for oil palms (*Beckett [7]*) appears to be appreciably higher than that for most other crops which have been studied.

References

1. *Arnold, P. W.*: Proc. Fertil. Soc. 72 (1962).
2. *Bagshaw, R., Vaidyanathan, L. V. and Nye, P. H.*: J. Agric. Sci. 73, 1 (1969).
3. *Baldwin, J., Nye, P. H. and Tinker, P. B.*: Pl. Soil 38, 621 (1973).
4. *Barber, S. A.*: Soil Sci. 93, 39 (1962).
5. *Beckett, P. H. T.*: J. Soil Sci. 15, 1, 9 (1964).

6. Beckett, P. H. T.: Potash Rev. (1971).
7. Beckett, P. H. T.: Adv. Agron. 24, 379 (1972).
8. Blanchet, R., Box, M. and Maertens, C.: Potassium Symposium, p. 81 (1970).
9. Braunschweig, L. C. V. and Mengel, K., 26/1 Sonderheft, XX, Landwirtschaftliche Forschung (1971).
10. Brewster, J. L. and Tinker, P. B.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 421 (1970).
11. Brewster, J. L. and Tinker, P. B.: Soils and Fert. 35, 355 (1972).
12. Corley, R. H. W.: Personal communication.
13. Ferwerda, J. D.: Thesis, Wageningen, 1955.
14. Nye, P. H. and Tinker, P. B.: J. Appl. Ecol. 6, 293 (1969).
15. Nye, P. H.: Potassium in Soil, IPI 9th Colloquium, p. 147 (1972).
16. Purvis, C.: J. West Afric. Oil Palm Res. 1 (4), 60 (1956).
17. Rees, A. R. and Tinker, P. B.: Pl. Soil 19, 19 (1963).
18. Rodin, L. E. and Basilevic, N. I.: Functioning of terrestrial ecosystems. Ed. Eckhardt, p. 48, 1968.
19. Rorison, J. H.: New Phytol. 67, 913 (1968).
20. Ruer, P.: Oleagineux, 22, 535 (1967).
21. Ruer, P.: Oleagineux, 22, 595 (1967).
22. Schofield, R. K.: Soils and Fert. 18, 2172 (1955).
23. Tailliez, B.: Oleagineux, 26, 435 (1971).
24. Tinker, P. B.: Ann. Rep. W. Afric. Inst. Oil Palm Res., 81 (1957).
25. Tinker, P. B.: 8th Ann. Rep. W. Afric. Inst. Oil Palm Res., 128 (1959).
26. Tinker, P. B.: J. W. Afric. Inst. Oil Palm Res. 4, 66 (1963).
27. Tinker, P. B.: J. Soil Sci. 15, 36 (1964).
28. Tinker, P. B.: Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Ed. Rorison, p. 135 (1969).
29. Tinker, P. B. and Smilde, K. W.: Pl. Soil 19, 350 (1963).
30. Tinker, P. B. and Ziboh, C. O.: J. W. Afric. Inst. Oil Palm Res. 3 (9), 16 (1959).
31. Welbank, P. J.: Ann. Bot. (N.S.) 26, 361 (1962).
32. Wild, A., Rowell, D. L. and Ogunjawona, M. A.: Soil Sci. 108, 432 (1969).

Taux d'absorption du potassium par les plantes tropicales

P. B. Tinker, Department of Plant Sciences, The University of Leeds/Royaume Uni

Version abrégée

Dans le cadre des études sur les paramètres du sol concernant l'absorption de K par les plantes, on a surtout utilisé des mesures définissant les fractions du potassium du sol, c'est-à-dire le K échangeable. Nos connaissances sur l'approvisionnement en K ont été précisées par les concepts d'«intensité» et de «quantité», qui permettent une séparation conceptuelle de la condition immédiate d'une plante et de son état nutritionnel subséquent pendant le reste de sa période de croissance. On a généralement associé l'idée du «taux d'activité» à ces méthodes. Récemment, on a développé une nouvelle approche, qui considère la nature dynamique de la nutrition de la plante et le transport des ions vers les racines dans le sol en fonction des caractéristiques des racines, de la concentration de la solution du sol, du pouvoir tampon du sol, et du coefficient de diffusion de K.

Il n'y a pas de thèse qui puisse expliquer que l'absorption de K par les racines de plantes tropicales diffère fondamentalement dans son mécanisme par rapport aux plantes des zones tempérées; cependant des différences de taux existent.

Lorsque l'on mesure le flux des éléments nutritifs vers les racines, le taux d'absorption peut se référer soit à la longueur des racines (l), soit à la partie superficielle ou encore à la masse de ces deux. L'influx de K (I) est très important, puisqu'il permet de déterminer s'il y a un épuisement sérieux en K labile à proximité de la racine. Le taux de croissance relativement plus important des cultures tropicales exige un flux potassique plus élevé vers les racines que dans le cas des cultures des zones tempérées.

Il est donc possible que les cultures tropicales, croissant à leur taux optimal, aient besoin un meilleur approvisionnement du sol en K que les cultures des zones tempérées.

Un problème est de savoir comment mettre en pratique la notion de «dynamique» de la nutrition des plantes. C'est afin d'y répondre que l'on a effectué un essai en utilisant les données disponibles.

On a procédé à l'analyse du flux de K au niveau du système racinaire du palmier à huile, puisque cette plante a un taux de croissance et un besoin en K très constant au cours des années. On a utilisé les données disponibles dans la littérature concernant l'absorption et la migration de K chez le palmier à huile. Ces données furent obtenues sur des champs d'essai au Nigéria méridional, sur des sédiments de sable profonds avec une libération lente de K et peu de changements dans le K échangeable. Se basant sur différentes hypothèses, on a fait des calculs du taux d'absorption spécifique au niveau de la portion active des racines.

On pense que la concentration de la solution du sol en K (C_{ij}) dans la couche supérieure du sol est le paramètre le plus important pour déterminer le taux réel de l'absorption de K, quoiqu'en plein champ il varie fortement d'un jour à l'autre. Bien que l'on ne dispose pas de moyens de mesure directs, les données lysimétriques et les valeurs du rapport d'activité dans la couche supérieure du sol donnent des estimations de $2-3 \times 10^{-4}$. En mesurant le diamètre et la longueur des racines on peut calculer un influx de $\bar{I} = 3 \times 10^{13}$ moles $\text{cm}^{-1} \text{s}^{-1}$, ce qui est plutôt bas. En utilisant l'équation de *Brewster et Tinker* pour calculer la différence dans C_{ij} de K entre la masse du sol et la surface racinaire, il est évident que la diminution dans la concentration à la surface de la racine est d'environ 20 à 30% de C_{ij} totale.

Malgré des exigences élevées en K, le taux d'absorption par unité du système racinaire du palmier à huile est très faible, et les organes absorbants semblent être relativement peu efficaces comparés aux cultures annuelles.

Rythme d'absorption du potassium en relation avec la croissance: cas de l'ananas et du bananier

J. J. Lacauilhe, Ing. agr., Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), Abidjan/
Côte d'Ivoire

Résumé

Les conditions tropicales imposent une conception particulière de la fumure potassique. La pluviométrie élevée à certaines saisons épuise rapidement les sols qui ont perdu leur équilibre naturel. Il est nécessaire de calculer la fumure à partir des immobilisations et non pas des seules exportations. L'utilisation des engrais est faible. Les apports d'engrais doivent être fractionnés en fonction des besoins de la plante pour être assimilés rapidement. Cela implique une bonne connaissance de la nutrition de la plante.

Le rythme d'absorption du potassium est lié à la croissance potentielle de la plante et aux disponibilités du milieu. Au cours de la fructification, le potassium est redistribué à partir des feuilles principalement et son absorption est ralentie. Les relations entre absorption et utilisation doivent être encore approfondies.

Pour les plantes herbacées à croissance rapide exigeantes en potassium, la fumure doit donner la priorité à la plante, le sol intervenant surtout comme régulateur.

L'immense forêt tropicale fait croire à de vastes possibilités des sols de ces régions. Il s'agit en fait d'un équilibre fragile qui est détruit avec la déforestation pour la mise en culture. L'évolution initialement rapide de la matière organique et l'importance de la pluviométrie à certaines saisons conduit à un épuisement rapide de sols souvent pauvres: faible capacité d'échange et réserves minérales réduites. La fertilisation ne peut donc pas être conçue comme dans les zones tempérées. Nous examinerons le cas de l'ananas et du bananier, mais les problèmes sont analogues pour les plantes herbacées à croissance rapide.

1. Evolution du potassium dans les sols tropicaux cultivés

1.1. Importance de la lixiviation

La forte pluviométrie, surtout sa répartition annuelle, entraîne un fréquent renouvellement de la solution du sol. Sur un sol ferrallitique de bananeraie, les pertes annuelles de potassium par lixiviation et drainage sont dix fois plus importantes en basse Côte d'Ivoire - pluviométrie annuelle 2000 mm dont plus de 600 en juin - qu'en France à Quimper - pluviométrie annuelle 1090 mm (*Godefroy et Roose [1]*). Les pertes dans les eaux du ruissellement sont importantes en saison des pluies si l'engrais n'est pas enfoui: elles peuvent avoir, après un épandage d'engrais, une teneur plus élevée que l'eau de drainage. Les pertes totales représentent 50 à 60% du potassium apporté

sur le sol. La rétrogradation du potassium est pratiquement nulle avec des apports inférieurs à 0,5 méq. pour 100 g de terre (Godefroy [2]).

1.2. Comparaison culture-jachère (Godefroy-Tisseau-Lossois [3])

Sur les sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire, le potassium échangeable sous forêt est stable à 0,07 méq.%. La destruction de la forêt avec brûlage et débardage des troncs élève cette teneur à 0,23 méq.%.

Ce sol laissé en jachère sans exportations se maintient après dix ans sensiblement même niveau avec ou sans apport de potasse. L'apport de fumure organique élève cette teneur sans effet cumulatif.

Sous culture d'ananas, les exportations sont constituées par les fruits, les couronnes et les rejets et le potassium devient rapidement inférieur à 0,05 méq.% avec ou sans apport minéral. La fumure organique a un effet de courte durée et ne permet pas d'enrichir le sol.

Dans ces conditions, le sol n'intervient très rapidement que pour une part minime dans l'alimentation de la plante, dont il est nécessaire de connaître les besoins.

2. Evaluation des besoins globaux

2.1. Exportations par la récolte

Le potassium exporté par les régimes de bananes est assez constant pour les variétés Poyo, Grande Naine, Petite Naine en Guinée ou aux Antilles françaises (Montagut, Martin-Prével [10]).

Pour l'ananas, les densités, longueur de cycle, tonnages récoltés diffèrent avec la destination du fruit. On cite les chiffres de 130 kg/ha pour le fruit d'exportation et de 240 kg K₂O/ha pour celui de conserverie (Py [11]). On doit logiquement y ajouter les quantités correspondantes aux rejets destinés à d'autres plantations.

2.2. Restitution des résidus de culture

Après la récolte des fruits et des rejets pour la replantation, le reste de la plante est haché et restitué au sol. Dans le cas du bananier on peut aussi utiliser les déchets des ateliers de conditionnement et en particulier les hampes des régimes dont la teneur en potassium est très élevée. En apportant 480 tonnes de matière fraîche et 900 kg de K₂O à l'hectare, il est possible d'élever le potassium échangeable du sol de 0,5 à 1,3 méq.% en un mois, mais cette teneur diminue rapidement entre deux applications (Lassoudière, Godefroy [5]). Cette technique permet donc de réduire la fertilisation potassique dans les mois qui suivent la plantation, mais non de la supprimer.

Ces pertes élevées sont dues à la minéralisation très rapide de la matière organique. Cela est particulièrement vrai pour les feuilles d'ananas. Il apparaît donc qu'il faut évaluer les besoins de la plante à partir de ses immobilisations successives et non pas de ses exportations.

2.3. Immobilisations de la plante

La composition des fruits est relativement constante et les exportations sont essentiellement fonction du rendement. Aux Antilles les immobilisations d'un bananier

varient de 350 à 1000 kg K_2O /ha suivant les sols (*Martin-Prével, Montagut [10]*). Pour l'ananas, elles peuvent augmenter de 740 à 1250 kg K_2O sans augmentation de rendement (*Lacaille, Gicquiaux [4]*). La part des exportations par le fruit dans les immobilisations totales à la récolte, diminue lorsque le niveau de la nutrition potassique s'élève. Une augmentation de la dose d'azote peut également élever les teneurs en potassium des tissus – donc des immobilisations – si le sol est suffisamment riche (*Marchal et al. [6]*). La nutrition potassique est de plus soumise aux relations inter-cations (*Martin-Prével [7]; Lacaille et Gicquiaux [4]*). Les immobilisations doivent donc être considérées dans leur contexte climatique, pédologique et cultural, c'est-à-dire en relation avec la croissance de la plante. Le vrai problème consiste à mieux connaître la nutrition de la plante.

3. Rythme d'absorption du potassium

3.1. Bilans quantitatifs successifs

Il existe une relation étroite entre croissance et rendement, comme cela a été démontré en particulier chez l'ananas (*Py et Lossois [12]*). L'influence de la nutrition sur la croissance peut être étudiée par l'intermédiaire du diagnostic foliaire. Chez les plantes herbacées à croissance rapide, on est conduit (*Martin-Prével [8]*) à considérer le contenu et non pas la seule teneur de l'organe répondant aux critères imposés par le diagnostic foliaire. (Pour l'ananas par exemple s'est la feuille D, celle qui vient de terminer sa croissance.) Mais une seule feuille ne peut pas rendre compte de l'aspect dynamique et cinétique de la nutrition de la plante entière. Pour cela il est nécessaire d'envisager des bilans quantitatifs successifs des différentes parties de la plante et d'y ajuster un programme de fumure avec apports fractionnés rapidement assimilés pour limiter les pertes d'engrais.

3.2. Absorption du potassium en relation avec la croissance

Le potassium est moins impliqué que l'azote dans l'élaboration de la matière végétale. Son absorption est surtout déterminée par la croissance de la plante. Les courbes d'immobilisation du potassium suivent, pendant la phase végétative, celles de la matière sèche chez le bananier (*Martin-Prével [8]*) comme chez l'ananas (tableau 1). Les accroissements relatifs des immobilisations de la plante diminuent avec l'âge de la plante. Le rapport K/N varie peu, mais il tend à augmenter.

La masse de potassium absorbée par la plante dépend des disponibilités du milieu. En culture sur solution, l'ananas consomme plus de potassium si la solution nutritive est plus concentrée (*Tisseau [14]*). C'est surtout pendant la phase végétative qu'il peut y avoir accumulation de potassium dans la plante.

Après la différenciation florale, l'absorption est ralentie, moins que celle de l'azote, car le rapport K/N augmente surtout avant la «jetée» de la fleur chez le bananier et à l'approche de la récolte chez l'ananas. L'absorption au cours de cette phase semble dépendre essentiellement de l'état de la nutrition potassique au moment de la différenciation florale.

On remarque cependant dans le tableau 1 que l'augmentation des immobilisations globales *après* le traitement de floraison double avec la fumure qui a pourtant été apportée en pulvérisations mensuelles sur le feuillage *avant* cette date, alors que le potassium échangeable du sol est faible (0,2 méq.%) Le sol intervient en particulier quand l'augmentation du poids du fruit s'accélère à l'approche de la récolte (Teisson [13]).

3.3. Absorption et redistribution

Au cours de la phase végétative, les jeunes feuilles bénéficient d'un courant préférentiel et parfois de la mobilisation des vieilles feuilles dont la sénescence est alors accélérée. La fumure agit modérément sur la sortie des feuilles de l'ananas mais elle influence nettement le nombre de feuilles vivantes.

Au moment de la fructification, l'ensemble de la plante et les feuilles en particulier sont mobilisées en faveur du fruit. On peut citer à titre d'exemple l'évolution du potassium contenu dans les feuilles d'ananas sorties entre 6 et 8 mois (tableau 2). Les teneurs baissent avec l'âge. La diminution de la masse de potassium précède celle de la matière sèche. La quantité de potassium «cédée» au fruit par ces feuilles est d'autant plus

Tableau 1. Evolution de certains caractères des parties aériennes de l'ananas en fonction de son âge à Auguédedou (Côte d'Ivoire)

	Poids frais en g		Poids sec en g		Masse N en g		Masse K en g	
	N ₁ K ₁	N ₂ K ₂	N ₁ K ₁	N ₂ K ₂	N ₁ K ₁	N ₂ K ₂	N ₁ K ₁	N ₂ K ₂
2 mois	359	380	44,4	44,9	0,57	0,69	1,06	1,18
4 mois	566	584	77,8	79,9	1,13	1,31	2,15	2,44
6 mois	951	1057	118,7	127,7	1,71	2,18	2,90	4,07
8 mois	1585	1752	202,5	213,7	2,78	3,46	5,06	6,83
10 mois*	2422	3050	324,6	385,0	3,63	5,38	6,96	10,90
12 mois	2847	3502	421,0	502,7	3,66	5,26	7,15	11,14
14 mois	3481	4349	512,3	614,2	3,82	5,60	7,80	11,44
Récolte	3941	4950	638,4	833,3	3,95	5,79	8,12	13,23

* Traitement de floraison.

Tableau 2. Evolution du potassium dans les feuilles d'ananas sorties entre 6 et 8 mois après plantation à Auguédedou (Côte d'Ivoire)

		8 mois	10 mois	12 mois	14 mois	Récolte
Teneur (% m.s.)	N ₁ K ₁	2,87	2,55	1,88	1,64	1,51
	N ₂ K ₂	3,19	3,07	2,56	2,00	2,04
Masse K (g)	N ₁ K ₁	0,46	1,95	1,85	1,52	1,29
	N ₂ K ₂	0,63	3,01	3,06	2,37	2,02
Masse sèche (g)	N ₁ K ₁	16,1	76,4	98,6	92,6	85,7
	N ₂ K ₂	19,7	100,0	119,3	118,6	99,0

N₁ = 4 g N/pied/cycle - N₂ = 8 g

K₂ = 10 g K₂O/pied/cycle - K₁ = 20 g

grande que la fumure a été importante. Mais, à la récolte, les masses et les teneurs des feuilles restent plus élevées avec la forte fumure qui permet à la plante de trouver une plus grande quantité de potassium dans le sol après le traitement de floraison: 40 et 53% – respectivement avec les fumures faibles et fortes – de ce que contient le fruit à la récolte. Avec des couronnes au lieu de cayeux, ces proportions sont encore plus élevées: 57 et 75%.

On est ainsi amené à étudier l'utilisation du potassium en relation avec son absorption. Une voie d'approche consiste à examiner la fraction immédiatement soluble dans chacun des bilans successifs. Ce travail est actuellement en cours sur bananier (*Martin-Prével [9]*).

4. Application à la fumure potassique

La fumure potassique doit permettre de satisfaire en permanence les besoins de la plante. Jusqu'à la différenciation florale, les apports doivent suivre la croissance potentielle de la plante. Ils doivent être croissants.

Pour limiter les pertes, ils sont fractionnés dans les limites de la rentabilité. Il est préférable d'augmenter la fréquence des apports plutôt que leurs doses. La technique d'apport la plus efficace est celle qui permet une absorption rapide des engrais. La morphologie «en parapluie» de l'ananas est parfaitement adaptée à cette exigence, en particulier avec des pulvérisations liquides.

Pendant la fructification, les besoins en potassium sont importants mais ils peuvent être satisfaits par une redistribution à partir des autres organes de la plante si leur nutrition a été suffisante. Il semble cependant qu'on ait intérêt à apporter du potassium au moment de la forte migration des sucres vers le fruit.

La fumure ainsi conçue donne la priorité à la plante. Elle ne conduit cependant pas à négliger le sol qui reste un support assurant éventuellement le transit des éléments minéraux et permettant le développement plus ou moins harmonieux des racines. Celles-ci assurent l'alimentation hydrique et la régularisation de l'alimentation minérale. Dans ces conditions, le sol a surtout un rôle régulateur.

5. Références bibliographiques

1. *Godefroy J. et Roose*: Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire. *Fruits*, 25, n° 6, pp. 403-423 (1970).
2. *Godefroy J.*: Etude de la rétrogradation du potassium dans différents sols de bananeraie. *Revue de la Potasse*, section 00, 40^e suite, pp. 1-5 (1967).
3. *Godefroy J., Tisseau M.A. et Lossois P.*: Evolution des propriétés agrochimiques d'un sol ferrallitique de basse Côte d'Ivoire sous culture d'ananas. Comparaison avec une jachère. *Fruits*, 27, n° 4, pp. 255-267 (1972).
4. *Lacaille J.J. et Gicquiaux Y.*: La nutrition en cations de l'ananas en Martinique. V et VI. *Fruits* 26, n° 9, pp. 581-597 (1971).
5. *Lassoudière A. et Godefroy J.*: Intérêt de l'utilisation en bananeraie des écarts de conditionnement des régimes de bananes. *Fruits* 26, n° 4, pp. 255-262 (1971).
6. *Marchal J. et al.*: Recherches d'un équilibre K/N dans la production de l'ananas frais au Cameroun, II, Analyses foliaires. *Fruits*, 25, n° 2, pp. 87-95 (1970).
7. *Martin-Prével P.*: Potassium, calcium, magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée, IV, Etude de la croissance foliaire. *Fruits*, 16, n° 7, pp. 341-351 (1961).
8. *Martin-Prével P.*: Le bilan minéral, base d'interprétation du diagnostic foliaire. La nutrition minérale des plantes fruitières tropicales et subtropicales. IFAC, 1964.

9. *Martin-Prével P.*: Aspects dynamiques des éléments minéraux dans la production végétale: travaux sur bananier.
10. *Montagut G.* et *Martin-Prével P.*: Essais sol-plante sur bananiers. Besoins en engrais des bananiers antillais. *Fruits* 20, n° 6, pp. 265-273 (1965).
11. *Py C.*: L'ananas. Ed.: Maisonneuve et Larose, Paris.
12. *Py C.* et *Lossois P.*: Prédiction de récolte en culture d'ananas. *Fruits*, 17, n° 2, pp. 75-87 (1962).
13. *Teisson C.*: Etude sur le développement et la croissance de l'inflorescence de l'ananas. Bulletin d'Information IFAC, Côte d'Ivoire, n° 69, novembre 1972, et *Fruits* (à paraître).
14. *Tisseau R.*: Conduite de cultures expérimentales d'ananas sur milieu artificiel, 11, Recherche d'une alimentation adaptée aux besoins du plant. *Fruits*, 26, n° 6, pp. 421-433 (1971).

Rhythm of K-Absorption in Relation with Growth (Pineapple and Banana)

J. J. Lacoëuilhe, Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), Abidjan/Ivory Coast

Extended Summary

Evolution of K in cultivated tropical soils

Tropical conditions impose a special conception of the role of potassium dressings. The rapid transformation of the organic matter and the high rainfall at some seasons of the year exhaust quickly the soils, which have lost their natural equilibrium and are often poor, with small exchange capacity and reduced mineral reserves.

It is necessary to compute the dressing from the uptake by the plant and the losses by leaching and runoff, not from the crop removals only. The losses may be great and account for 50 to 60% of K brought to the soil; in order to reduce those losses it is wise to split the applications according to the needs of the plants.

On tertiary sand of the Lower Ivory Coast, exchangeable K is stable at 0,07 meq.% under forest. After destruction of the forest and burning of branches, this content rises to 0,23 meq.%. Left fallow without removals, the soil keeps almost the same potassium level with or without potash supply. On the contrary with a pineapple crop the K content drops quickly to less than 0,05 meq.% with or without mineral application. The organic dressing has a short-lived effect and is not able to enrich the soil. Very soon the soil accounts for only a small share in the nutrition of the plant, of which it is necessary to know the needs.

Global needs estimate

K removed by banana bunches is fairly constant for the main varieties. In the case of pineapple, variations are great according to the final use of the fruit: 130 kg/ha in the case of table fruits and 240 kg/ha in the case of canned fruits, without taking into account the removals by young shoots. Crop residues can be restored. By bringing in 480 t/ha of fresh organic matter and 900 kg/ha K₂O it is possible in one month to increase the exchangeable K from 0.5 to 1.3 meq.% but this content decreases quickly and it is not possible with this technique to do away with potash application.

Fruit composition is fairly constant and removals are dependent on yield. The share of the fruits removed in the total K fixation (i.e. held in plant tissue) at harvest time decreases when potassium nutrition level rises. In the West Indies fixation varies from 130 to 350 g K₂O per banana tree according to soils. In the case of pineapple they can range from 740 to 1250 kg/ha K₂O. They must be considered in their climatic, pedologic and cultural environment, that is in relationship with the growth of the plant.

K absorption rate

The influence of nutrition on the growth and the yield can be studied by foliar diagnosis. In order to know the dynamic and kinetic aspects of nutrition for the purpose of suitable fertilization, it is necessary to have quantitative balances of the various parts of the plant on successive occasions.

K fixation curves during the vegetative phase follow the line of the dry matter graph in the case of banana tree and of pineapple; they are increased more rapidly than the curves for N (Table 1, see

French version). After the flowering stage the absorption is slowed, but less so than the N absorption. It seems particularly dependent on the potassium nutritional state at the time the flowers are being formed.

During the vegetative phase, the young leaves benefit from a preferential transport. Potassium application clearly influences the number of leaves alive; in the case of deficiency the senescence of the older leaves is speeded up. At fructification time K is mobilized from the whole plant, and more particularly the leaves, in favour of the fruits (Table 2, see French version).

Potassium fertilizer application

Potassium manuring must be able to satisfy the needs of the plant at all times. Up to the flowering stage the application must follow the potential growth of the plant and will therefore be increasing. In order to limit the losses, they are given as split dressings as far as cost considerations allow.

The most suitable application technique is the one which allows a quick absorption of the nutrients. During the fructification stage the needs for potassium are substantial. They may be satisfied through a redistribution from the other organs, where their nutrition has been sufficient; however it seems that it is also profitable to supply K, at the time of strong migration of sugars towards the fruit.

Manuring so conceived gives priority to the plant; the soil, whilst not to be neglected, serves mostly as a regulator.

Effets de la fumure potassique sur des hêvéas francs de pied cultivés sur sables tertiaires en savane de Basse Côte d'Ivoire

C. J. du Plessix, J. M. Eschbach et A. Cornier, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Abidjan/Côte d'Ivoire

Résumé

Douze années d'expérimentation (1961-1973) sur des hêvéas francs de pied (TJIR 1 ill.) cultivés en savane de Basse Côte d'Ivoire dans un site reconnu comme déficient en potasse, ont permis de mettre en évidence les effets d'une fumure potassique sur la croissance des arbres, la teneur des feuilles en éléments minéraux, la production, la réponse à la stimulation et la rentabilité de la fumure. Les premiers effets significatifs de la fumure se sont manifestés après cinq années d'épandage à la fois sur la teneur en K des feuilles et sur la croissance. Au niveau des feuilles les variations des teneurs en K ont entraîné des variations inverses des éléments Mg, Ca et P.

Une tendance à la réponse à la fumure «double dose» (300 g K_2O /arbre) sur la production est apparue en 2^e année d'exploitation (1967). Elle est devenue significative en 3^e année, alors que l'effet de la «simple dose» (150 g K_2O /arbre) ne s'est révélé significatif qu'en 5^e année d'exploitation (1970).

Après 4 campagnes de production (1969), les apports d'engrais ont été suspendus pour tenir compte du retour à des valeurs normales de K dans les feuilles. On a pu alors constater par la suite une arrière-action de la fumure.

L'introduction en 1969 d'un sous-traitement «stimulation» a permis de mettre en évidence l'effet de la fumure, significatif et proportionnel aux doses épandues, sur la réponse à la stimulation, ainsi que l'action spécifique de K sur l'équilibre croissance/production.

Enfin, les calculs de rentabilité basés sur l'actualisation des coûts et des profits ont montré l'intérêt certain des 8 années de fumure en «simple» ou «double dose».

1. Introduction

Dans sa première décennie (1953-1963) le développement de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire a concerné 11 000 ha entièrement localisés dans la zone dite des sables tertiaires située au sud-est du pays. En 1960, 58% des surfaces avaient été plantées dans la savane graminéenne à rôniers de Dabou, et 40% du matériel végétal planté dans cette zone était représenté par des hêvéas francs de pied descendant du clone TJIR 1.

La hauteur de pluie moyenne annuelle de la zone (1961-1972) est de 1900 mm. Les sols, sur sables néogènes, ont été classés par *Dabin, Leneuf et Riou [1]* comme ferrallitiques très lessivés. Ils se caractérisent notamment par une faible teneur en argile en surface (<10%), une grande profondeur et une structure très meuble, favorable à l'enracinement profond de l'hévéa. Ils présentent un pH voisin de 5 et une somme de bases échangeables très faible (entre 0,1 et 1,5 méq.)

Les hévéaculteurs francophones qui se sont implantés en Côte d'Ivoire étaient le plus

souvent habitués à la fertilité nettement plus élevée des sols du Vietnam et du Cambodge. Par ailleurs à cette époque (1960), les premiers travaux de synthèse sur le Diagnostic foliaire de l'hévéa (*Beaufils [2], Shorrocks [3]*) ne permettaient de disposer que d'une première approximation des teneurs en éléments minéraux des feuilles pouvant être reconnues comme normales quel que soit le type de matériel végétal considéré.

Devant ces incertitudes, implanté en Côte d'Ivoire en 1956, l'IRCA a choisi de faire porter sa première expérimentation en matière de fumure sur le matériel végétal le plus utilisé dans la zone la plus plantée en Côte d'Ivoire, et sur une surface identifiée comme déficiente. Ainsi a pu être reconnue en 1961 une surface plantée en 1958 en savane avec des hévéas francs de pied de la famille TJIR 1 ill. dont le mauvais aspect végétatif correspondait à une teneur en K des feuilles très inférieure à la valeur admise comme normale au Vietnam (0,65% MS contre 0,90 [2]), tandis que les teneurs des autres éléments majeurs apparaissaient satisfaisantes selon les mêmes normes.

Après les informations méthodologiques d'usage l'objet de notre communication est de présenter les éléments de réponse que 12 années d'expérimentation sur ce site nous permettent d'apporter aux questions suivantes :

- Dans quels délais se sont manifestés au niveau des feuilles de l'hévéa l'assimilation de la potasse épandue au sol et le retour à des valeurs reconnues ailleurs comme normales?
- De quels effets ce retour à des valeurs normales de K s'est-il accompagné aux niveaux respectifs des teneurs des feuilles en autres éléments majeurs, de la croissance, et de la production, avec ou sans intensification de l'exploitation, et dans quels délais?
- Comment ces délais ont-ils affecté la rentabilité de la fumure compte tenu de la nécessaire actualisation des coûts et des profits?
- Après le retour à des valeurs normales de K dans les feuilles était-il raisonnable d'espérer une arrière-action assez nette de la fumure pour que celle-ci puisse être suspendue quelques années?

2. Méthodes

2.1. Techniques culturales

La plantation des hévéas selon un dispositif à $7 \times 3,50$ m (410 arbres/ha) a été précédée d'un défrichement mécanique visant à éliminer l'*Imperata cylindrica*, graminée dominante. Elle a été suivie d'un semis d'une légumineuse de couverture dans l'interligne, *Pueraria phaseolides*.

Les épandages d'engrais ont été faits à la volée sur le milieu de l'interligne après balayage du *Pueraria*; celui-ci a disparu progressivement sous l'effet de l'ombrage vers la cinquième année laissant une litière de feuilles mortes enrichie annuellement par l'hivernage des hévéas et le développement des semenceaux après la période de grenaison. Localisée dans une plantation industrielle, la surface de l'essai a été incluse dans deux épandages généralisés d'engrais azotés: 40 g d'urée par arbres en 1961 et 200 g de sulfate d'ammoniaque par arbre en 1969.

La mise en exploitation est intervenue en avril 1965 par l'ouverture d'une encoche de saignée en spirale entière à 0,60 m du sol. D'avril 1969 à janvier 1970 la réduction de

cette spirale à l'approche du collet a été compensée par l'ouverture d'une demi-spirale haute à 1,40 m en avril 1970. La spirale basse a été abandonnée au bénéfice du prolongement en spirale entière de l'encoche haute. Chaque année en février-mars les arbres ont bénéficié d'un arrêt de saignée d'une durée de 4 à 6 semaines.

La technique de la stimulation de l'écoulement du latex par application de pâtes hormonales sous l'encoche a été utilisée selon la méthode des bandes verticales (4 bandes de 50 × 1 cm). La pâte utilisée avait comme support l'huile de palme et, si pour la première stimulation (9/69) la matière active employée à la dose de 2,6% a été l'acide naphthalène acétique (ANA), pour les stimulations suivantes, à la même dose, la préférence a été donnée à l'acide chloroéthane phosphonique (CEP) conformément aux résultats de *Ribaillier et d'Auzac [4]*.

2.2. Techniques expérimentales

2.2.1. Dispositif et traitements

Etablie sur une surface de 6 ha l'expérience est disposée selon la méthode des blocs avec trois répétitions des cinq traitements suivants :

1. Epannage de 250 g de KCl («simple dose» 150 g K₂O) par arbre et par an en une fois au mois d'août.
2. Même dose («simple dose») épancée en 2 fois : 125 g de KCl par arbre en août et en décembre.
3. Epannage de 500 g de KCl («double dose» 300 g K₂O) par arbre et par an en une fois au mois d'août.
4. Même dose («double dose») épancée en 2 fois : 250 g de KCl en août et en décembre.
5. Témoin : pas de fumure.

Chaque parcelle élémentaire comprend 128 emplacements et est séparée de sa voisine par 1 ligne et 2 rangs de bordure. L'introduction du sous-traitement stimulation en septembre 1969 a conduit à subdiviser chaque parcelle en deux parties égales pour bénéficier d'un dispositif en split-plot.

La faiblesse de ce dispositif expérimental, imputable notamment au faible nombre de répétitions ne nous avait pas échappée; un ensemble de contraintes extérieures ne nous a cependant pas permis d'en retenir d'autres.

De 1961 à 1968 inclus tous les épannages ont été effectués aux doses et aux dates prévues. De 1969 à 1972 inclus aucun épannage n'a été fait pour tenir compte du retour à des valeurs normales de K dans les feuilles.

2.2.2. Méthodes de contrôle

– *Croissance*: Chaque année au mois d'octobre la circonférence de tous les arbres a été mesurée. Jusqu'en 1968, année de mise en saignée, cette mesure a été faite à 1 mètre de hauteur. A partir de 1968 la mesure a été effectuée à 1,5 m au-dessus de l'encoche de saignée.

– *Production*: De 1968 à 1970 la production a été contrôlée 1 saignée sur 2, soit 4 fois par mois, par coagulation en tasse. Depuis 1971 la récolte en sacs de polyéthylène permet de contrôler toutes les saignées, le ramassage étant fait toutes les 6 saignées.

– *Diagnostic foliaire*: Chaque année au mois d'octobre un prélèvement de feuilles est effectué sur 30 arbres par parcelle. Les feuilles appartiennent à des rameaux de l'année

ayant poussé à l'ombre. Elles font l'objet des analyses habituelles pour les éléments N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu. A partir de 1970 les prélèvements ont été faits pour chaque sous-parcelle de façon à pouvoir apprécier l'effet de la stimulation.

– *Diagnostic latex*: Un seul prélèvement a été effectué en décembre 1970 à raison de 30 arbres par sous-parcelle, l'échantillon de latex ayant été prélevé dans chaque tasse en fin de matinée après brassage de la récolte du jour. Seule a été déterminée ensuite la teneur en Mg.

– *Diagnostic sol*: A la mise en place de l'essai on disposait des résultats des analyses de sol effectuées sur l'ensemble de la zone par l'ORSTOM. Par la suite la disponibilité du sol en éléments fertilisants a été appréciée selon 2 méthodes:

– En 1966 et 1970 la méthode du test soustractif sur *Pueraria* mise au point par Middleton [5] a été employée. Elle donne des indications sur la disponibilité du sol en N, P, K, Ca, Mg, S, Bo. et la hiérarchie des déficiences entre ces éléments.

– En 1970 une analyse de sol a été effectuée par le laboratoire de pédologie de l'ORSTOM à Adiopodoumé.

Dans les deux cas les prélèvements ont porté sur l'horizon 0–20 cm après élimination de la litière de surface. Pour chaque parcelle l'échantillon moyen provenait de 9 prélèvements.

Les échantillons ont fait l'objet des déterminations suivantes: % refus et argile, pH, teneur en matière organique, carbone, azote, phosphore total et bases échangeables.

2.2.3. Calcul de la rentabilité de la fumure

Nous avons retenu comme critère d'appréciation de la rentabilité le profit net par hectare, actualisé au taux de 10% en fr. 1961 et converti en kg équivalent de caoutchouc sec selon la relation:

$$\text{Profit net équivalent en kg de caoutchouc sec} = \frac{\text{Profit brut} - \text{Coût de la fumure (ou de la stimulation)}}{\text{Profit/kg de caoutchouc}}$$

Dans laquelle:

$$\text{Profit brut} = (\text{Différence de production entre témoin et motif fumé}) \times \text{profit/kg.}$$

Les hypothèses de base sur lesquelles s'appuient ces calculs de rentabilité sont les suivantes:

– Profit/kg de caoutchouc = Prix de vente FOB – frais d'usinage et de fobing
= 80 fr./kg pour une hypothèse moyenne du prix de vente de 100 fr./kg et de 20 fr./kg pour les frais d'usinage et de fobing.

– Coût de la fumure: 18 fr./kg d'engrais (prix d'achat et transport et épandage)
soit: 1755 fr./ha pour la simple dose et 3510 fr./ha pour la double dose.

– Coût de la stimulation = 3500 fr./ha (produit et application).

3. Résultats

Aucun effet significatif du fractionnement des épandages n'étant jamais apparu pour quelque paramètre contrôlé que ce fut, dans un souci de plus grande clarté, les résultats présentés pour chaque dose sont la moyenne des deux traitements «fractionnement» de

Tableau 1. Evolution des teneurs des feuilles en éléments minéraux

Eléments	Traitements	Année														
		1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972			
Azote	0	3,34	3,28	3,14	2,74	2,91	3,08	3,43	3,05	3,42	3,40	St.	St.	St.		
	1	3,34	3,41	3,16	3,01	2,86	3,21	3,44	3,30	3,46	3,47	3,50	3,47	3,43	3,42	3,23
	2	3,39	3,44	3,22	2,98	2,88	3,21	3,48	3,28	3,33	3,40	3,43	3,42	3,39	3,17	3,25
								0 < 1,2								
Phosphore	0	0,25	0,30	0,33	0,32	0,35	0,35	0,36	0,34	0,34	0,33	0,32	0,33	0,34	0,37	0,36
	1	0,26	0,32	0,30	0,31	0,32	0,36	0,32	0,30	0,32	0,30	0,29	0,34	0,33	0,34	0,33
	2	0,27	0,31	0,31	0,33	0,32	0,34	0,31	0,27	0,30	0,28	0,29	0,33	0,32	0,29	0,31
								2-1 < 0	2 < 1 < 0							
Potasse	0	0,64	0,56	0,44	0,48	0,51	0,55	0,49	0,66	0,57	0,56	0,54	0,56	0,51	0,54	0,57
	1	0,65	0,69	0,62	0,67	0,70	0,90	0,78	1,12	0,84	0,86	0,88	0,76	0,79	0,80	0,76
	2	0,65	0,74	0,56	0,74	0,87	1,00	0,89	1,26	0,98	0,98	0,98	1,03	0,85	0,96	0,89
		0 < 1-2		0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1-2	0 < 1-2	0 < 1-2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	0 < 1 < 2	
Calcium	0	0,63	0,56	1,03	0,89	0,72	0,72	1,01	1,06	0,87	0,76	0,77	0,61	0,67	0,65	0,57
	1	0,67	0,57	0,82	0,92	0,67	0,67	0,91	0,86	0,77	0,63	0,66	0,60	0,53	0,56	0,63
	2	0,68	0,50	0,93	0,84	0,61	0,64	0,83	0,79	0,74	0,63	0,64	0,55	0,58	0,54	0,59
							0 > 1 > 2	0 > 1-2		0 < 1-2						
Magnésium	0	0,43	0,66	0,63	0,67	0,71	0,75	0,72	0,67	0,29	0,46	0,46	0,47	0,48	0,54	0,45
	1	0,49	0,61	0,53	0,59	0,59	0,66	0,49	0,53	0,24	0,34	0,37	0,41	0,37	0,42	0,41
	2	0,47	0,60	0,49	0,55	0,57	0,61	0,47	0,49	0,22	0,34	0,33	0,34	0,37	0,39	0,34
			0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1-2	0 > 1-2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	0 > 1 > 2	

Légende: 0: Traitement témoin

1: Traitement simple dose

2: Traitement double dose

< : Significativement inférieur à, au seuil 0,05

> : Significativement supérieur à, au seuil 0,05

St.: Stimulé

chacune d'elles. Néanmoins les différences significatives indiquées au seuil 0,05 ont été obtenues au terme de calculs prenant en compte toutes les valeurs parcellaires de chacun des cinq traitements.

3.1. Effets de la fumure potassique sur la teneur des feuilles en N, P, K, Ca, Mg

Le tableau 1 et la figure 1 permettent d'apprécier l'évolution des teneurs des feuilles en éléments majeurs (sauf le soufre) au cours des 12 premières années d'essai (1961 à 1972).

Potassium: Dès la deuxième année d'épandage un effet significatif des deux doses de potasse apparaît sur la teneur des feuilles en potassium. Cependant cet effet n'est confirmé qu'après 4 années d'épandage; à cette époque apparaissent des différences significatives entre doses, la teneur en K restant de 1964 à 1972 invariablement proportionnelle à la dose.

Les arbres non fumés gardent une teneur en K très inférieure à la normale (0,90) oscillant entre 0,44 et 0,66% de MS.

Par contre le retour à la normale se manifeste en 1965 pour le traitement double dose et en 1968 pour la simple dose. Cette année là les valeurs normales sont d'ailleurs largement dépassées pour les deux doses (1,26 et 1,12% MS). Ceci a justifié l'arrêt des épandages.

Par la suite la teneur en K du traitement simple dose baisse plus rapidement que celle du traitement double dose. Cependant l'introduction du traitement stimulation fait apparaître pour les deux dernières années un effet dépressif de la stimulation sur la teneur en K des feuilles du seul traitement double dose.

Magnésium: Une modification de la méthode de détermination des teneurs en magnésium étant intervenue en 1969 il est difficile d'apprécier la signification des variations d'ensemble des 3 courbes.

Par contre l'effet de la fumure potassique sur la teneur en magnésium de feuilles est d'un classicisme remarquable. L'antagonisme K-Mg se manifeste dès 1962, et de 1963 à 1972, la teneur en Mg du témoin est toujours significativement différente de celle des traitements fumures entre lesquels pour les années 1963 à 1965 puis 1968, 1971 et 1972 apparaît un effet significatif inversement proportionnel à la dose de potasse.

A cet effet de la fumure potassique sur la teneur en magnésium des feuilles a pu être associé après une analyse effectuée en décembre 1970 un effet similaire sur la teneur en magnésium du latex comme ceci apparaît à la lecture du tableau 2.

Ceci rejoint les observations de *Puddy* et *Warior* [6] montrant l'existence d'une corre-

Tableau 2. Effet de la fumure potassique sur la teneur en K et Mg des feuilles et en Mg du latex (des arbres stimulés, en 9/4 et 10/70).

Traitements	Teneurs des feuilles (10/70)		Teneurs du latex (12/70)
	K% MS	Mg% MS	Mg/1000 g
Teneurs	0,54	0,46	1,722
Simple dose	0,88	0,37	1,434
Double dose	0,98	0,33	1,276
ppds (0,05)	0,08	0,04	46

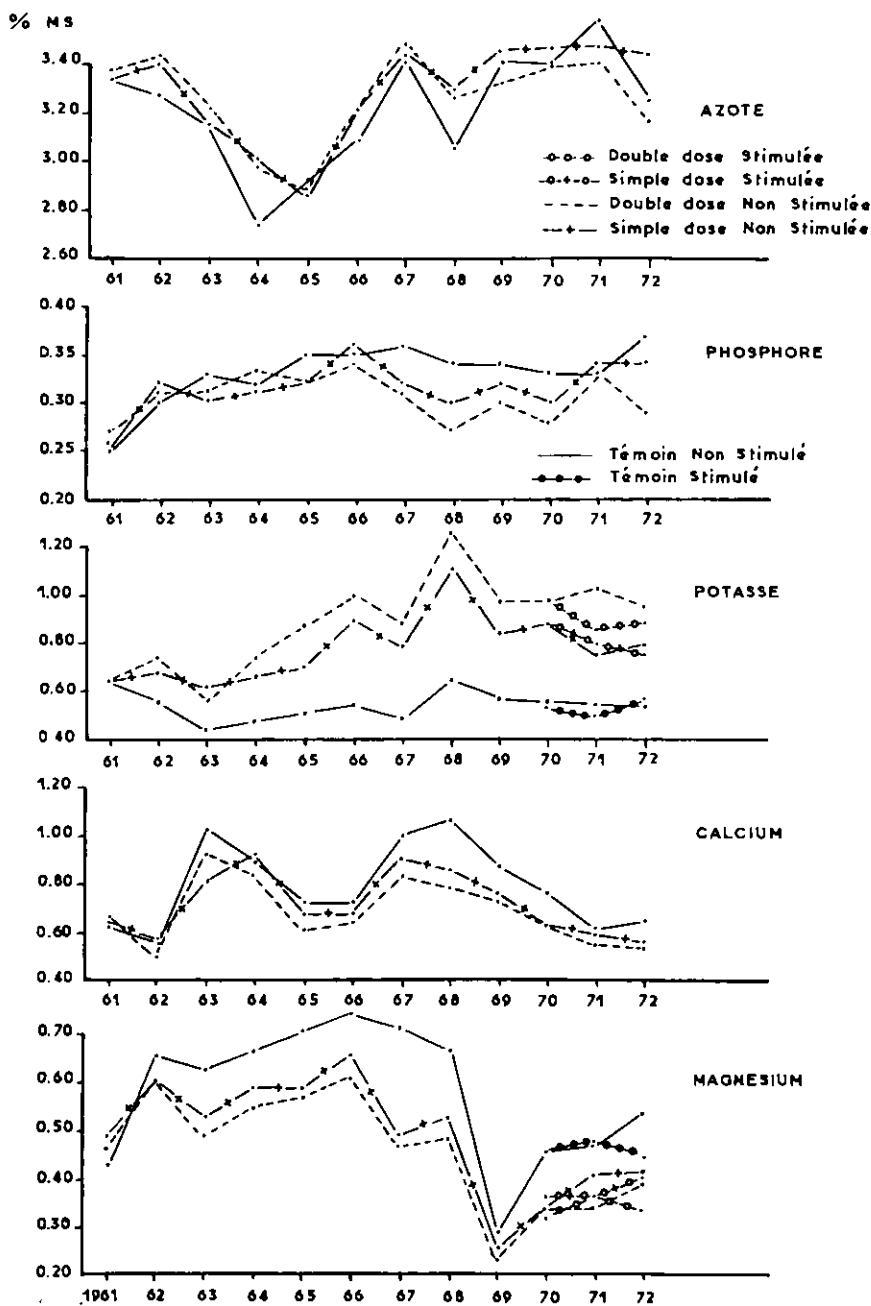


Fig. 1. Effets de la fumure potassique sur la teneur des feuilles en éléments minéraux.

lation directe entre l'efficacité de la stimulation et l'abaissement de la valeur du rapport Mg/p du latex sous l'effet d'une fumure potassique.

Calcium: Les teneurs en calcium des trois traitements subissent des variations communes: 2 périodes de valeurs relativement élevées en 1963-64 et 1967-1968 et 3 périodes de valeurs plus faibles en 1961-62, 1963-66 et de 1969 à 1972. Il se peut que ces variations soient imputables à l'âge des feuilles prélevées, l'hivernage annuel des hêvéas pouvant être décalé d'une année sur l'autre de quinze jours à trois semaines.

Si de 1961 à 1964 inclus aucune relation n'apparaît entre fumure potassique et teneur en calcium des feuilles, par contre de 1965 à 1972 cette teneur apparaît toujours inversement proportionnelle aux doses de potasse et aux teneurs en K. Pour les années 1967 et 1968 cet effet de la fumure est significatif. L'observation de cet antagonisme K-Ca rejoint les observations antérieures de *Beaufils* [2] et *Guha et Narayanan* [7].

Phosphore: De 1961 à 1966 les teneurs en phosphore augmentent pour atteindre dans les 3 traitements des valeurs très supérieures à la normale (0,35% MS en 1966 au lieu de 0,22). De 1967 à 1970 inclus, ainsi qu'en 1972, les teneurs en phosphore apparaissent inversement proportionnelles aux doses de potasse épandues et aux teneurs en K des feuilles. Des différences significatives se manifestent entre le témoin et les traitements de fumure en 1967 et 1968.

Il apparaît ici un antagonisme K-P qui ne nous semble pas avoir été signalé auparavant pour l'hévéa d'une façon aussi nette.

Azote: Les variations des teneurs en azote des trois traitements considérés dans leur ensemble se présentent différemment pour deux périodes bien distinctes.

De 1961 à 1968 les teneurs en azote décroissent de 3,40 (valeur normale) à 2,80. Ensuite de 1965 à 1968 les teneurs reviennent à des valeurs normales où elle se stabilisent sensiblement jusqu'en 1972, mise à part la baisse importante observée sur le témoin en 1968. De ce clivage en deux périodes nous proposons l'explication suivante: au cours de la première période (1961 à 1965) les hêvéas sont en phase de croissance active avec des accroissements annuels de circonférence se situant entre 11 et 6 cm par an selon les années. Par contre à partir de 1965, la mise en saignée réduit l'accroissement annuel de circonférence à moins de 3 cm par an (2,8 de moyenne sur 6 ans). Il est concevable qu'à de telles différences d'accroissement des arbres correspondent des différences analogues dans les besoins en azote.

Enfin de 1962 à 1964 inclus et de 1966 à 1968 une tendance apparaît en faveur d'une action favorable de K au bénéfice de la teneur en azote des feuilles.

Mais cette tendance n'est confirmée par une différence significative qu'en 1968. Cette action de K à l'égard de l'azote chez l'hévéa est analogue à celle observée sur le palmier à huile par *Bachy* à l'*IRHO* [8].

Il est rappelé cependant qu'au-delà de 1968 l'apport généralisé de sulfate d'ammoniaque, en 1969, imposé par des considérations étrangères à l'expérimentation réduit les possibilités d'interprétation des résultats observés.

3.2. Effets de la fumure potassique sur la croissance

L'évolution comparée de la circonférence des hêvéas sous l'effet des trois traitements (témoin, simple dose et double dose) est représentée sur la figure 2.

L'effet de la fumure sur la circonférence des hêvéas est significatif depuis 1965. Alors qu'il n'est jamais apparu de différences significatives entre les effets de la simple et de la

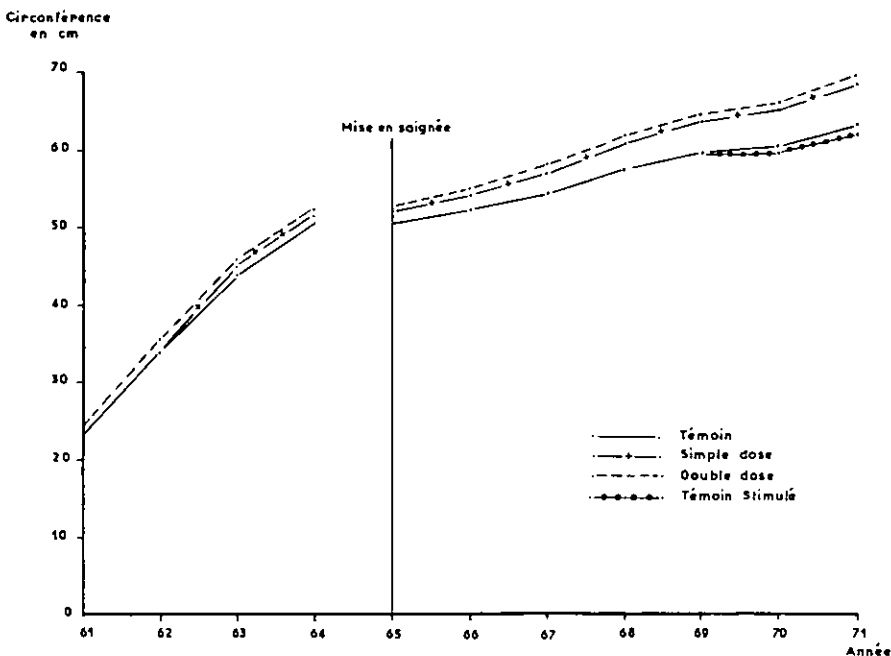


Fig. 2. Effets de la fumure potassique sur la croissance.

double dose, l'écart entre le témoin et les traitements fumures va en s'accroissant, d'une façon significative.

Enfin l'introduction des sous-traitements stimulations a eu pour effet d'accroître encore cet écart pour le témoin stimulé (accroissement annuel 1970-1971 de 2,5 cm entre 3,1 cm pour le témoin non stimulé).

3.3. Effets de la fumure potassique sur la production

L'évolution des effets de la fumure potassique et de la stimulation sur les rendements exprimés en kg de caoutchouc sec par hectare et par an est présentée sur la figure 3. Le détail de l'effet de la stimulation en fonction de la dose de fumure apparaît dans les courbes de la figure 4. Enfin le tableau 3 présente les différentes moyennes observées entre traitements pour l'ensemble de la période sous-contrôle (1965-1972) et pour les deux sous-périodes 1965-1969 et 1970-1972, correspondant respectivement à l'absence et à la présence des sous-traitements stimulations, en admettant que le dernier trimestre de l'année 1969 a été une période de transition (première demi-application de la stimulation sur la seule demi-spirale haute).

Des effets de la fumure potassique sur la production et sur la réponse à la stimulation nous retenons les éléments suivants:

- Effet de la fumure sur la production, sans stimulation

Le premier effet significatif de la double dose n'apparaît qu'en 1967 avec une surproduction de 19% par rapport au témoin (1248 kg/ha contre 1049). La même année, le gain, non significatif, de la simple dose n'est que de 6%.

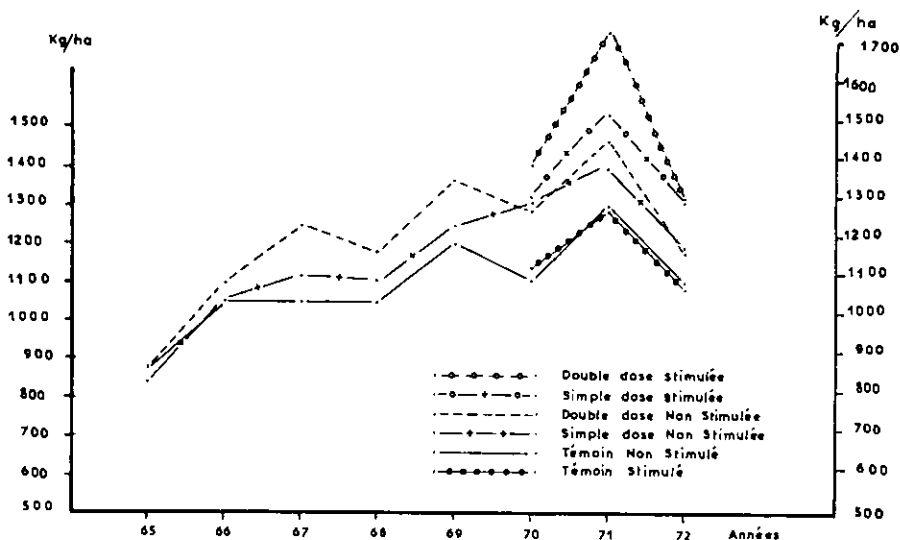


Fig.3. Effets de la fumure potassique sur la production.

Tableau 3. Effets de la fumure potassique et de la stimulation sur les rendements

Traitements fumure	Sous-traitements Stimulations	Production moyenne/an						
		1965 à 1969		1970 à 1972		1965 à 1972		
		(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)
Témoin	Non stimulé	1023	100	1162	100	100	1075	100
	Stimulé			1162	100	100		
	Moyenne			1162				
Simple dose	Non stimulé	1047	102	1295	111	100	1142	106
	Stimulé			1384	119	107		
	Moyenne			1339				
Double dose	Non stimulé	1142	112	1307	112	100	1198	111
	Stimulé			1486	128	114		
	Moyenne			1397				
ppds (0,05) entre traitements fumure (pour la moyenne des 2 sous-traitements).		51		170			52	
ppds (0,05) entre sous-traitements stimulations (pour un même traitement fumure).				70				

(1) kg/ha/an

(2) en % du témoin non fumé non stimulé

(3) en % du sous-traitement non stimulé du même traitement fumure

Le premier effet significatif de la simple dose n'apparaît qu'en 1970 avec une surproduction de 18% par rapport au témoin (1103 kg/ha) contre 16% pour la double dose cette année là (respectivement 1305, 1103 et 1283 kg/ha).

Pour la période 1965 à 1969 seule la double dose a un effet significatif sur la production moyenne annuelle (+ 12% contre + 2% pour la simple dose) alors que pour la période 1965-1972 le gain moyen annuel obtenu par la simple dose (+ 6%) diffère significativement ce traitement à la fois du témoin et de la double dose (+ 11%); un effet linéaire des doses est ainsi observé.

– *Effet de la fumure sur la réponse à la stimulation*

Pour la période 1970 à 1972, alors que la réponse à la stimulation est strictement nulle pour le témoin non fumé, elle est significative pour chacun des deux traitements fumures, la réponse apparaissant proportionnelle à la dose: + 7% pour la simple dose, + 14% pour la double dose; ainsi se trouvent nettement confirmés les premiers résultats que nous avons indiqués en 1970 [9].

L'examen des courbes de la figure 4 montre que cet effet de la fumure sur la réponse à la stimulation se traduit par un accroissement du niveau de la réponse et de la durée de celle-ci. Il apparaît ensuite que l'appréciation de ces résultats moyens annuels ne doit pas faire oublier les irrégularités des réponses à la stimulation en fonction des autres facteurs de production (climatologie, cycle annuel de l'hévéa) et d'efficacité de l'application de la pâte stimulante.

Ceci apparaît par exemple dans l'évolution du niveau et de la durée des réponses aux cinq stimulations effectuées sur les arbres du traitement double dose. Pour trois stimulations à effet normal (mai et octobre 1971 et octobre 1972) on en compte une à effet limité (avril 1970) et une à effet nul (avril 1972).

– *Effets cumulés de la fumure et de la stimulation*

Pour la période 1970-1972 il est remarquable de constater que le gain de production obtenu par la fumure par rapport au témoin non fumé et non stimulé passe sous l'effet de la stimulation de + 11% à + 19% pour la simple dose et de + 12% à + 28% pour la double dose.

3.4. Effet de la fumure potassique sur la disponibilité du sol en potasse

Le tableau 4 permet d'apprécier l'effet de la fumure potassique sur la disponibilité du sol en potasse.

Tableau 4.

Traitement fumure	Poids sec des parties aériennes du pueraria récolté dans le traitement soustractif —K				K meq. analyse du sol 1970	
	Test 1966		Test 1970		(3)	(2)
	(1)	(2)	(1)	(2)		
Témoin	1,48	100	1,03	100	0,026	100
Simple dose	2,71	183	1,17	113	0,033	127
Double dose	3,50	236	1,68	163	0,046	177
ppds 0,05	0,72		0,22			

(1) en g, (2) en % du témoin, (3) en méq.

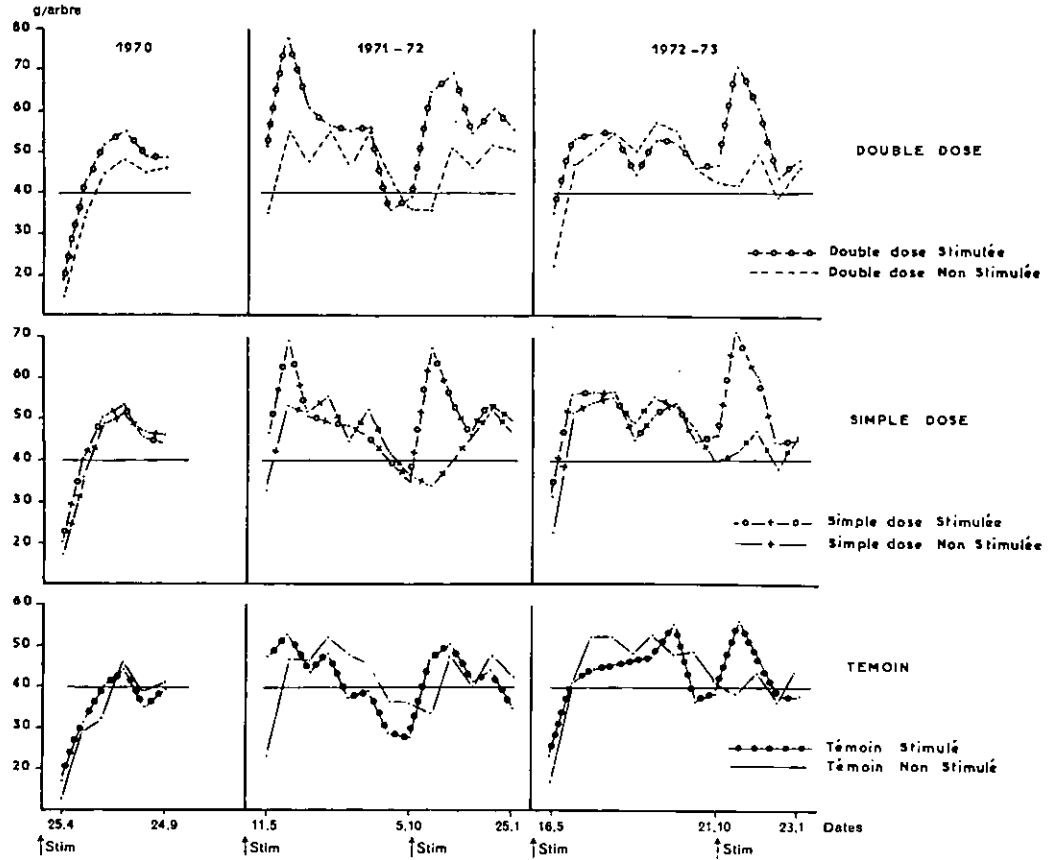


Fig. 4. Effets de la fumure potassique sur la réponse à la stimulation.

En 1966, après 6 années d'épandages réguliers le test soustractif révèle une disponibilité en potasse de l'horizon superficiel (0,20 cm) significativement proportionnelle à la dose de fumure potassique.

En 1970 deux ans après l'arrêt des épandages cet effet de la fumure n'apparaît plus d'une façon significative que pour la double dose, les données de l'analyse de sol révélant une tendance similaire, à un niveau général remarquablement bas.

3.5. Rentabilité de la fumure

L'interprétation économique à partir des résultats de production en kg/ha des 8 premières campagnes de saignée (figure 3) est résumée dans le tableau 5 et la figure 5 qui indiquent l'évolution du profit net/ha cumulé de 1961 à 1973, actualisé au taux de 10% en fr. 1961 et exprimé en équivalent kg de caoutchouc sec/ha.

Il ressort de ces résultats que la rentabilité de la fumure ne se manifeste qu'à partir de la cinquième année de saignée, pour la double dose, soit un an avant la simple dose. A partir de cette date la double dose permet d'obtenir un profit net à l'hectare important et très nettement supérieur à celui obtenu avec la simple dose.

Il apparaît d'autre part, après 3 campagnes (1970 à 1972), que la stimulation permet une augmentation sensible du profit net/ha par rapport au traitement non stimulé (+ 356 kg contre + 202 pour la double dose et 166 contre 122 pour la simple dose).

Tableau 5. Evolution du profit net cumulé en équivalent kg de caoutchouc sec/ha

Années		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Non stimulé	Simple dose	-22	-42	-60	-76	-91	-103	-78	-60	-39	+47 (1)	+88	+122
	Double dose	-44	-84	-120	-153	-183	-179	-92	-45	+30	+107	+173	+202
Stimulé	Simple dose										+24 (2)	+104	+166
	Double dose										+129	+291	+356

(1) par rapport au témoin non fumé, non stimulé

(2) par rapport au témoin non fumé, stimulé

4. Discussion

L'ensemble des résultats présentés nous conduit à regrouper l'interprétation que nous en proposons autour de trois thèmes.

1. Les modalités de la manifestation du facteur temps dans la réponse à la fumure potassique.
2. Les particularités de l'action spécifique de K.
3. Les indications à retenir pour la poursuite de l'expérimentation de la fumure sur hévéa en Côte d'Ivoire et pour l'application industrielle de ces résultats.

Profit cumulé équivalent
en Kg de caoutchouc sec/ha

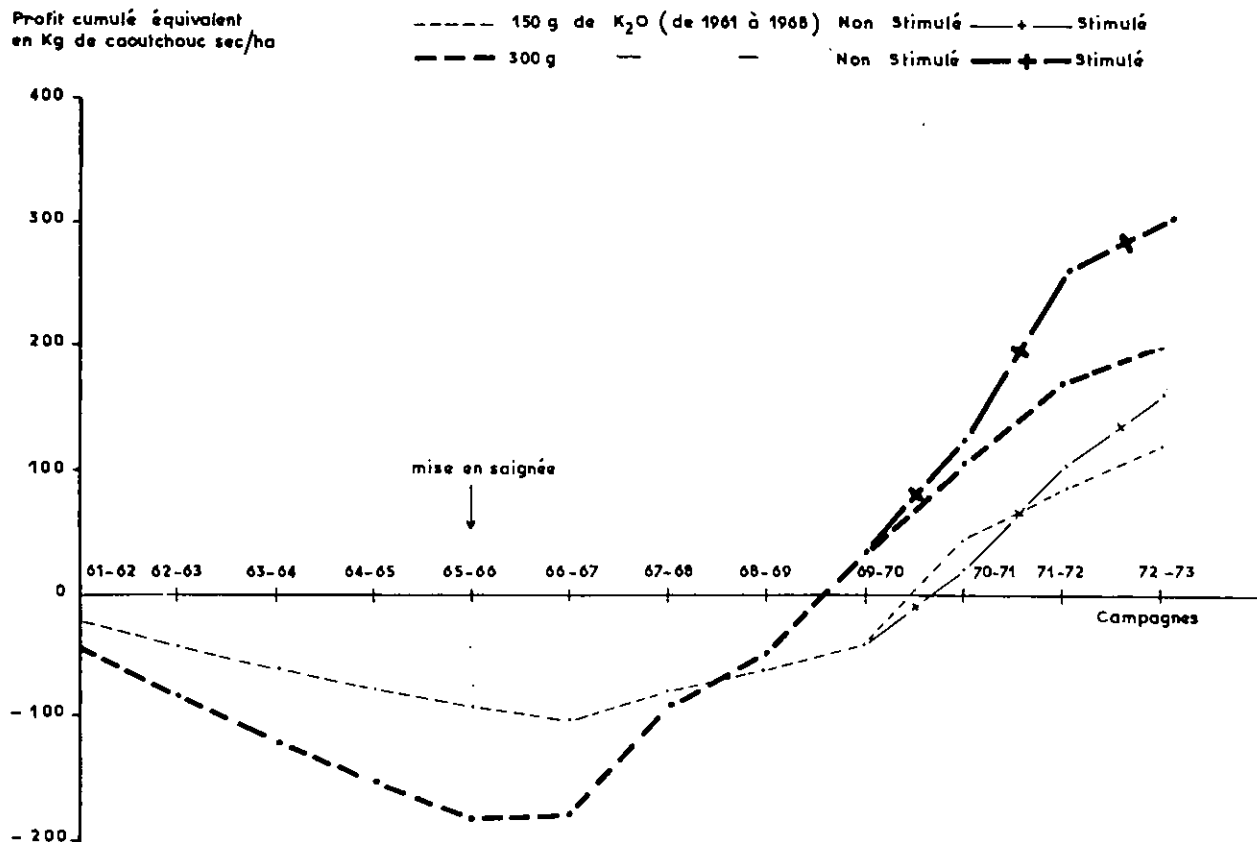


Fig. 5. Effets de la fumure potassique sur l'évolution du profit annuel.

4.1. Modalités de la manifestation du facteur temps

Le facteur temps s'est manifesté de deux manières : dans l'ordre d'apparition des différents effets de la fumure potassique et dans la durée de l'arrière-action de cette fumure.

4.1.1. L'ordre d'apparition des effets de la fumure a été le suivant :

- en premier lieu est apparue dès la deuxième année d'épandage en 1962, l'assimilation de la potasse au niveau des feuilles des hévéas. Il a cependant fallu attendre 1965, pour la double dose, et 1966 pour la simple dose, pour que cette assimilation conduise à des valeurs admises ailleurs comme normales (0,90% MS).
- En second lieu, et en même temps que le retour à des valeurs «normales», est apparu après cinq années d'épandage en 1965, le premier effet significatif sur la croissance des deux doses de fumure.
- Enfin, il a fallu attendre la troisième année d'exploitation et la septième année d'épandage pour voir apparaître un effet significatif de la double dose, tandis que l'effet significatif de la simple dose ne s'est manifesté qu'en sixième année d'exploitation et deux ans après l'arrêt des épandages.

Appréciée globalement, la longueur des délais d'apparition des trois effets de la fumure potassique correspond à ce que *Bachy [10]* a observé sur le palmier à huile dans ce même site de la savane de Dabou.

Cependant l'analyse différentielle de ces délais montre le décalage entre l'apparition des effets : «retour à des valeurs normales dans les feuilles» et «croissance», d'une part, et «production» d'autre part ; ce décalage est plus important pour la simple dose.

4.1.2. Durée de l'arrière-action de la fumure

L'accroissement des écarts de circonférence entre le témoin et les traitements fumures après 1968, dernière année d'épandages (fig. 2) et l'effet maximum des combinaisons fumures-stimulations en 1971 (fig. 3) constituent deux preuves manifestées de l'arrière-action de la fumure de 1969 à 1971 inclus. Cependant, il est intéressant de noter l'ordre de disparition progressive des effets de la fumure dans cette période d'arrière action :

- l'effet de l'arrêt de la fumure s'est d'abord fait sentir, comme son application, au niveau des teneurs en potassium des feuilles (fig. 6). Le déclin de ces teneurs a été plus rapide pour la simple dose que pour la double dose. Cependant sous l'effet de la stimulation ce traitement marque une baisse de K dans les feuilles analogue à celle observée pour la simple dose.
- Le second effet de l'arrêt de la fumure s'est manifesté au niveau de la moindre, et égale, réponse à la stimulation des deux traitements fumures en 1972 (fig. 3).

Par contre l'effet de la fumure sur la croissance se maintient jusqu'en 1972.

Ainsi la teneur des feuilles en potassium apparaît bien comme le premier «avertisseur» de la fatigue des arbres ; celle-ci se manifestant sur la production avant la croissance.

L'arrière-action ainsi observée pourrait être imputable aux écarts de croissance entre les arbres, laissant supposer par exemple une masse racinaire plus importante et donc une meilleure exploitation du sol. Si cet effet pouvait être confirmé par des déterminations de masses racinaires selon la méthode utilisée pour l'hévéa par *Soon Ngin Kwi [11]*, il ne devrait cependant pas diminuer l'importance de l'effet de l'arrière-action au niveau du sol lui-même, comme cela apparaît dans les résultats du diagnostic sol 1970 (tab. 4).



Fig. 6. Evolution des teneurs en potasse dans les feuilles après l'arrêt des épandages.

En effet deux ans après l'arrêt des épandages la teneur en K niéq. du sol ayant reçu la double dose est encore supérieure de 77% à celle du témoin (0,046 contre 0,026), pour la simple dose la différence n'est plus que de 27% (0,033). Compte tenu de la faible teneur en argile du sol il est concevable que la persistance ainsi observée du pouvoir fixateur du sol soit à relier à l'effet antérieur de la couverture de pueraria, associé à celui de la litière actuelle, sur le complexe absorbant d'origine organique, dont l'importance pour les sols ferralitiques de Côte d'Ivoire a été mise en évidence par Boissezon [12].

4.2. Les particularités de l'action spécifique de K

L'action spécifique de K s'est manifestée dans deux domaines: celui de l'assimilation des éléments majeurs par les feuilles et celui de l'équilibre croissance-production de l'hévéa. La prise en considération des observations possibles dans ces deux domaines permet quelques remarques sur la notion de «valeurs normales».

4.2.1. L'action spécifique de K au niveau des feuilles

Qu'il s'agisse de l'apparition ou de la disparition des effets de la fumure potassique la teneur en K des feuilles apparaît comme un indicateur très sensible des besoins de l'hévéa. Il n'est donc pas inutile de rappeler ici l'essentiel des variations des teneurs en d'autres éléments qui ont accompagné celles de la teneur en K au cours de cette expérimentation. A ce propos seuls sont soulignés ici les antagonismes K-Mg et K-P.

Le premier élément dont la teneur a été affectée par la variation de K dans les feuilles a été le magnésium dont la teneur est devenue inversement proportionnelle à la dose de K en même temps qu'apparaissait le premier accroissement significatif de K sous l'effet de la fumure (1962, deuxième année d'épandage). Les répercussions qui sont apparues plus tard sur la teneur en magnésium du latex ont probablement contribué à l'action spécifique de K sur la production, l'ion Mg intervenant défavorablement sur la stabilité du latex (Ribaillier [13]).

En ce qui concerne les autres éléments il ne nous apparaît pas nécessaire de revenir ici sur les résultats présentés plus haut, si ce n'est pour le phosphore. En effet l'antagonisme K-P observé mérite un commentaire.

Il convient d'abord d'indiquer que dans les plantations de la savane de Dabou des teneurs élevées en phosphore ont pu souvent être reliées à des cas de mauvaise croissance. Celle-ci se manifeste en particulier par la faible dimension des feuilles. Bien que nous n'ayons pu faire d'observations sur ce caractère, il est remarquable ici que le début de l'abaissement des teneurs excessives de phosphore dans les feuilles sous l'effet des deux doses en 1965 ait correspondu à la première manifestation d'effet significatif de la fumure potassique sur la croissance.

2.4.2. L'action spécifique de K au niveau de l'équilibre croissance-production

L'expérimentation poursuivie à l'IRCA en matière d'exploitation de l'hévéa [14] a pour objectif essentiel la définition de systèmes d'exploitation assurant le meilleur équilibre croissance-production, compte tenu de la réduction importante de la croissance qu'entraîne la mise en exploitation de l'hévéa.

Les résultats présentés plus haut concernant les effets de la fumure potassique respectivement sur la croissance et la production nous permettent d'apprécier le rôle du potassium dans cet équilibre croissance-production.

Considérant d'abord le seul effet de la fumure pendant la période d'exploitation normale, sans stimulations, il est remarquable de constater que si les deux doses de potasse permettent une croissance identique (fig. 2), seule la double dose conduit à une surproduction significativement différente du témoin (+ 12% contre + 2% pour la simple dose de 1965 à 1969) (tab. 3). Ainsi apparaît une action spécifique du potassium sur la production du caoutchouc indépendante de l'action sur la croissance.

La mise en exploitation intensive des hévéas par la stimulation confirme cette action spécifique de K sur la production, tandis que l'effet croissance permet d'éviter sur les traitements fumures l'effet dépressif de la stimulation sur la croissance, à l'inverse de ce qui se produit sur le témoin.

Pour expliquer ce rôle spécifique du potassium dans la production du caoutchouc et la réponse à la stimulation nous en sommes réduits à des hypothèses. Elles touchent aux deux domaines des facteurs limitants pour la production: l'écoulement du latex et sa régénération dans les laticifères du panneau de saignée.

Concernant l'écoulement la manifestation de l'antagonisme K-Mg jusqu'au niveau du latex est un élément d'explication d'un effet favorable éventuel de K sur la durée de l'écoulement. En effet l'abaissement des teneurs en Mg du latex accroît la stabilité des lutoïdes, particules du latex dont l'éclatement prématuré intervient dans la réduction de la durée de l'écoulement (*Ribaillier [15]*).

En ce qui concerne la régénération du latex elle fait rentrer en compétition, pour la consommation des sucres notamment, les cellules du liber et les laticifères qu'elles entourent, la régénération du latex de ceux-ci étant directement liée, à la disponibilité en saccharose (*Tupy [16]*). Ayant à l'esprit les travaux de *Kursanov et al. [17]* sur l'importance du potassium pour les cellules du liber et pour la biosynthèse des polysaccharides, nous sommes conduits à nous demander si les effets de K ne peuvent être reliés à une meilleure synthèse de l'amidon et ensuite à un meilleur transport des sucres qui en dérivent grâce à une activité optimale des cellules libériennes.

4.2.3. Notion de «valeurs normales» des teneurs en K des feuilles

Les actions de K sur la croissance et sur la production et la sensibilité de l'indicateur «teneur des feuilles en K» nous conduisent à nous interroger sur le niveau auquel on peut considérer que cette teneur se situe à une valeur normale pour le matériel végétal considéré (TJIR I ill.)

Par ailleurs la mise en exploitation pouvant entraîner des exportations de 10 à 50 kg de K à l'hectare (*Shorrocks [18]* et *Sivanadyan [19]*), nous pouvons nous demander si les besoins en potassium de l'hévéa en sont accrus au point de justifier une plus grande teneur en potasse de l'arbre à laquelle correspondrait une valeur normale plus élevée.

En ce qui concerne l'identification de valeurs normales pour la croissance l'apparition simultanée des premiers effets significatifs des deux doses en 1965 correspond à des teneurs en K allant de 0,87 (% MS) pour la double dose à 0,70 pour la simple dose, laquelle atteint 0,78 l'année suivante. Ces premières données nous incitent à penser que pour ce matériel végétal TJIR I ill. et à cette époque de l'année (octobre) une teneur de 0,80% MS peut être considérée comme normale en période de croissance.

Par contre, pour la production, l'apparition des premiers effets significatifs de la double dose après trois années où la teneur en K des feuilles était proche de 0,90 (0,87 en 1965, 0,90 en 1966, 0,89 en 1967) et la première manifestation de l'effet significatif de la simple dose intervenant également après 3 années d'un niveau moyen se situant à 0,94

nous sommes enclins à admettre que la teneur de 0,90 peut être reconnue comme une valeur normale pour le TJIR 1 ill., en exploitation, à cette époque de l'année (octobre). La considération de la période d'arrière-action 1969 à 1972 (fig. 6) nous conduit à la même observation. Nous constatons en effet que l'action de la stimulation en présence de fumure tend à se réduire pour des teneurs en potasse qui tombent à 0,89 pour la double dose en 1972, la réponse nettement inférieure à la stimulation de la simple dose ayant toujours correspondu de 1970 à 1972 à des teneurs en K inférieures (0,88 en 1970, 0,79 en 1971 et 0,76 en 1972).

4.3. Indications pour la poursuite de l'expérimentation et l'application industrielle des résultats

4.3.1. Indications pour la poursuite de l'expérimentation sur la fumure de l'hévéa en Côte d'Ivoire

Ces douze années d'expérimentation sur le même essai nous conduisent à quelques remarques d'ordre méthodologique portant sur cet essai lui-même et sur les autres essais en cours à l'IRCA.

En ce qui concerne le dispositif statistique, bien que la précaution d'un nombre élevé d'arbres par parcelle élémentaire ait été prise, il est probable que la faiblesse du dispositif, faute d'un nombre de répétitions suffisant, ait diminué la précision de l'essai et donc accru d'autant les délais de signification de certains effets. En outre au lieu de fractionner chacune des deux doses il eut mieux valu ajouter deux doses supplémentaires de façon à bénéficier d'une courbe de réponse plus complète. Il est possible d'ailleurs que l'emploi de doses plus importantes ait pu réduire les délais de réponse à la fumure. Enfin la prise en considération, dès la mise en place de l'essai, des observations faites à l'échelle industrielle par Puddy et Warriar [6] en 1960 sur les relations fumure potassique – stimulation aurait eu l'avantage d'introduire dans le dispositif initial le sous-traitement stimulation.

Cependant au-delà de ces imperfections la signification de cet essai nous semble essentiellement liée à sa durée. Ceci doit être pris en considération pour la mise en place des essais de fumures sur hévéa. Dans l'immédiat cet essai continue; la reprise des épandages a été effective en 1973 avec l'appoint de deux doses supplémentaires.

Il ne nous échappe pas que les premiers résultats acquis sur le matériel testé, le TJIR 1 ill., dans un site déterminé devraient être complétés par d'autres résultats recueillis sur d'autres types de matériels et dans d'autres sites. L'extension de notre expérimentation nous a en fait été suggérée par les résultats des analyses foliaires effectuées systématiquement sur les champs de clones de l'IRCA [20, 21] et par l'étude que l'un de nous avait fait en 1969 du comportement de plusieurs clones au Cameroun [22].

Dans le même temps, Pushparadjah [23, 24] orientait les travaux de l'Institut du Caoutchouc de Malaisie dans le même sens.

Ainsi depuis 1968 de nouveaux essais ont été mis en place: sur les clones RR1M 600, PB 86 et PR 107 en savane sur sables tertiaires, sur les clones PR 107 et GT 1 en zone forestière sur sables tertiaires, et sur le clone GT 1 sur les sols du Sud-Ouest apparentés aux sols rengam de Malaisie. Pour les essais sur sables tertiaires, répartis entre jeunes cultures et cultures en rapport, l'accent a été mis sur les éléments N et K avec ou sans stimulations; pour le Sud-Ouest l'expérimentation porte sur P, N et K.

4.3.2. Recommandations pour l'application des résultats de l'expérimentation à des programmes de fumure industrielle

Des résultats de cette expérimentation nous pensons pouvoir déduire les recommandations suivantes en matière de fumure industrielle, pour le matériel végétal considéré et dans le site de sables tertiaires (zones de savane):

– Le principe d'une fumure potassique sur avertissement prenant son origine dans des résultats de diagnostic foliaire peut être appliqué; l'analyse de sol n'apparaît pas nécessaire.

– En présence d'une déficience caractérisée en potasse l'emploi d'une forte dose (500 g de KCl par arbre) est préférable pour obtenir simultanément: un effet plus rapide sur la production, une meilleure possibilité d'intensification de l'exploitation par la stimulation, et finalement un profit cumulé substantiel.

La stimulation d'une culture déficiente est déconseillée. Elle risque de conduire à un effet nul sur la production et à un effet dépressif sur la croissance.

– Enfin la rigueur du principe d'une fumure sur avertissement doit permettre l'arrêt des épandages de potasse un an ou deux après le constat du retour à des valeurs normales. L'arrière-action de la fumure potassique permet d'accroître ainsi les profits sans risques d'effets dépressifs pour les hévéas.

– Ainsi plutôt que de recourir à une fumure d'entretien à périodicité annuelle, nous serions enclins à considérer l'intérêt de fumures occasionnelles dont la périodicité serait déterminée sur l'avertissement de résultats de diagnostic foliaire.

Remerciements

Les Directeurs successifs de la *Compagnie des Caoutchoucs du Pakidié* et de la *Plantation du Pakidié* voudront bien trouver ici l'expression de notre gratitude pour la constance de leur aide et la pérennité de l'intérêt qu'ils ont porté à nos travaux.

Bibliographie

1. *Dabin B., Leneuf N. et Riou G.*: Carte pédologique de la Côte d'Ivoire. Notice explicative. Bulletin de liaison du Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire.
2. *Beaufils E. R.*: Le diagnostic physiologique. II. Conception des recherches et méthodologie. Etablissement de la méthode dans les plantations R.G.C.P. 35, p.992 (1958).
3. *Shorrocks V. M.*: Some effects of fertilizer applications on the nutrient composition of leaves and latex of *Hevea brasiliensis*. Proc. Natur. Rubber. Pres. conf., Kuala-Lumpur, p.118-141 (1960).
4. *Ribaillier D. et d'Auzac J.*: Nouvelles perspectives de stimulation hormonale de la production chez l'*Hevea brasiliensis*. R.G.C.P. 47 (4), p.433-439 (1970).
5. *Middleton K. R.*: Inconsistencies in the responses of *Hevea brasiliensis* to phosphatic fertilizer in field trials and pot experiments with soil. Proc. Natur. Rubber. Res. Conf., Kuala-Lumpur, p.89-101 (1960).
6. *Puddy C. A. et Warriar S. M.*: Yield stimulation of *Hevea brasiliensis* by 2-4 dichloro phenoxy-acetic acid. Proc. Natur. Rubber. Res. Conf., Kuala-Lumpur, p.194-210 (1960).
7. *Guha M. M. et Narayanan R.*: Variation in leaf nutrient content of *Hevea* with clone and age of leaf. J. Rub. Res. Inst. Malaya 21 (2), p.225-239 (1969).
8. *Bachy A.*: A propos d'un cas typique de carence potassique du palmier à huile en Côte d'Ivoire. Oléagineux 24 (10), p. 533-540 (1969).
9. *du Plessix C. J. et d'Anthenaise F.*: Effect of fertilization with potassium chloride on the yield response to stimulations by NAA. Latex Flow Meeting I.R.R.D.B. Kuala-Lumpur (9/1970).

10. *Bachy A.*: Principaux résultats acquis par l'IRHO sur la fertilisation du palmier à huile. *Oléagineux*, 23 (1), p.9-14 (1969).
11. *Soon Ngin Kwi*: A study of the root distribution of *Hevea brasiliensis* in relation to its nutrition and growth on some typical Malayan soils. Thèse Université de Singapour, 1968.
12. *de Boissezon P.*: Etude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM Sér-Pédol. 8 (4), p.390-418 (1970).
13. *Ribaillier D.*: Action in vitro de certains ions minéraux et composés organiques sur la stabilité des lutoïdes du latex d'hévéa. R.G.C.P. 45 (12), p.1995-1998 (1968).
14. *IRCA*: Rapports annuels 1970 (p.26-28) et 1971 (p.24-28).
15. *Ribaillier D.*: Quelques aspects du rôle des lutoïdes dans la physiologie et l'écoulement du latex d'*Hevea brasiliensis*. Thèse Université d'Abidjan, 1972.
16. *Tuy J.*: The level and distribution pattern of latex sucrose along the trunk of *Hevea brasiliensis* as affected by the sink region induced by latex tapping. *Physiol. Vég.* 11 (1), p. 1-11 (1973).
17. *Kursanov D.* et *Vysrebenezva E.*: Le rôle du potassium dans le métabolisme du végétal et la biosynthèse des composés déterminant la qualité des produits agricoles. Le Potassium et la qualité des produits agricoles 8^e Congrès de l'IIP, p.401-417 (1966).
18. *Shorrocks V.M.*: Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of *Hevea brasiliensis*. II. Nutrient cycle and fertilizer requirements. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya* 19 (1), p.48-61 (1965).
19. *Sivanadyan K.*: Manuring of rubber in relation to Ethrel stimulation. I.R.R.D.B. Symposium Nutrition of Hevea Bogor, 1973.
20. *IRCA*: Rapports annuels 1961 à 1965, exp. 11.
21. *Bouychou J.G.*: Evolution de la nutrition minérale de l'hévéa en fonction du cycle végétatif d'après le diagnostic foliaire. 10^e Colloque IIP, Abidjan (1973).
22. *du Plessix C.J.*: Remarque sur les problèmes de fumure de l'hévéa à la CDC. Rapport de recherches SA 1/70 IRCA 1970.
23. *Pushparadjah E.* et *Guha M.M.*: Fertilizer response in *Hevea brasiliensis* in relation to soil type and soil and leaf nutrient status. *Trans. 9th. Inst. Congr. Soil Sci IV*, 85.
24. *Pushparadjah E.*: RRIM's view on criteria used as guide for fertilisation of rubber. I.R.R.D.B. Symposium Nutrition of Hevea Bogor, 1973.

Effects of Potassium Fertilization on Hevea Grown on Tertiary Sandy Soils in the Savannah of Lower Ivory Coast

C. J. du Plessix, J. M. Eschbach and A. Cornier, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Abidjan/Ivory Coast

Extended Summary

Introduction

Between 1953 and 1963, *Hevea* culture has expanded in the Ivory Coast on tertiary sands of the south-eastern part of the country. A great part of the planting material in this zone was represented by ungrafted *hevea* trees of the variety Tjir I ill.

The average rainfall is 1900 mm. The soils, ferrallitic and very leached, have a clay content < 10% on the surface, great depth and a very mellow structure. The pH is close to 5 and the total of exchangeable bases very low (0.1 to 1.5 meq.).

Experimental methods

Twelve years of experiment (1961-1973) on this site, known to be K deficient, have enabled us to show the effect of K on the growth of trees, the nutrient contents of the leaves, the production, the response to stimulation. The manuring was shown to be profitable.

Set on 6 ha, the experiment is carried out according to the method of blocks with 3 replications of 5 treatments: control without K; K 1 with 1 application of 150 g K₂O/tree/year; K 1 with 2 applications of 75 g K₂O/tree/year; K 2 with 1 application of 300 g K₂O/tree/year; K 2 with 2 applications of 150 g K₂O/tree/year. The applications of K were stopped after 1968. In 1969 each plot was subdivided into two with the introduction of stimulation sub-treatment.

Results

1. Splitting of the K dressing

No significant effect whatsoever of splitting the dressings was noticed for any recorded parameter.

2. Foliar contents

Table 1 and graph 1 (see French version) show the trend of foliar contents of N, P, K, Ca, Mg during the first twelve years of experiment. The K content seems to be a very sensitive indicator of the needs of the rubber tree for potassium. Trees not dressed maintain a K content much below the normal (0.90%), oscillating between 0.44 and 0.66% of the D. M. After dressing was stopped, K content of plots K 1 decreased more quickly than K content of plots K 2. Stimulation strongly enhanced production, and had a depressing effect on K content of leaves of treatment K 2.

One notices K/Mg antagonism in the leaves. Potash dressing also induced a decrease in Mg content of the latex (Table 2, see French version). P contents seem to be very often inversely proportional to rates of K applied and to K contents of the leaves.

3. Growth

The development of the girth with different treatments is shown in graph 2 (see French version). The effect of the K dressing was significant by 1965. There is no significant difference between K 1 and K 2 but the deviation between these two treatments and K 0 becomes significantly more marked. Stimulation has the effect of further increasing this difference for the stimulated control plot.

4. Production

The effects of K and of the stimulation on yields in kg of dry rubber per ha and per year are shown in graph 3 (see French version). Details of the stimulation effect as a function of the rate of K appears in graph 4 (see French version). Table 3 (see French version) indicates the average between treatments during various periods of time (before and after stimulation).

The first significant effect of K 2 appeared in 1967 with an additional production of 19% compared to K 0. The difference between K 1 and K 0 was then only 6%.

The 1st significant effect of K 1 appeared in 1970 with an additional production of 18% compared to K 0.

For the 1965/69 period, only K 2 had a significant effect on the average yearly production (+12% against +2% for K 1) whilst for the 1965/72 period, production of K 1 (+6% is significantly different from K 0 and K 2 (+11%).

While response to stimulation is nil for K 0, it is significant and proportional to rate for K 1 (+7%) and K 2 (+14%). K increased the response level and its duration.

For the 1970/1972 period the production increment due to K compared to K 0, increased under the stimulation effect, from +11% to 19% for K 1 and from +12% to +28% for K 2.

5. K availability in soil

Table 4 (see French version) illustrates the effect of K supply on the available K of the soil. In 1966 the subtractive test with *Pueraria* showed available K of the superficial horizon significantly proportional to rate of supplied K. In 1970, two years after having discontinued dressing, this K effect appeared significant for K 2 only. The soil analysis shows a similar trend at a very low level.

6. Profitability of manuring

The economic interpretation based on production results of the first 8 tapping years (graph 3, see French version) is summed up in table 5 (see French version) and graph 5 (see French version) which indicate the trend of the net accrued profit in equivalent kg of dry rubber/ha from 1961 to 1973, assessed at 10% in 1961 Francs. Manuring is profitable from the 5th tapping year on for K 2 and from the 6th year on for K 1. The cumulative net profit per hectare becomes very important for K 2 and much above the K 1 profit. Stimulation is worthwhile as both K levels giving a return of +154 kg/ha for K 2 and +44 kg/ha for K 1.

Discussion

There is a clear difference of timing between the occurrence of 'foliar contents' and 'growth effects' on the one hand and 'production' on the other. This disparity is more marked for K 1 than for K 2. After discontinuation of dressings one notices a residual action on growth in girth and on the pro-

duction, while foliar K content decreases quicker for K 1 and K 2 stimulated than for K 2 non-stimulated (graph 6, see French version). The K contents of leaves appear as essential data for judging the 'stress' of the trees, which is apparent first in the production and then in the growth.

The authors are of the opinion that for the plant material used and under the conditions of sampling (October), a foliar content of 0.80% K can be considered as normal in the growth period, but for trees in production the level should be 0.90% K.

The authors think that K action on Mg content of latex has probably contributed to the specific action of K on the production: the Mg ion has an unfavourable effect on latex stability. They also consider that the decrease in foliar P contents was favourable, high contents having been, in this region, linked to cases of poor growth.

The tapping process may remove from 10 to 50 kg/ha of K. In the case under study, the specific action of K on the latex production, beside its action on the growth, is substantial, being particularly strong when accompanied by stimulation. The 'growth' effect of K allows the depressing effect of the stimulation on the growth to be overcome.

Evolution de la nutrition minérale de l'hévéa en Côte d'Ivoire en fonction du cycle végétatif d'après le diagnostic foliaire

J. G. Bouychou, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Paris/France

Résumé

Pour préciser les conditions d'application du diagnostic foliaire sur hévéa planté en sol de sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire, la composition minérale des feuilles en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium a été suivie sur des échantillons de feuilles prélevés mensuellement à partir de la maturité des feuilles, au cours d'une période de 12 ans.

Les résultats obtenus montrent une diminution linéaire des teneurs en N, P, K en fonction de l'âge des feuilles, une augmentation linéaire du calcium et une stabilité du magnésium. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus en Malaisie sur une période d'un an.

Il n'a pas été mis en évidence une influence de la mise en saignée sur la composition minérale des feuilles; dans les conditions de l'expérience, il n'a pas été possible de mettre en évidence une influence de l'âge des arbres et de l'ensoleillement total annuel.

Introduction

A la suite des travaux de E. R. Beaufigs [1], entrepris et poursuivis au Viet-Nam, le diagnostic foliaire s'est révélé comme une méthode appropriée de détermination de l'état de la nutrition de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*). C'est ainsi que le diagnostic foliaire et son application a fait l'objet de nombreuses études effectuées par les organismes de recherche du Cambodge, de la Malaisie, de Ceylan, etc.

On citera en particulier dans ces travaux ceux de Shorrocks [2], Guha et Narayanan [3] effectués en Malaisie.

En Côte d'Ivoire, où, du fait de l'absence de plantations d'hévéas jusqu'à 1953, il n'existait aucune référence à la nutrition minérale de cette espèce, il est apparu nécessaire de procéder à une étude pour déterminer les conditions d'application du diagnostic foliaire en vue de son utilisation en recherche agronomique (en particulier dans les essais de fumure) et en plantation pour préciser les apports minéraux à effectuer.

Cette étude, entreprise en 1960 et poursuivie jusqu'en 1971, soit sur 12 ans, a été menée en fonction du cycle végétatif annuel de l'hévéa en Côte d'Ivoire, c'est-à-dire en fonction des périodes de défoliation et de refoliation et du vieillissement des feuilles. On a tenté par ailleurs, à cette occasion, d'étudier l'influence des facteurs climatiques (pluviométrie, ensoleillement), de l'âge des arbres et de la saignée.

1. Conditions expérimentales

Sol, matériel végétal, cycle végétatif annuel de l'hévéa

L'étude a porté sur des plants greffés établis sur sol forestier de sables tertiaires de Côte d'Ivoire dont les caractéristiques sont données dans une autre communication (du Plessix, Eschbach, Cornier [4]).

Le matériel végétal utilisé est constitué par les clones PB 86 et PR 107, greffés sur champ en 1959 sur porte-greffe Tjir 1 ill planté en 1958. Il est du même âge que celui de l'étude de *Guha* et *Narayanan*. Les arbres ont été mis en saignée en septembre 1965. Dans la zone où l'étude a été effectuée, la défoliation commence en janvier, la refoliation ayant lieu en février et se terminant à la mi-mars.

Echantillonnage

Les prélèvements de feuilles ont été effectués sur 30 arbres préalablement marqués et étant toujours les mêmes depuis le début de l'expérience. Après la refoliation, 10 à 12 feuilles sur une pousse de l'année ont été étiquetées; toutes les feuilles étiquetées ont ainsi le même âge; chaque mois une feuille étiquetée est prélevée sur chacun des arbres marqués. L'échantillon mensuel est ainsi constitué par 30 feuilles du même âge. A la différence de l'étude de *Guha* et *Narayanan*, les prélèvements ne portent que sur des feuilles mûres (présence d'un cuticule sur les feuilles complètement développées), les prélèvements commençant en avril ou au début de mai suivant l'état de la refoliation. Les échantillons de feuilles prélevées sont ensuite séchées et analysées suivant les méthodes habituelles pour déterminer leur composition minérale.

2. Résultats

Les résultats figurant à la présente communication ont trait au clone PB 86, planté à grande échelle en Côte d'Ivoire; par ailleurs, le choix de ce clone permet des comparaisons avec les résultats de l'étude de *Guha* et *Narayanan* effectuée en Malaisie.

Les droites de régression figurant aux figures jointes ont été établies à partir des moyennes annuelles de chaque mois de prélèvement, l'année 1967 étant exclue du fait de l'insuffisance du nombre de prélèvements. Sur les graphiques, les temps sont portés en abscisses en jours à partir du 1^{er} janvier; en ordonnées figurent les teneurs des feuilles en éléments minéraux en pourcentage de la matière sèche. Figurent également sur les graphiques, les droites établies par *Guha* et *Narayanan* pour le même clone PB 86.

Influence de l'âge des feuilles (évolution de la nutrition minérale)

N, P, K

Les teneurs en azote, phosphore et potassium montrent une diminution linéaire en fonction de l'âge des feuilles (fig. 1, 2 et 3).

On remarquera que pour l'azote, la diminution des teneurs est plus forte en Malaisie qu'en Côte d'Ivoire.

Les variations du phosphore et du potassium sont semblables en Côte d'Ivoire et en Malaisie.

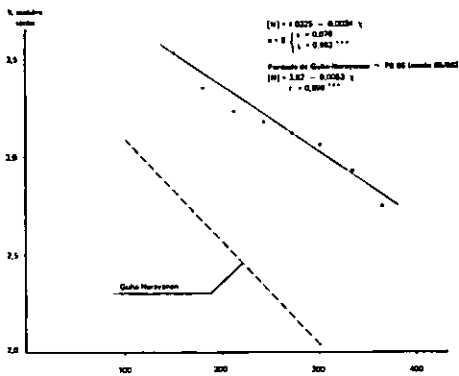


Fig. 1. Azote.

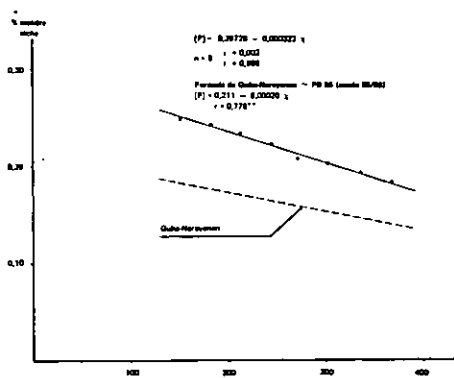


Fig. 2 Phosphore.

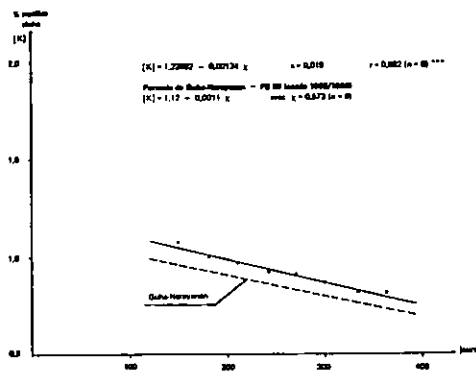


Fig. 3. Potassium.

On observera par ailleurs que les teneurs de Côte d'Ivoire se situent pour ces trois éléments au-dessus de celles de Malaisie.

Calcium

Comme dans toutes les plantes, on constate une augmentation du calcium avec l'âge des feuilles; les teneurs en calcium sont toutefois plus faibles en Côte d'Ivoire qu'en Malaisie (fig. 4). La corrélation négative entre les teneurs en calcium et celles de potassium est confirmée.

Magnésium

Les teneurs en magnésium sont remarquablement stables aussi bien en Côte d'Ivoire qu'en Malaisie. Ces teneurs sont plus fortes en Côte d'Ivoire qu'en Malaisie (fig. 5).

Influence de la pluie

Aucune influence de la pluviométrie annuelle et de la pluviométrie du mois précédant le prélèvement n'a pu être mise en évidence pour les teneurs en azote, phosphore, potassium et magnésium.

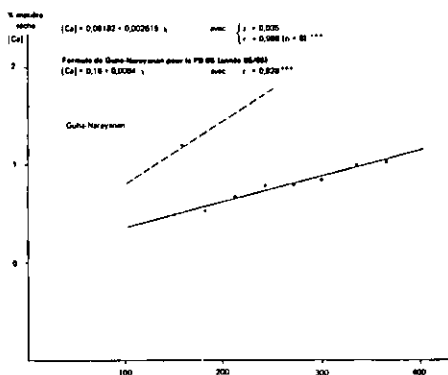


Fig. 4. Calcium.

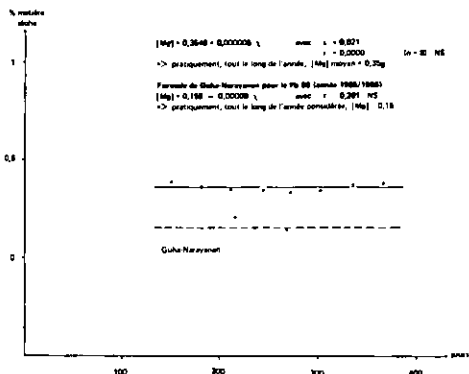


Fig. 5. Magnésium.

Influence de l'âge des arbres et de l'ensoleillement

Les teneurs enregistrées en azote, phosphore et potassium marquent une certaine augmentation avec l'âge des arbres; il en est de même en ce qui concerne l'ensoleillement total annuel.

Il n'est cependant pas possible de préciser à partir des résultats obtenus une influence de l'un ou de l'autre de ces deux facteurs, l'âge des arbres et l'ensoleillement total annuel ayant varié ensemble dans le même sens; pour la période 1963-1968, l'ensoleillement total annuel est passé successivement de 1273 heures en 1963 à 1733 heures en 1964, 1816 heures en 1965, 1969 heures en 1966, 2011 heures en 1967, 2080 heures en 1968 (1989 heures en 1969, 2064 heures en 1970, 2174 heures en 1971).

Influence de la saignée

On n'a pas observé d'influence de la mise en saignée sur la teneur des feuilles pour les cinq éléments étudiés.

Conclusion

L'étude effectuée met en lumière l'importance de la période de prélèvement pour l'application du diagnostic foliaire; ainsi, pour juger de l'état de la nutrition minérale d'une année sur l'autre, les prélèvements doivent-ils être effectués le même mois. Cette recommandation est particulièrement importante quand il s'agit de déterminer l'efficacité des apports d'engrais dans les expériences de fumure d'une part et en plantation industrielle d'autre part.

Tous les résultats de Côte d'Ivoire sur une période de 12 ans sont en concordance avec ceux de Malaisie obtenus par *Guha* et *Narayanan* sur une année.

L'étude a confirmé, par ailleurs, la répartition des éléments minéraux présents dans les feuilles en trois groupes: les éléments migrants (NPK), les éléments d'accumulation, dont le calcium est le type, et les éléments stables (Mg).

Remerciements

Cette étude de longue durée n'a pu être effectuée que grâce au concours du personnel du *Service agronomique* de la Station de l'*IRCA* en Côte d'Ivoire: MM. *R. Martin*, *Ch. J. du Plessix*, *M. Delabarre*, *J. M. Eschbach*, *A. Cornier* et les observateurs du Service; nous exprimons à tous notre reconnaissance. Nos remerciements d'adressent également à Mme Roy qui s'est chargée de la partie interprétation statistique des résultats.

Références

1. *Beaufils E.*: Les déséquilibres dans la composition chimique de l'hévéa. La méthode du diagnostic physiologique. Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 1961.
2. *Shorrocks V. M.*: Leaf analysis as a guide to the nutrition of *Hevea brasiliensis*, J. Rubb. Res. Inst. Malaya (1961, 1962a, 1962b, 1962c, 1963, 1964).
3. *Guha M. M.* et *R. Narayanan*: Variation in leaf nutrient content of *Hevea* with clone and age of leaf, J. Rubb. Res. Inst. Malaya 21, 225-238 (1969).
4. *du Plessix Ch. J.*, *Eschbach J. M.* et *Cornier A.*: Les effets de la fumure potassique sur des hévéas francs de pied cultivés sur sables tertiaires en savane de Basse Côte d'Ivoire, 10e Colloque de l'Institut International de la Potasse, Abidjan (1973).

Evolution of Mineral Nutrition of Hevea in Ivory Coast in Function of Vegetative Cycle According to Foliar Diagnosis

J. G. Bouychou, Directeur des Recherches, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Paris/France

Extended Summary

To ascertain the correct conditions for application of foliar diagnosis to Hevea grown on tertiary sand soil of the lower Ivory Coast, the composition of leaves in N, P, K, Ca and Mg has been traced, on leaf samples taken monthly from the time mature leaves were present, during a period of 12 years (1960 to 1971). The plant materials used were clones PB 86 and PR 107 grafted in 1959 on stock «Tjir 1 ill» planted in 1958. Plants were first tapped in September 1965.

The results presented concern clone PB 86 and have permitted comparisons with similar studies made in Malaysia. The regression lines of diagrams 1 to 5 are based on the average figures for each sampling month during this period of time. Times are shown as abscissae, and as ordinates the N, P, K, Ca and Mg contents as percentages of dry matter. Also on each diagram is shown the line established in Malaysia for the same clone. The N, P, K contents show throughout a linear decrease as a function of the age of leaves (figures 1 to 3, see French version). In the Ivory Coast, contents for all 3 elements are higher than those of Malaysia.

As in the case of any plant, one notices an increase of Ca contents with the age of leaves (figure 4, see French version); however, Ca contents are lower in the Ivory Coast than in Malaysia. The negative correlation between Ca contents and K contents is confirmed.

The Mg contents are remarkably stable (figure 5, see French version). These contents are higher in the Ivory Coast than in Malaysia.

No influence whatever of the annual rainfall or of the rainfall of the month before the sampling could be detected for N, P, K and Mg contents.

The N, P and K contents show some increase with the age of the trees and with the total annual insolation. It was not possible however to make clear the exact influence of one or the other of those 2 factors.

No influence of the rubber tapping was noticed on the N, P, K, Ca and Mg contents.

Interaction entre l'azote et le potassium dans la nutrition des oléagineux tropicaux

M. Ollagnier, Directeur des Stations Expérimentales, Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (IRHO), Paris/France, et R. Ochs, Directeur du Département Agronomie, Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (IRHO), Paris/France

Résumé

Chez le palmier à huile et le cocotier, cultivés au jeune âge en association avec des couvertures de légumineuses, les réponses aux applications de potassium sont beaucoup plus importantes et fréquentes que celles obtenues par l'azote. On trouve une fréquence élevée d'interactions provenant, lorsqu'il y a carence en potassium, d'effets dépressifs de l'azote utilisé seul. Dans ces situations, en présence de potassium, NK est, par contre, supérieur ou égal à K. On explique ce type d'interaction par l'existence d'un antagonisme entre ions NH_4^+ et K^+ au niveau de l'absorption et on espère, dans l'avenir, en utilisant des nitrates, obtenir des interactions entre N et K positives et ayant un intérêt sur le plan économique. L'utilisation des nouveaux hybrides de cocotiers pourrait, dans l'avenir, provoquer des besoins en azote beaucoup plus élevés et, par voie de conséquence, l'apparition d'interactions NK. Chez l'arachide, les interactions NK sont rares et peu marquées.

1. Introduction

L'étude des interactions tient jusqu'ici beaucoup moins de place dans les résultats obtenus et publiés par notre Institut que celle des effets principaux des éléments majeurs ou des oligoéléments.

Ceci tient à deux difficultés essentielles:

- l'efficacité limitée des dispositifs expérimentaux: pour obtenir dans un tableau de contingence à quatre cases (étude de deux éléments à deux niveaux) un degré de précision égal à celui qui nous satisfait pour les effets principaux, il faut doubler le nombre de parcelles et le doubler encore pour un tableau de contingence à neuf cases (étude de deux éléments à trois niveaux). Si le nombre de répétitions est insuffisant, les résultats deviennent flous et parfois contradictoires;
- le fait que chaque élément étudié est associé à tel anion ou cation dont on pourrait avoir tendance à négliger l'action. Celles du soufre et du chlore sont loin d'être négligeables sur le palmier à huile et le cocotier, comme l'ont montré en particulier nos travaux (Ollagnier et Ochs [5, 6]) sur palmier à huile et cocotier, ceux de Southern [9] (soufre sur cocotier) et von Uexküll [10] (chlore sur cocotier).

Si l'on songe que sur une expérience de type exploratoire 2⁵ en 32 parcelles, initialement conçue pour étudier cinq éléments N, P, K, Na, Mg, vont se superposer l'action du soufre apporté par le sulfate d'ammoniaque et la kiesérite, celle du chlore apporté

par les chlorures de potassium et de sodium, celle du calcium apporté par le phosphate, on voit qu'il devient très difficile de n'apporter que des réponses exactes dans les études entreprises pour les différents facteurs (teneurs en éléments, composantes du rendement).

L'agronome à qui est confiée la tâche d'étudier des interactions risque donc d'apporter des réponses beaucoup moins claires que le physiologiste qui, dans ses expériences, est en mesure de faire varier beaucoup plus facilement la composition qualitative et quantitative de ses solutions nutritives et travaille sur des plantes de volume réduit.

Nous envisagerons dans la suite de cette note le sujet qui nous a été proposé sous un angle double :

- les interactions au sens «statistique»: les réponses à l'application des deux éléments azote et potassium sont-elles substantiellement différentes de la somme des réponses obtenues pour chaque élément individuellement?
- les interactions au sens physiologique, «actions réciproques d'un élément sur l'autre», essentiellement sur la composition des feuilles.

Les interactions «exemplaires» et particulièrement intéressantes pour les cultivateurs et les producteurs d'engrais se rencontrent plus fréquemment sur les céréales.

Des exemples significatifs en sont trouvés par exemple au Nigeria sur sorgho et sur maïs (*Heathcote [2]*; tableau 1).

Dans l'expérience sur sorgho, l'effet du potassium sensible, en présence du niveau faible d'azote, devient très important en présence d'une fumure azotée plus forte. Dans l'expérience sur maïs, chaque élément N ou K utilisé seul a une action faible. L'apport simultané des deux produit une interaction considérable.

Les travaux effectués en France par *Garaudeau et Chevalier [1]* sur le blé, l'orge de printemps, le maïs, les plantes fourragères, la betterave sucrière, la pomme de terre ont mis en évidence que, sur une période assez longue, les fortes doses d'azote et de potasse ont procuré d'importantes augmentations moyennes des rendements de toutes les plantes des rotations successivement pratiquées mais que les plus fortes doses d'azote, volontairement choisies, à l'origine, pour être éventuellement excessives, ont été certaines années franchement dépressives; l'action des fumures potassiques a été plus ou moins favorable, suivant la plante considérée; les interactions entre les deux fumures ont été le plus souvent positives, mais pas constamment, et leur incidence a été fort variable, soulignent les auteurs dans leur conclusion. Même dans les régions tempérées, sur des plantes qui accomplissent leur cycle en quelques mois, l'interaction NK n'est donc pas un phénomène absolument constant.

Tableau 1. Interaction entre l'azote et le potassium à Kano et Mokwa (Nigeria)

	(kg/ha)			
	Sorgho Grain Kano 1971		Maïs Grain Mokwa 1970	
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
K ₀	1062	923	1071	1179
K ₁	1666	2111	1388	2596
SE de la moyenne	± 91		± 142	

Nous limitons notre étude à l'interaction entre l'azote, élément assimilé aussi bien à l'état d'anion qu'à l'état de cation, agissant généralement sur la croissance et entrant dans la structure des acides aminés et des protéines, et le potassium nécessaire pour la réalisation de la plupart des synthèses organiques.

2. Palmier à huile

Nous distinguerons quatre types principaux d'interactions :

Type A	Type B
K seul dépressif	K seul accroît les rendements
N seul accroît les rendements	N seul dépressif
NK supérieur ou égal à N	NK supérieur ou égal à K
Type C	Type D
K seul accroît les rendements	K seul accroît les rendements
N seul accroît les rendements	N seul accroît les rendements
NK supérieur à N + K	NK inférieur ou égal à N + K

En Malaisie, trois catégories de résultats peuvent être notées :

- l'effet de l'azote sans potassium est dépressif. Son effet positif s'accroît avec la dose de potassium appliquée (tableau 2);
- dans un sol, vraisemblablement pauvre au départ, l'effet de l'azote sans potassium est positif et très fort, celui du potassium sans azote très modéré. On observe une interaction légère (équivalent à un tiers de l'effet de l'azote) et positive (tableau 3);

Tableau 2. Malaisie (Chemara): Tonnage cumulé de régimes/acre 1963-1967 (sols dérivés de schistes)

	(Interaction type B)		
	K ₀	K ₁	K ₂
N ₀	30,6	29,9	30,6
N ₁	30,7	32,1	31,6
N ₂	27,9	32,0	34,0

DS 5%: 2,7*, 1%: 3,6**

Tableau 3. Malaisie (Chemara) (cité par Paterson [8], tonnes de régimes par acre)

	(Interaction type C)		
	K ₀	K ₁	K ₂
N ₀	3,68	4,11	4,22
N ₁	5,37	6,10	6,54
N ₂	6,75	8,09	8,48

Tableau 4. Interaction NK - palmier à huile; résultats Unilever

	Rendement sans engrais (t/ha)	Réponse à N seul		Réponse à K seul		Réponse à NK		Valeur supplément récolte/ Coût engrais %
		N ₁	N ₂	K ₁	K ₂	N ₁ K ₁	N ₂ K ₂	
<i>Malaisie</i>								
Kluang (1966/1970)	18,7	-0,06	-0,13	-2,29	-0,69	-1,00	2,21	N ₂ K ₂ : 16%
<i>Congo</i>								
Yaligimba (1966/1970)	10,5	0,65	1,01	0,40	0,95	0,96	1,13	Pertes
<i>Cameroun</i>								
Lobé	13,2	0,86	2,36	1,74	1,65	0,78	4,18	K ₁ : 214% K ₂ : 49% N ₂ K ₂ : 35%
Mundimba (1964/1970)	9,7	-0,50	-0,28	1,20*	0,73	0,63	1,03	K ₁ : 210%
Makeve (1962/1969)	7,8	0,49	0,91	1,58*	0,58	1,68*	0,02	K ₁ : 356% N ₁ K ₁ : 84%

Tableau 5. Interaction NK - palmier à huile (Interaction type B)

		N	(-)	Effet de N(a)	Observations
Production en kg de régimes/ arbre/an 1954/55 à 1968/69 (15 ans)	K	98,8 (138)	95,8 (133)	+3,0	Interaction positive NK - N seul diminue significativement les rendements. DS(a) = 6,3** Action minimale de N en présence de K
	(-)	62,6 (87)	71,9 (100)	-9,2**	
Teneur en azote des feuilles (1963) (niveau critique 2,5%)	Effet de K	36,2**	23,9**	Interaction + 6,1*	K accroît significativement la teneur en N des feuilles
	K	2,65 (106)	2,56 (102) DS:	0,079*	
Teneur en potassium des feuilles (niveau critique ±0,900)	(-)	2,57 (102)	2,51 (100)		N diminue significativement la teneur en K des feuilles. La dépression est deux fois moins forte en présence de K, sans que l'interaction soit significative
	K	0,879 (172)	0,916 (179) DS:	0,067*	
Teneur en magnésium des feuilles (niveau critique ±0,240)	(-)	0,445 (87)	0,512 (100)		Pas d'action sensible de N sur Mg
	K	0,326 (75)	0,333 (76) DS:	0,046*	
		(-)	0,471 (108)	0,437 (100)	

Côte d'Ivoire: La Mé. Palmier à huile. Sols: sables tertiaires

Plantation 1946 - Expérience commencée en 1954

N = sulfate d'ammoniaque 2 kg/arbre/an

K = chlorure de potassium 2 kg/arbre/an

Expérience (CP 7) N, P, K, Ca, Mg 2^s - Densité 120 arbres/ha

- Chez *Harrisons* et *Crosfield*, sur cinq expériences de fertilisation réalisées sur des sols d'alluvion (Briah et Selangor Series), on note deux interactions NK de type A et trois de type B, dont aucune cependant n'atteint le seuil de signification.

Les expériences réalisées par la Société *Unilever* en Afrique et en Malaisie n'ont pas, pour leur part, abouti à la mise en évidence d'interactions NK significatives (tableau 4). La rentabilité des fumures NK est en général inférieure à celle des fumures potassiques seules.

En *Côte d'Ivoire*, l'expérience qui donne les indications les plus concluantes (tableau 5) a été montée en 1954 sur un matériel de productivité moyenne (D.T. Congo) planté en 1946 sur un terrain (sables tertiaires) antérieurement consacré aux cultures vivrières. Le sulfate d'ammoniaque utilisé seul *diminue* très significativement le rendement, de 13%.

L'effet du potassium, de 33%, est porté à 38% en présence d'azote, et ceci sur une période moyenne de quinze ans. L'interaction positive, du type de celle observée à Chemara (Malaisie) (tableau 2) est significative à P. 0,05.

L'examen des teneurs en potassium des feuilles montre que l'apport de sulfate d'ammoniaque diminue significativement la teneur en potassium des feuilles. La dépression est beaucoup moins sensible en présence de potassium.

Quelle peut être l'origine de cet effet? peut-être s'agit-il d'un antagonisme au niveau de l'absorption, NH_4^+ se comportant comme un cation antagoniste de K^+ . Cet antagonisme serait particulièrement accentué en condition de déficience potassique sévère, ce qui est le cas des témoins. Le fait que l'on observe des effets parallèles de l'application de N sur la composition des feuilles et des racines (tableau 6) semble légitimer l'hypothèse selon laquelle l'antagonisme se produirait au niveau de l'absorption.

Les teneurs en azote sont significativement améliorées par les apports de chlorure de potassium. C'est un résultat que nous retrouverons dans la plupart des expériences sur palmier à huile et cocotier.

Il n'est enfin pas possible de relier à l'intérieur de cette expérience *l'intensité* des réponses à l'azote et au potassium aux niveaux de ces éléments dans les feuilles.

Tableau 6. Effets comparés de N et de K sur la teneur des feuilles et des racines en potassium Côte d'Ivoire (La Mé) (voir également tableau 5) (Palmiers adultes) (CP 7)

Feuilles		Racines	
Avec N: 0,714	Avec K: 0,907	Avec N: 0,516	Avec K: 0,739
Sans N: 0,771	Sans K: 0,578	Sans N: 0,569	Sans K: 0,346
DS 1%: 0,102**		DS 1%: 0,091**	
N: sulfate d'ammoniaque, K: chlorure de potassium			
Cameroun (La Dibamba) Pépinières en sacs plastiques			
Feuilles		Racines	
Avec N: 1,24	Avec K: 1,76	Avec N: 0,98	Avec K: 1,55
Sans N: 1,34	Sans K: 0,82	Sans N: 1,14	Sans K: 0,57
DS 1%: 0,08**		DS 1%: 0,11**	
Effet de N (urée) sur le poids des plants		+ 27%	
Effet de K (chlorure de potassium) sur le poids des plants		+ 20%	

La raison en est que, d'une part, les teneurs d'une année déterminée dépendent des déficits hydriques observés avant le prélèvement et que, d'autre part, le niveau de production d'une année dépend des conditions d'alimentation hydrique et minérale de la période de sexualisation, 28 à 30 mois avant la récolte. Il en résulte des fonctions complexes entre les productions et les conditions de nutrition.

L'effet moyen de l'azote en présence de K atteint 3 kg de régimes par arbre sur une période de 15 ans. Le supplément de production représente pour 120 arbres/ha et 7 f.C.F.A. par kg de régimes 2520 f.C.F.A./ha, inférieur au coût de la fumure: 4800 f.C.F.A. environ/ha.

Dans une deuxième expérience plantée à La Mé en 1959 (CP 14) avec du matériel interorigine (Deli × Pisifera La Mé) sur défrichement forestier, on obtient, pour la période 1965-1972, les résultats suivants (production cumulée) en kg de régimes:

	K ₀	K ₁	K ₂
N	685 (98)	655 (94)	720 (103)
N _a	699 (100)	630 (90)	626 (90)

DS 5%:67*

1%:94**

K₁ a reçu une fumure croissant de 0,2 à 0,75 kg de chlorure de potassium jusqu'à 4 ans puis 1 kg

K₂ a reçu une dose double

K₀ a reçu 1 kg de chlorure de potassium de 5 à 10 ans

N a reçu une dose de sulfate d'ammoniaque croissant de 0,25 à 1 kg jusqu'à 3 ans puis 1,5 kg

Le chlorure de potassium utilisé seul a un effet dépressif (—10%) qui s'explique selon des travaux antérieurs (*Ollagnier, Ochs [5]*), par des teneurs excessives en chlore dont le niveau optimal dans la feuille est d'environ 0,5.

	Teneur des feuilles (parcelles sans N)		
	K ₀	K ₁	K ₂
Teneur en potassium (moyenne 10 ans 1962-1972)	0,985	0,983	1,10
Teneur en chlore (moyenne 4 ans 1966-1971)	0,66	0,67	0,68

L'utilisation conjointe d'azote et de potassium ramène les rendements au niveau de ceux du témoin. L'interaction est ici de type A.

Cette expérience est représentative des conditions de nutrition observées dans de nombreuses plantations de la SODEPALM situées sur sables tertiaires et sert ainsi de guide pour les recommandations faites à cette société en matière de fertilisation.

Une troisième expérience mise en place en 1968 sur du matériel interorigine (Deli × Pisifera — CP 23) plantée en 1965, donne en 1972 les résultats suivants (kg de régimes/arbre/an).

	K ₀	K ₁	K ₂	Moyennes
N	96	108	105	103*
(—)	86	100	102	96
Effet de N	+10	+8	+3	

L'effet de N (1,5 kg d'urée) significatif, est positif en l'absence de chlorure de potassium et devient nul en présence de potasse (interaction de type D).

Un point faible du protocole de cet essai est peut-être de n'avoir pas prévu la possibilité d'étudier des niveaux croissants d'azote car l'absence d'interaction peut provenir d'une insuffisance des apports de N en présence de K.

Le chlorure de potassium seul donne, en effet, un accroissement de production de 16 kg/arbre (2,25 t/ha) correspondant à une exportation supplémentaire de 15 kg d'azote à l'hectare. Comme on apporte l'équivalent de 100 kg, on serait alors en présence d'un très mauvais coefficient d'utilisation de N.

L'expérience a été modifiée il y a un an pour étudier des doses supérieures. On verra alors s'il existe un déplacement de la réponse à l'azote de K_0 vers K_2 .

Au Cameroun, sur sables tertiaires également, on note aussi une interaction de type D: absence d'effet de l'azote en présence de potassium (avec baisse des teneurs en K) et effet dépressif de N en présence de K, à la limite de la signification.

Dans cette expérience (tableau 7) existe aussi une carence de magnésium. L'examen du tableau d'interaction NK pour le contenu en magnésium des feuilles apporte une explication valable à cet effet dépressif de l'azote; les teneurs en magnésium du groupe de parcelles NK tombant jusqu'à 0,154 très loin du niveau critique de Mg (0,240). En résumé, sur une même station (La Mé, Côte d'Ivoire) et sur un même type de sol (sables tertiaires), trois types d'interaction ont été observés:

	Alimentation en		Interaction Type	Réponses obtenues			Doses utilisées	
	N	K		N	K	NK		
CP 7	suffisante (2,5)	très déficiente (0,6)	B	— 9*	+24**	+27**	S.A. 2	K 2 kg
CP 14	suffisante (2,71)	élevée (1,13)	A	— 2	—10*	+ 3	S.A. 1,5	K 1 et 2 kg
CP 23	élevée (2,93)	bonne (1,00)	D	+10*	+16*	+19*	Urée 1,5	K 1 et 2 kg
Cameroun	suffisante (2,45)	très déficiente (0,63)	D	+ 3	+27**	+17*	Urée 0,5	K 1 kg

Les résultats obtenus suggèrent que, lorsqu'on opère en conditions de déficience potassique sévère (CP 7), on obtient une réponse négative à N par diminution de potassium au niveau de l'absorption.

Lorsque l'alimentation potassique est normale (CP 14, CP 23) au départ, l'effet de KCl seul est influencé par les conditions de nutrition en chlore (réponse négative dans CP 14 où la teneur en Cl est excessive, positive dans CP 23 où elle est normale). Le manque de réponse à N seul pourrait être dû au fait que la dose appliquée a été insuffisante, comme l'indiquent les résultats de CP 23 et du Cameroun.

En pépinières, réalisées en sacs plastiques (donc à l'intérieur desquels tout le système racinaire est contenu) on peut observer sur le poids de matière verte (tableau 8) des interactions NK de type C, l'interaction NK sur la teneur en K des feuilles étant de même nature que celle observée sur les palmiers adultes (effet dépressif de N en l'absence de K).

Les plants de palmiers ont alors un comportement physiologique proche de celui de n'importe quelle graminée, par exemple, chez lesquelles de semblables interactions

Tableau 7. Interaction NK – palmier à huile (Interaction type D)

		N	(—)	Effet de N	Observations
Production	K	97,5	111,4	—13,9	DS 15,2*
kg de régimes par arbre (1967/68 à 1970/71)	(—)	86,9	84,3	+ 2,6	Effet dépressif de N à la limite de la signification
Teneur en potassium des feuilles (1971)	K	1,069	0,993		Ce tableau n'apporte pas d'explication
	(—)	0,576	0,629		DS 0,044*
Teneur en magnésium des feuilles (1971)	K	0,154	0,181		Niveau critique de Mg=0,240
	(—)	0,198	0,220		N accentue la déficience en Mg, expliquant la baisse de rendement observée

Cameroun: La Dibamba. Palmier à huile. Sols: sables tertiaires
Plantation 1950. Expérience commencée en 1950

Effets principaux sur la production:

Mg: Sulfate de magnésie 1 kg Mg: +24%**
K: Chlorure de potassium 1 kg K: +22%**
N: Urée 0,5 kg N: — 6% NS

Tableau 8. Palmier à huile – pépinières (1969) (en sacs plastiques) (Interaction NK – type C)

Poids des feuilles (kg)

	N	(—)	Effet (a)	Observations
K	3,28 (167)	2,10 (107)	1,18	Interaction positive significative
(—)	2,85 (145)	1,96 (100)	0,89	DS 1% (a): 0,24**
Effet	0,43	0,14		Interaction: 0,14*

Teneur en potassium des feuilles

	N	(—)	Effet (a)	Observations
K	1,51	1,37	0,14	Interaction négative très significative
(—)	0,81	0,85	—0,04	DS 1% (a): 0,114**
Effet	0,70	0,52		Interaction: 0,09**

Teneur en azote des feuilles

N	3,05 (135)	K	2,64 (99)
(—)	2,26 (100)	(—)	2,67 (100)

Poids des racines (kg)

N	0,953* (112)	K	0,919 (104)	Pas d'interaction significative
(—)	0,850 (100)	(—)	0,884 (100)	

Côte d'Ivoire: Palmier à huile — Pépinière

N = Urée - Chlorure de potassium. Substrat = Terreau végétal

sont classiques: il n'existe pas de stipe ou tronc qui joue un rôle important de mise en réserve des éléments fertilisants.

3. Cocotier

Les tableaux 9, 10 et 11 présentent les résultats de trois expériences réalisées au Dahomey et en Côte d'Ivoire, sur sables quaternaires, et pour lesquelles les tendances sont très parallèles à celles trouvées sur le palmier à huile:

Tableau 9. Interaction NK cocotier (Interaction type B)

		K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	Observations
Production en nombre de noix/arbre/an (1960/61 à 1965/66)	N ₀	41,9	50,6	51,1	64,5	Interaction NK positive et significative au niveau de K ₂ . N seul déprime le rendement. Effet positif de N en présence de K (DS 5%: 18,0 1%: 25,8)
	N ₁	27,9	57,0	65,4	67,9	
	Effet de N	-14,0	+ 6,4	+14,3	+ 3,4	
	Moyenne K	34,9	53,8*	58,3*	66,2**	
Teneur en azote des feuilles (Nc±2,0) (1966)	N ₀	1,57	1,63	1,62	1,68	K et N augmentent N DS 5%: 0,16
	N ₁	1,64	1,85	1,82	1,82	
Teneur potassium des feuilles en (Kc±0,800) (1966)	N ₀	0,175	0,414	0,789	0,899	N déprime fortement K DS 5%: 0,450
	N ₁	0,144	0,323	0,435	0,659	
Teneur des feuilles en magnésium (Mgc: ±0,260) (1966)	N ₀	0,582	0,373	0,318	0,321	Acheminement vers un meilleur équilibre K/Mg sous l'effet de N et des doses croissantes de K
	N ₁	0,457	0,299	0,275	0,257	

Côte d'Ivoire: Port-Bouet. Cocotier. Sols: sables quaternaires

Plantation de 40 ans. Expérience commencée en 1952

N: sulfate d'ammoniaque 2 kg/arbre

K: chlorure de potassium 0,5, 1 et 1,5 kg puis 0,75, 1,5 et 2,25 à partir de 1963

Tableau 10. Interaction NK cocotier (Interaction type B)

		N	(—)	Effet N	Observations
Coprak/arbre (1961/62)	K	5,66	6,06	-0,40	Effet nul de N Effet dépressif de N Effet dépressif de N seul Effet dépressif de N sur les teneurs en K
	(—)	1,38	1,96	-0,58	
Coprak/arbre (1966/67 à 1969/70)	K	13,2	13,4		
	(—)	10,5	12,6		
Teneur en potassium des feuilles (1962)	K	0,591	0,587		
	(—)	0,185	0,201		
Teneur en potassium des feuilles (1972)	N	0,856*	K 0,904		
	(—)	0,949	(—) 0,901		

Côte d'Ivoire: Port-Bouet. Cocotier (CC 3)

Sols: sables quaternaires

Plantation 1954. Expérience commencée en 1954

N: 0,750 kg

K: Doses croissantes jusqu'à 2 kg avec l'âge

(—): Rien jusqu'en 1962 puis mêmes doses que K

Tableau 11. Interaction NK cocotier (Interaction type B)
Nombre de noix par arbre

	1957/58 à 1960/61		1961/62 à 1964/65		1967/68 à 1971/72		Observations		
	N	(—)	N	(—)	N	(—)			
K	51,3 (271)	45,5 (241)	K	53,1 (279)	44,8 (236)	K	56,0 (329)	48,6 (286)	Interaction positive. L'effet de l'azote utilisé seul devient dépressif au fur et à mesure des années. Effet positif de l'azote en présence de K
(—)	16,1 (85)	18,9 (100)	(—)	13,9 (73)	19,0 (100)	(—)	9,9 (58)	17,0 (100)	
DS 5%	9,0*			7,4*			8,4*		
1%	12,3**			10,1**			11,5**		

Coprah par noix

	1957/58 à 1960/61		1961/62 à 1964/65		Observations	
	N	(—)	N	(—)		
K	169 (117)	173 (119)	K	182 (112)	186 (115)	Pas d'interaction significative
(—)	149 (103)	145 (100)	(—)	161 (99)	162 (100)	
DS 5%	7*			9*		
1%	9**			12**		

Teneurs en potassium des feuilles (1971)

	N		DS 5%	1%	Observations
	(—)				
K	0,958	1,122	0,131*		Teneur excessive en potassium avec K seul (niveau critique $\pm 0,8$)
(—)	0,199	0,182	0,179**		

Teneurs en azote des feuilles (1971)

	N		DS 5%	1%	Observations
	(—)				
K	2,17	2,04	0,11*		
(—)	2,28	1,99	0,15**		

Dahomey: Semé-Podji. Cocotier. Sols: sables quaternaires

Plantation de 40 ans. Expérience commencée en 1952

N = Sulfate d'ammoniaque 1,5 kg

K = Chlorure de potassium 1,5 kg

- sur les rendements: effet dépressif important du sulfate d'ammoniaque utilisé seul, dans les trois expériences. Effet positif et significatif du sulfate d'ammoniaque en présence de potasse dans deux expériences. Ces trois interactions sont donc toutes de type B;
- sur le plan économique, il faut près de 8 noix supplémentaires pour payer une fertilisation de 2 kg de sulfate d'ammoniaque par arbre. Seul, le résultat de l'expérience du tableau 9 présente donc un intérêt pratique.

On observe encore un accroissement des teneurs en azote des feuilles par l'application de N ou de K, ainsi qu'une diminution des teneurs en K des feuilles par application de sulfate d'ammoniaque.

L'analyse de quatre autres expériences réalisées dans des conditions assez diverses:

- sols sableux à Rangiroa (Polynésie)
- sols coralliens aux Nouvelles-Hébrides
- sables quarternaires au Dahomey,

montre l'existence d'interactions de type C, pour lesquelles l'effet de la potasse appliquée seule est l'élément le plus important. L'application supplémentaire d'azote soit n'apporte rien, soit couvre à peine les frais de la fumure.

Au Mozambique (figure 1) où les réponses les plus importantes à l'azote ont été obtenues, atteignant jusqu'à 40%, un effet secondaire de K existe, sans que l'on trouve d'interaction jusqu'au niveau de 2 kg de sulfate d'ammoniaque. Lorsque la dose de sulfate d'ammoniaque atteint 3 kg, une interaction NK se manifeste (type C). A l'image des expériences que nous avons étudiées sur le palmier, il est possible que nous ayons intérêt à explorer les courbes de réponse pour des doses plus élevées d'azote. Deux kg d'engrais supplémentaires (un de sulfate d'ammoniaque et un de KCl d'un coût total de 40 f.) sont nécessaires pour provoquer l'interaction NK observée au

Coprah/arbre / kg
Moyenne 1970-1972

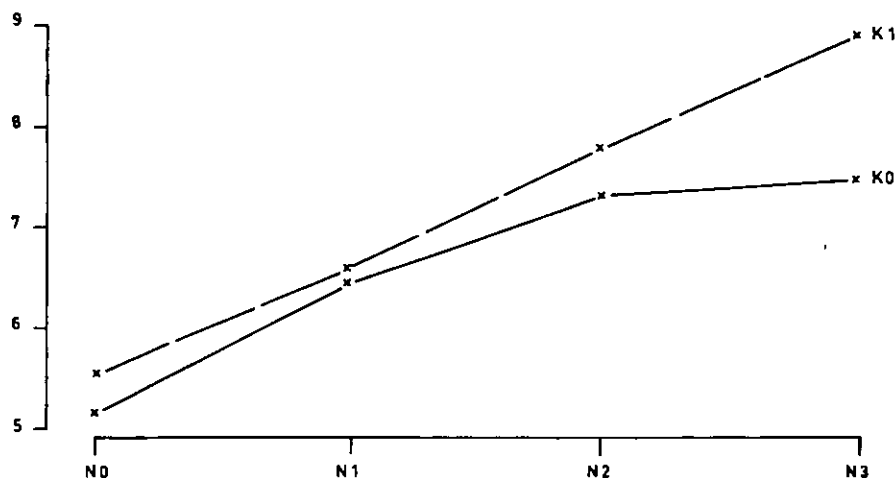


Fig. 1 Cocotier (Mozambique) Interaction NK.

niveau de 3 kg de sulfate d'ammoniaque. La différence de rendement N_3K_1 et N_2K_0 , soit 1,6 kg de coprah par arbre, représente environ 60 f.

Notons que ces expériences de la première génération ont été réalisées sur un matériel tout venant dont le potentiel est compris entre 2 et 3 t de coprah/ha au maximum.

Sur jeunes plantations hybrides (CC 16 Port-Bouet), on note actuellement des effets favorables de l'azote sur le développement: ces plantations (non en production) ont un potentiel compris entre 5 et 6 t de coprah/ha.

CC 16 – Matériel hybride (1972, Plantation 1970)

Circonférence au collet:

K_0 73 cm (100)	Mg_0 82 cm (100)	N_0 83 cm (100)
K_1 91** (125)	Mg_1 88 cm (107)*	N_1 88 cm (106)*
K_2 92** (125)	Mg_2 87 cm (106)*	

L'importance de l'effet observé, de 6% pour l'azote, est sensiblement égal à celui du magnésium et représente le quart environ de celui observé avec le potassium, ce qui peut laisser espérer une interaction au niveau de la production mais qui n'existe pas au niveau de la croissance.

A la génération antérieure, l'essai de Port-Bouet (CC 3 planté en 1954) qui fait l'objet du tableau 10, avait montré au contraire un effet dépressif de l'azote appliqué seul.

Longueur des feuilles en cm:

	N	(—)
K	254 (109)	259 (110)
(—)	210 (94)	234 (100)

Il est possible que l'intensification du potentiel par voie génétique conduite à des besoins plus importants en azote, modifiant même le sens des réponses.

4. Arachide

Au Sénégal, l'analyse de plus d'une centaine d'essais factoriels réalisés par l'IRHO a apporté extrêmement peu de cas d'interactions NK significatives.

Il y a à cela deux raisons principales:

- l'arachide étant une légumineuse, les réponses à l'azote sont rares et principalement localisées dans le nord du pays, où, par ailleurs, les réponses à la potasse sont nulles, même en année peu pluvieuse où le potassium aurait pu jouer un rôle dans la résistance à la sécheresse,
- les carences de potassium sont localisées essentiellement dans le centre et le Siné-Saloum où les réponses à l'azote sont faibles.

Un des essais les plus caractéristiques est celui de K. Demba Anta, réalisé en 1959, dont les résultats figurent au tableau 12.

On observe une interaction NK sur les rendements, plus forts avec soufre que sans soufre, en raison de l'existence d'une autre interaction SK.

Tableau 12. Sénégal – Arachide. Rendements en gousses (kg/ha)

Sous-parcelles sans soufre

	K ₀	K ₁	K ₂
N ₀	810	1180	1000
N ₁	933	1250	1270
N ₂	933	1220	1310
DS 5%: 176*, 1%: 243**			

Sous-parcelles avec soufre

	K ₀	K ₁	K ₂
N ₀	861	1240	1340
N ₁	1010	1320	1500
N ₂	833	1340	1640
DS 5%: 176*, 1%: 243**			

N = Nitrate d'ammoniaque 0/40 et 80 kg/ha

K = Chlorure de potassium 0/20 et 40 kg/ha

5. Discussion

La majorité des expériences réalisées par l'IRHO en Afrique de l'Ouest, sur le palmier à huile et le cocotier, montre une déficience principale en potassium et des réponses faibles à l'azote.

L'utilisation d'azote, en plus du potassium qui est nécessaire, apporte rarement des suppléments de rendement intéressants sur le plan économique.

Les effets les plus importants de l'azote dans le domaine de la rentabilité ont, par ailleurs, été obtenus en Mozambique, sur le cocotier (accroissements de rendements atteignant 40%) et même dans ce cas l'interaction NK n'a pas un intérêt économique très grand.

En Afrique de l'Ouest, et notamment en Côte d'Ivoire, au Cameroun et au Dahomey, les teneurs en N des feuilles des plantations adultes de palmiers se maintiennent au-dessus du niveau critique ($\pm 2,50\%$) sans apport d'azote, et les rendements à l'âge adulte restent stables, sans manifester de tendance nette à la baisse avec le vieillissement des arbres. Il en va tout différemment en Indonésie, par exemple, où l'on observe sur les plantations de 12 à 20 ans des teneurs en azote comprises entre 2 et 2,30%, bien que les sols puissent être considérés comme meilleurs.

Palmier à huile et cocotier sont normalement cultivés en association avec une légumineuse de couverture, généralement plus pure et plus vigoureuse qu'en Extrême-Orient. Ceci expliquerait que les réponses à l'azote sont parfois importantes en Extrême-Orient (Malaisie ou Indonésie) alors qu'elles sont faibles ou nulles en Afrique. Par ailleurs, il convient de noter que la majorité des plantations industrielles de palmier à huile de Côte d'Ivoire est établie sur forêt primaire alors qu'en Malaisie et en Indonésie, on est souvent en deuxième ou troisième génération de culture sur le même terrain. Il est donc possible que les besoins en azote s'accroissent ultérieurement en Afrique de l'Ouest lorsqu'on abordera la phase de replantation.

Les difficultés d'établissement d'un bilan de l'azote ont été discutées par *Ollagnier, Ochs et Martin [7]*.

L'absence d'interaction NK importante réside donc, dans le fait que pour l'instant on n'observe pas d'effet principal N important, l'alimentation azotée étant en général suffisante.

Toutefois, pour l'avenir, nous aurions intérêt

- 1° à étudier le remplacement des formes ammoniacales d'azote par des formes nitrriques pour éviter, éventuellement, un antagonisme entre NH_4^+ et K^+ au niveau de l'absorption,
- 2° à accroître les doses d'azote utilisées, au moins dans les expérimentations.

La faiblesse des interactions entre N et K est également observée dans des études commencées récemment à l'IRHO sur la caractérisation des conséquences des principales déficiences en éléments majeurs sur les contenus en acides aminés libres des feuilles (tableau 13).

Nos concentrations en acides aminés libres sont environ dix fois inférieures à celles trouvées par *Nowakowski* [4] opérant sur ryegrass cultivé sur un sol dont le contenu en K échangeable est comparable à celui des sols de La Mé (40 ppm en K échangeable).

Alors que *Nowakowski* obtient une diminution de 90% des quantités d'acides aminés libres par l'application de traitements N, Na ou K + Na, nous obtenons dans nos travaux des variations qui sont bien dans le sens généralement signalé par les auteurs:

Tableau 13. Acides aminés libres (en mg % grammes de matière fraîche)

	Palmier à huile				Cocotier	
	Côte d'Ivoire Dabou (CP 13)		Côte d'Ivoire La Mé (CP 7)		Côte d'Ivoire Port-Bouet (CC 16)	
	K Déficient	Normal	K Très déficient	Déficient	K Très déficient	Normal
N%	2,67	2,81	2,35	2,85	1,97	2,28
K%	0,554	0,962	0,340	0,519	2,15	0,79
A. aspartique	19,7	13,2	6,8	8,4	11,6	8,0
Thréonine	4,5	3,3	1,6	1,5	1,4	0
Serine	12,3	8,5	5,8	5,0	2,3	1,7
A. glutamique	16,5	12,3	8,8	11,1	25,1	12,2
Proline	5,5	4,1	2,1	1,3	5,5	0
Glycine	5,1	3,5	2,3	2,8	3,0	2,5
Alanine	21,7	24,5	5,5	5,1	3,8	2,3
Valine	3,4	3,0	1,0	0,7	1,1	1,0
Cystine	2,7	2,8	5,0	5,8	1,8	1,1
Méthionine	0,6	0,3	0,5	0	4,6	3,0
Isoleucine	2,1	1,2	0,3	0,3	1,0	1,0
Leucine	3,5	2,0	1,3	1,2	1,0	1,0
Tyrosine	3,9	3,1	3,9	3,0	0	0
Phénylalanine	4,0	2,5	0,8	1,5	1,0	0
Lysine	3,3	3,2	1,3	1,0	1,7	0
Arginine	4,4	1,4	3,0	0,7	2,6	0
Total	113,0	89,0	50,0	49,4	67,5	31,8
N lié aux protéines					1,10%	1,06%

accroissement des quantités d'acides aminés libres en conditions de carence potassique et, en particulier, d'arginine, mais les variations observées sont beaucoup plus faibles, parfois nulles.

Par ailleurs, de profondes déficiences en N et en P ont parfois peu de répercussions sur les contenus en acides aminés libres et sur les acides aminés liés aux protéines. Ainsi, par exemple:

<i>Brésil:</i>	<i>Déficience NP</i>	<i>Traitement P</i>
% N	2,13	2,48
% P	0,114	0,164
% K	1,00	0,86
Acides aminés libres, mg/100 m.s.	60	60
Acides aminés liés aux protéines en % de m.s.	20,2	20,4

On peut provisoirement émettre l'hypothèse que chez les palmier à huile et le cocotier, la stabilité du métabolisme serait plus grande que chez d'autres plantes, les différences observées à ce niveau étant plus faibles que ne le laisseraient supposer celles observées sur l'analyse des éléments minéraux.

6. Conclusions

1. L'absence d'interaction suffisamment nette (type C) pour justifier l'association des deux éléments dans la pratique courante proviendrait donc, d'une part, de la rareté des déficiences en N et, d'autre part, de la faiblesse de l'incidence de K sur le métabolisme de l'azote.

2. On trouve une fréquence élevée d'interactions de type B:

où N seul dépressif,

NK égal ou supérieur à K,

que l'on peut expliquer, d'une part, parce que K est le premier facteur limitant, d'autre part, par un antagonisme des ions NH_4^+ et K^+ qui nous invite à orienter les recherches vers l'utilisation des formes nitrates qui, en réduisant l'antagonisme au niveau de l'absorption, pourraient conduire à des interactions économiques de type C. Des interactions de ce type sont tout-à-fait conformes à celles citées par *Munson [3]*, qui décrit des fonctions rendement/concentration en azote présentant un maximum pour des concentrations moyennes en azote et des doses faibles de potassium, et des fonctions de tendance asymptotiques dont le niveau s'élève lorsque la dose de potassium utilisée s'accroît.

Selon la position de l'origine (état de richesse plus ou moins grand du témoin en N et en K) et les quantités expérimentées, on trouve alors des interactions de type différent.

3. On peut penser que l'utilisation de végétaux de type nouveau (hybrides nain \times grand pour le cocotier, par exemple), d'un potentiel très supérieur, provoquera des besoins en azote très accrus et que pourront alors être mises en évidence des interactions de type C.

4. Nos travaux montrent enfin l'existence d'interactions négatives qui s'expliquent par l'intervention d'un troisième facteur (magnésium au Cameroun, par exemple).

L'étude préliminaire de l'influence des déficiences sur les teneurs des feuilles en acides aminés libres et en azote lié aux protéines des feuilles laisse entrevoir des possibilités d'améliorer nos connaissances sur les interactions. Mais naturellement, c'est aussi à d'autres niveaux que devront porter nos investigations étant donné le rôle complexe joué par le potassium dans les synthèses organiques.

7. Références bibliographiques

1. *Garaudeaux J. et Chevalier H.*: Etude des interactions entre azote et potasse. Expérimentation et études agronomiques. Société Commerciale des Potasses d'Alsace. 219 p. (1967).
2. *Heathcote R. C.*: Fertilisation potassique dans la zone des savanes du Nigeria. *Revue de la Potasse* 16/57 (1972).
3. *Munson R. D.*: L'équilibre N-K. Une appréciation. *Revue de la potasse* 16/50 (1970).
4. *Nowakowski T. Z.*: Effects of potassium and sodium on the contents of soluble carbohydrates and nitrogenous compounds in grass. In: Potassium in Biochemistry and Physiology, International Potash Institute, Berne, p. 45-49 (1971).
5. *Ollagnier M. et Ochs R.*: La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux* 26, n° 6, p. 367-372 (1971).
6. *Ollagnier M. et Ochs R.*: Les déficiences en soufre du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux* 27, n° 4, p. 193-198 (1972).
7. *Ollagnier M., Ochs R. et Martin G.*: La fumure du palmier à huile dans le monde. *Fertilité* 36 (1970).
8. *Paterson E. C.*: Les aspects économiques de la fumure du palmier à huile. *Oléagineux* 25, n° 5, p. 255-263 (1970).
9. *Southern P. J.*: Sulphur deficiency in coconuts. *Oléagineux* 24, n° 4, p. 211-220 (1969).
10. *Uexkull H. R.*: Response of coconuts to (potassium) chloride in the Philippines. *Oléagineux* 27, n° 1, p. 13-19 (1972).

Interactions between Nitrogen and Potassium in the Nutrition of Tropical Oil Plants

M. Ollagnier, Directeur des Stations Expérimentales, Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (IRHO), Paris/France and *R. Ochs*, Directeur du Département Agronomie, (IRHO), Paris/France

Extended Summary

Study of interactions has taken a small place in the results of IRHO up to now (lesser on account of accuracy than at the level of main effects, and problems with associated anions or cations).

1. Oil palm

Two examples are taken, in Malaysia and the Ivory Coast. In a typical trial in the Ivory Coast, ammonium sulphate used alone decreases the yield very significantly, by 13%. The potassium effect (+33%) rises to +38% in the presence of nitrogen. One thinks of an antagonism at the absorption level (NH_4^+ acting as an antagonistic cation of K^+ , antagonism all the more severe as the soil is the more deficient in potassium).

When the potash deficiency is severe one finds a negative response to N, through depressed potash absorption.

When the potash nutrition is normal at the outset, the effect of KCl alone is influenced by the conditions of chlorine nutrition.

2. Coconut palm

Results of three trials (Dahomey and Ivory Coast) are reported. They show the same tendencies as in the case of oil palm:

- substantial depressing effect of ammonium sulphate used alone, in the 3 trials
- positive and significant effect of ammonium sulphate in the presence of potash in 2 trials.

In other trials (Polynesia, New-Hebrides) the effect of potash applied alone is the most important factor. The supplementary application of nitrogen either brings nothing or hardly covers the manuring expenses.

On young hybrid plantations one notices, on the contrary, favourable effects of nitrogen on the growth (+6% against 24% for the K effect) which shows great promise of an interaction, useful at the production level.

3. Peanut

In Senegal there are very few cases of significant $N \times K$ interaction (the K deficiency being located in areas with very low response to N).

Discussion and conclusions

The majority of experiments carried out by IRHO in West Africa on the oil palm and coco-nut palm show potash deficiency as the major deficiency, and low responses to nitrogen.

The use of nitrogen in addition to the necessary potash, seldom brings yield supplements that are interesting at the economic level.

The reason for this is that in West Africa, N contents of leaves of mature palm-trees are above the critical level, without nitrogen fertilizing (on the contrary it is not the same in Malaysia where soils have been more exhausted).

The absence of important $N \times K$ interaction resides therefore in the fact that for the time being no important main N effect is recorded, the nitrogen nutrition being generally speaking sufficient.

Experimentation and advisory extension work should embrace the following points:

1. Replacement of ammoniacal forms by nitrate forms in order to try to decrease the antagonism with K.
2. Raising the nitrogen rates in trials because in some cases one may have missed $N \times K$ interactions for lack of a sufficiently broad range of application rates.
3. The use of new types of hybrid plants having a very high potential will clearly raise the N needs and will alter the scope of the problem of interactions.

Influence de la nutrition potassique sur les fonctions physiologiques et la qualité de la production chez quelques plantes tropicales

P. Martin-Prével, ing. agr.*, Chef du Service de Physiologie,
Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), Paris/France

Résumé

On donne essentiellement les résultats de travaux récents sur bananiers cultivés en déficience potassique atténuée ou avec supplément potassique et déficience magnésienne:

- stimulation de la respiration par le potassium;
- effets de la déficience potassique sur les mesures de photosynthèse s'expliquant vraisemblablement par des blocages de stomates en position ouverte ou fermée, et affaiblissement de la photosynthèse effective;
- tendance à la diminution des migrations de la feuille vers le régime en cas de déficience potassique;
- augmentation des sucres réducteurs dans le même cas, tandis que le déséquilibre K/Mg augmente les sucres solubles totaux;
- diminution accentuée des sucres non réducteurs et augmentation des formes solubles de l'azote en cas de carence potassique accentuée.

En complément sont fournies quelques données récentes sur les relations entre potassium et qualité chez l'ananas (extrait sec, acidité, maladie du «jaune»), et le cotonnier (finesse des fibres).

1. Introduction

Bien que les voies physicochimiques immédiates en soient encore assez mal connues, les actions exercées par le potassium dans le fonctionnement des végétaux sont nombreuses et variées. On en trouve des énumérations sans cesse croissantes, et parfois contradictoires, dans les revues bibliographiques et les manuels de physiologie végétale. *Hewitt* [5], en 1958, signalait trois activités coenzymatiques précises du potassium. *Kursanov* et *Vyskrebentzeva* [6], au 8^e Congrès de l'Institut International de la Potasse, en mentionnaient onze, avant de décrire les étapes de la désorganisation cellulaire dans une plante normalement nourrie, que l'on prive brusquement de potassium jusqu'à ce qu'elle en meure. Cette désorganisation cause les symptômes visuels de la carence potassique.

Mais, en agriculture intensive, les déficiences sans symptômes apparents sont plus fréquentes, et en réalité plus dangereuses: elles diminuent le rendement et/ou la qualité de la production, mais sont décelables seulement par l'analyse ou l'expérimentation.

En collaboration avec plusieurs collègues*, nous avons recherché quelles modifications physiologiques pouvaient expliquer, chez le bananier, les effets défavorables de la déficience potassique sans symptômes (et, secondairement, ceux du déséquilibre K/Mg, responsable d'anomalies de qualité dans certaines plantations). Nous donnons ci-après un aperçu des résultats actuellement disponibles, complété par quelques données récentes sur les effets qualitatifs de la nutrition potassique chez d'autres cultures tropicales: notamment chez l'ananas, qui est comme le bananier très exigeant en potasse.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

Deux essais successifs «ombrage-nutrition» comportant chacun 36 bananiers, cultivés sur sable arrosé de solution nutritive, ont servi de support à l'expérimentation: essais AZA 31 et AZA 72. La technique de culture a été décrite antérieurement (*Martin-Prével et Charpentier [2, 9]*). Jusqu'à l'époque approximative de l'initiation florale (5 mois et demi), les plants recevaient tous une nutrition complète, afin que les traitements différentiels n'agissent ni sur la précocité de floraison ni sur le nombre des fruits. Puis ils étaient répartis en:

- Témoins (T) = formule nutritive normale.
- Déficients en potassium (K^-) = dose hebdomadaire de K ramenée à la moitié de la normale pendant quelques semaines, puis au cinquième de la normale, l'équilibre cations/anions étant rétabli par augmentation proportionnelle de Ca et Mg.
- Déséquilibre K/Mg (K^+ , Mg^-) = dose hebdomadaire de Mg divisée par 4, compensation ionique par augmentation de K qui se trouvait ainsi majoré de 40%.

En outre, ces traitements nutritionnels étaient factoriellement combinés avec trois niveaux de luminosité:

3/3 = lumière ambiante,

2/3 = interception d'environ un tiers de la lumière ambiante,

1/3 = interception d'environ deux tiers de la lumière ambiante

(à l'aide de claies en bambous fendus).

Quelques compléments seront fournis par un essai antérieur (essai BR) où alternaient simplement témoins et bananiers carencés en potassium, avec symptômes (dose de K réduite au dixième dès la plantation).

2.2. Mesures de respiration

Des segments rectangulaires de surface constante (deux fois $25 \times 12,2$ cm) étaient découpés à égale distance de la nervure centrale et de la mi-largeur du demi-limbe. Enroulés, en même temps qu'une bande de treillis de nylon afin de permettre la circu-

* Ont pris part aux expérimentations: J. Marchal, A. Lassoudière, J. M. Charpentier, A. Pinon, C. Teisson, ingénieurs à l'IFAC. L'emploi du carbone 14 a été supervisé par P. Lespinat et P. Marini, ingénieurs du CEA détachés auprès de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire. F. Amohi et J. Dessikoi, observateurs, ont participé aux manipulations et échantillonnages (Station IFAC d'Azaguié, Côte d'Ivoire). M. Folliot et H. Pelloquin ont effectué les analyses au laboratoire central de l'IFAC et les comptages au laboratoire d'Embryologie expérimentale du CNRS (Nogent-sur-Marne, France), que nous tenons à remercier.

lation des gaz, ils étaient placés dans des bocaux étanches immergés dans un bain-marie thermostaté, à l'obscurité, et reliés par un système de tuyaux, pompes et vannes à une arrivée commune d'air prélevé à l'extérieur d'une part, à un analyseur de CO_2 par absorption infrarouge d'autre part. Ce dernier, mis obligeamment à notre disposition par l'ORSTOM, était équipé pour l'analyse différentielle. Ses six voies permettaient de comparer à chaque expérience deux feuilles de trois bananiers, pour un même côté du limbe: feuilles de rang IV et VII, en prenant soit les trois niveaux de nutrition pour un même éclairage, soit les trois éclairages pour un même niveau de nutrition. L'autre demi-limbe des mêmes feuilles d'un même bananier faisait l'objet d'une seconde expérience. Cette technique n'a été utilisée que dans l'essai AZA 72, sur bananiers peu avant la floraison.

2.3. Mesures de photosynthèse et de migration du carbone

Les techniques originales utilisées ont été décrites par ailleurs (*Martin-Prével et al. [10]*) et pourront être présentées lors de la visite de la station de l'Anguédédou. Leurs traits essentiels sont seuls rappelés ici:

2.3.1 *Le potentiel photosynthétique* a été déterminé par le taux de fixation du $^{14}\text{CO}_2$ en 10 minutes par des rondelles détachées: 60 rondelles par expérience, dans une chambre à plateau humide tournant sous un cercle de lampes. On a utilisé les feuilles de rang IV et VII, sur bananiers fleuris dans le cas de l'essai 31, peu avant floraison dans le cas de l'essai 72. Un filtre amovible permettait éventuellement de diminuer la lumière de 75% sur la moitié du plateau.

2.3.2. *La migration du carbone* a été étudiée dans l'essai 31, à partir de la feuille de rang VI. Celle-ci, maintenue en place sur la plante, photosynthétisait pendant 90 minutes en présence de $^{14}\text{CO}_2$, à l'intérieur d'une gaine transparente étanche, montée sur un cadre rigide délimitant un volume sensiblement constant, et placée sous un châssis éclairant de 2000 watt, avec interposition d'une nappe d'eau courante de quelques centimètres pour limiter l'échauffement. Des fruits étaient prélevés 48 heures, puis 7 jours après l'expérience. Trois châssis permettaient de traiter trois bananiers le même jour.

2.3.3. *La photosynthèse effective* était déterminée à l'issue de ces mêmes expériences, par prélèvement de 14 rondelles sur chaque feuille.

2.3.4. *Le groupement des bananiers* pour ces diverses expériences, dans le cas de l'essai 31, a été opéré selon un dispositif permettant de constituer quatre répétitions de trois «blocs» comportant chacun trois bananiers ayant sensiblement fleuri à la même date. Le décalage individuel des floraisons n'a toutefois pas permis la réalisation du lattage entièrement balancé qui aurait été souhaitable, et il a fallu se contenter de répartir l'ensemble en deux groupes de six blocs incomplets partiellement balancés.

2.3.5. Les rondelles de feuilles étaient lyophilisées, puis la radioactivité déterminée par comptage au scintillateur après combustion dans l'oxygène et piégeage du CO_2 . Pour les autres organes on a utilisé la fixation par l'éthanol bouillant, et l'extraction des matières solubles par l'éthanol à 80% bouillant; puis comptage direct au scintillateur sur les extraits solubles, après combustion dans l'oxygène pour l'insoluble. Les sucres réducteurs, les sucres solubles hydrolysables, le glucose de ces deux fractions ont été déterminés par colorimétrie sur autoanalyseur.

3. Influence de la nutrition potassique sur la respiration

Le rang foliaire n'exerçant pas d'influence, et la luminosité sous laquelle la plante a poussé n'interférant pas avec les effets de la nutrition, nous donnons seulement la moyenne des quatre échantillons prélevés sur chaque bananier, dans les sept expériences qui peuvent être prises en considération (tableau 1).

Tableau 1. Activité respiratoire en fonction de la nutrition potassique (AZA-72)

Numéro du groupe de trois bananiers	T			K ⁻			K ⁺ , Mg ⁻		
	R	tK	tMg	R	tK	tMg	R	tK	tMg
I	0,63	4,6	0,31	0,60	3,4	0,39	0,69	4,7	0,17
II	0,69	4,4	0,29	0,55	3,5	0,40	0,74	4,5	0,21
III	0,62	4,2	0,37	0,49	3,2	0,46	0,54	5,0	0,20
IV	0,57	4,6	0,37	0,57	3,9	0,45	0,67	5,4	0,23
V	0,64	4,4	0,35	0,61	3,6	0,43	0,74	4,9	0,19
VI	1,04	4,1	0,38	0,65	3,4	0,46	0,58	4,3	0,19
VII	0,96	3,8	0,35	0,74	3,4	0,44	0,80	4,4	0,20
Moyenne	0,73*	4,3	0,35	0,61*	3,5	0,43	0,68	4,6	0,20

* Différence entre ces deux valeurs significative au seuil $P=0,05$.

R = respiration en ml de $\text{CO}_2/\text{h}/\text{dm}^2$.

tK, tMg = teneurs en K et Mg % de matière sèche.

L'effet dépressif de la déficience potassique ainsi mis en évidence s'oppose à des résultats antérieurs, par lesquels nous avons constaté une respiration accrue, plus conforme aux données bibliographiques courantes, mais sur des plants gravement carencés, avec symptômes foliaires.

Pour le vérifier, nous avons badigeonné avec du sulfate de potassium et avec de l'eau des portions alternées de feuilles de bananiers déficients, une heure environ avant les mesures. Malgré la faible absorption du sel, la stimulation de respiration est importante (tableau 2). Lors de la première expérience, le mouillant utilisé dans le but d'améliorer la pénétration de K a exercé un effet imprévu, par stimulation de carboxylation ou par piégeage propre: chez les portions traitées à l'eau additionnée de mouillant seul, l'émission de CO_2 a été remplacée par une absorption (non mesurable avec les réglages choisis). Mais les portions traitées à SO_4K_2 ont conservé des valeurs positives. Lors de la seconde expérience, la stimulation est du même ordre de grandeur que la différence entre (T) et (K⁻) au tableau 1.

Tableau 2. Effet de SO_4K_2 sur le taux respiratoire de la feuille VI de bananiers déficients

Numéro du bananier	Avec addition de mouillant						Sans addition de mouillant					
	16		16		35		35		41		41	
	extérieure		intérieure		extérieure		intérieure		extérieure		intérieure	
Portion du demi-limbe	R	tK	R	tK	R	tK	R	tK	R	tK	R	tK
Zones témoins	< 0	2,7	< 0	3,5	< 0	2,8	0,88	3,6	0,52	2,8	0,66	3,7
Zones + K	0,08	2,7	0,26	3,7	0,23	2,9	0,97	4,0	0,63	3,0	0,76	3,7

Le rôle stimulateur de K sur la respiration était cependant déjà connu (Epstein [3]). Lorsque la carence potassique augmente la respiration au lieu de la diminuer, c'est à cause d'un gonflement des mitochondries (Kursanov et Vyskrebentzeva [6]) qui n'est sans doute qu'une conséquence indirecte de la carence aiguë. Le traitement (K⁺, Mg⁻) donne des résultats irréguliers, peut-être dus à l'opposition des deux facteurs du déséquilibre.

4. Influence de la nutrition potassique sur l'activité photosynthétique

4.1. Expériences de 10 minutes sur rondelles détachées dans l'essai AZA 72

Puisque ce n'est pas un gaspillage énergétique par excès de respiration qui est responsable de l'affaiblissement général des bananiers déficients en potassium, au contraire, il est naturel de penser à une diminution de la photosynthèse: soit par réduction du potentiel fonctionnel du chloroplaste, soit par diminution de son fonctionnement effectif.

Les expériences réalisées sur l'essai AZA 72, aux mêmes dates que les mesures respiratoires, infirment catégoriquement la première hypothèse. Les rondelles étant prélevées le matin sous l'eau, puis placées dans les conditions optimales d'attente (flottaison sur l'eau, sous lumière tamisée), les plants déficients en potassium donnent plus souvent une photosynthèse supérieure à celle du témoin qu'une photosynthèse inférieure (tableau 3). En fait, les rondelles provenant de feuilles déficientes présentent une variabilité beaucoup plus grande que les rondelles de feuilles témoins. Cela prouve: a) Que le *potentiel fonctionnel des chloroplastes n'est pas affaibli* par une déficience potassique modérée (ni par un déséquilibre K/Mg modéré).

b) Que, dans le cas de la déficience potassique, *le fonctionnement effectif de l'appareil photosynthétique* est davantage soumis aux influences d'ordre externe ou interne, parmi lesquelles il y a tout lieu de penser que les *stomates* jouent un rôle important.

Tableau 3. Potentiel photosynthétique à 17 500 lux dans l'essai AZA-72 (chaque valeur est la moyenne de 8 rondelles, exprimée en pour-cent de la moyenne générale dans l'expérience considérée)

Traitement nutrition		T		K ⁻		K ⁺ , Mg ⁻	
		IV	VII	IV	VII	IV	VII
Expérience	Traitement luminosité						
I	3/3	46 (f III)	117	104	143	123	67
II	2/3	47	83	36	289	47	98
III	1/3	17	129	159	135	18	142
IV	1/3	27	92	113	202	78	88
V	2/3	65	152	39	75	65	204
VI	3/3	65	90	106	160	102	77
Moyenne		45	110	93	167	72	112

4.2. Expériences de 10 minutes sur rondelles détachées dans l'essai AZA 31

Ces mesures, opérées vers le milieu de l'intervalle floraison-récolte, confirment et précisent les résultats de l'essai AZA 72 (tableau 4). On avait alors dédoublé les expériences réalisées sur chaque « bloc », et pris moins de précautions pour l'attente des rondelles après leur prélèvement; mais pour chaque séance 50% des rondelles recevaient une lumière réduite des trois quarts.

Tableau 4. Potentiel photosynthétique en début et milieu de matinée et sous deux éclairagements dans l'essai AZA-31

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Feuille IV				Feuille VII			
		20 000 lux		5000 lux		20 000 lux		5000 lux	
		7-8 h.	9-10 h.	7-8 h.	9-10 h.	7-8 h.	9-10 h.	7-8 h.	9-10 h.
3/3	T	129	118	44	43	158	159	74	66
	K ⁻	129	52	47	27	133	174	56	53
	K ⁺ , Mg ⁻	103	89	34	55	123	204	64	88
2/3	T	110	98	30	57	238	205	87	74
	K ⁻	133	132	50	61	121	97	55	48
	K ⁺ , Mg ⁻	104	146	38	58	128	133	61	46
1/3	T	133	194	55	82	156	135	49	65
	K ⁻	116	67	41	35	223	138	100	63
	K ⁺ , Mg ⁻	102	142	33	51	282	205	95	96
Moyenne	T	124	137	43	60	184	166	70	69
	K ⁻	126	83	46	41	159	136	70	55
	K ⁺ , Mg ⁻	103	126	35	54	178	180	74	77
3/3	Moyenne	120	86	42	42	138	179	65	69
2/3		116	125	39	59	162	145	68	56
1/3		117	134	43	56	220	159	81	75

Chaque valeur est la moyenne de 16 rondelles (4 rondelles × 4 bananiers), dont la radioactivité a été exprimée en pour-cent de la moyenne générale du « bloc incomplet » auquel chacune appartenait.

Les expériences réalisées en début de matinée (prélèvement vers 7-8 h.) ne permettent pas, compte tenu de la variabilité individuelle encourue dans ce genre de mesures, de conclure à des différences de fixation de ¹⁴CO₂ selon les traitements, sauf peut-être un léger affaiblissement chez (K⁺, Mg⁻) dans le seul cas de la feuille IV.

Les expériences réalisées un peu plus tard (prélèvement vers 8-10 h.), chaque fois sur les mêmes feuilles des mêmes bananiers, montrent une fréquente diminution de la fixation de CO₂ chez les rondelles provenant des bananiers (K⁻) par rapport aux deux autres traitements nutritionnels. On peut penser que cette situation est appelée à persister sinon s'aggraver au long de la journée, les causes pouvant être (sans que l'une des hypothèses exclue l'autre):

- soit un encombrement du chloroplaste par les produits immédiats de la photosynthèse, qui en seraient évacués moins facilement lorsque le taux potassique de la cellule est insuffisant;
- soit une réduction du degré d'ouverture des stomates intervenant plus tôt.

4.3. Expériences de 90 minutes sur feuilles en place

Les comptages sur rondelles tendent à confirmer les résultats ci-dessus (tableau 5). Encore faut-il préciser que, dans le but d'obtenir la radioactivité la plus élevée possible dans la feuille en vue de la mesure des migrations, un supplément de CO₂ non marqué était administré après les 45 premières minutes pour «rincer» l'enceinte. Le maintien d'un taux constant de CO₂ marqué au cours des 90 minutes, s'il avait été possible, aurait certainement accentué les différences.

Tableau 5. Photosynthèse effective en 90 minutes et teneurs en K et Mg dans l'essai AZA 31

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Photosynthèse				Teneurs en K et Mg			
		Moyennes brutes		Moyennes ajustées		ADFF		L I-III	
		(a)	(b)	(a)	(b)	tK	tMg	tK	tMg
3/3	T	179	140	163	4,1	0,35	3,1	0,33	
	K ⁻	218	258	251	3,6	0,39	2,3	0,41	
	K ⁺ , Mg ⁻	334	266	224	4,3	0,21	3,1	0,16	
2/3	T	218	218	210	3,9	0,34	3,1	0,30	
	K ⁻	209	225	217	3,2	0,38	2,3	0,42	
	K ⁺ , Mg ⁻	180	245	238	4,2	0,24	3,5	0,13	
1/3	T	252	321	313	3,9	0,35	2,6 (1b)	0,32	
	K ⁻	222	139	162	3,3	0,42	3,0	0,31	
	K ⁺ , Mg ⁻	308	282	275	4,2	0,25	3,3	0,15	
Moyenne	T	216	226	229	4,0	0,35	2,9*	0,32	
	K ⁻	216	207	210	3,4	0,40	2,5	0,38	
	K ⁺ , Mg ⁻	274	251	246	4,3	0,24	3,3	0,15	
3/3	Moyenne	244	221	230	4,0	0,32	2,8	0,30	
2/3		202	229	222	3,8	0,32	2,9	0,28	
1/3		261	247	250	3,8	0,34	3,0	0,26	

Photosynthèse: milliers de coups/minute, moyennes de 56 rondelles (14 rondelles × 4 bananiers).

Moyennes brutes et moyennes ajustées en fonction du dispositif en blocs incomplets.

(a) = sur toutes les valeurs observées

(b) = en remplaçant une valeur anormale, due à un coup de chaleur accidentel sur un bananier 3/3 (K⁺, Mg⁻), par son estimation suivant le mode de calcul des parcelles manquantes.

Teneurs en K et Mg: moyennes de 2 à 4 bananiers (sauf pour 1/3 T, 1 bananier) en raison d'accidents survenus à certains échantillons.

ADFF = teneurs de l'avant-dernière feuille au stade floraison (bande de limbe médiane).

L I-III = teneurs de l'ensemble des limbes des trois dernières feuilles au stade récolte.

Mais on observe ici une interaction entre lumière et nutrition. L'effet dépressif du manque de potassium se marque seulement en luminosité réduite au tiers. En pleine lumière on observe, au contraire, une photosynthèse supérieure à celle du témoin. Le supplément de potassium du traitement (K⁺, Mg⁻), malgré le déficit magnésien, augmente la photosynthèse en pleine lumière et agit peu en lumière réduite.

4.4. Discussion

Ces résultats permettent d'incriminer les mouvements des *stomates* sans cependant éliminer l'hypothèse d'un *engorgement* par les corps synthétisés ou par des sous-produits métaboliques.

On connaît l'importance du comportement stomatal chez le bananier; c'est lui qui impose de prélever sous l'eau pour les expériences sur rondelles isolées, sous peine de fermeture irréversible (*Aubert [1]*). La carence potassique a la réputation de provoquer une transpiration exagérée par maintien des stomates à l'état ouvert. Cette situation expliquerait la photosynthèse accrue chez les bananiers de pleine lumière dans les expériences de 90 minutes, qui se déroulaient au milieu de la nuit après avoir «réveillé» les stomates par une heure d'illumination préalable, et chez un grand nombre de rondelles dans les expériences de 10 minutes en début de matinée. Mais en fait, le manque de potassium aurait plutôt pour effet de ralentir les mouvements des stomates que de les maintenir ouverts; un blocage en position fermée pourrait donc expliquer aussi l'effet dépressif de la déficience potassique dans les expériences de 10 minutes en fin de matinée, après une réaction – lente mais non nulle – à un excès de transpiration, et chez les bananiers de luminosité réduite dans les expériences de 90 minutes. Dans les deux types d'expériences, on remarque chez l'ensemble des bananiers (K^-) une plus grande fréquence de valeurs extrêmes, très faibles et très fortes, qui s'expliquerait facilement par des états stomataux bloqués.

Il ne nous a toutefois pas été possible de vérifier cette hypothèse lors des mesures par infiltration de mélanges isopropanol-eau réalisées par la suite. Nous avons seulement constaté une tendance à une plus grande ouverture chez le traitement (K^+ , Mg^-) à rapprocher de son activité photosynthétique supérieure dans les expériences de longue durée.

En revanche, les résultats concernant la migration vers le régime étayeraient plutôt la seconde hypothèse. Le déplacement des métabolites à l'intérieur des organites cellulaires peut cependant réagir différemment de leur déplacement sur plusieurs mètres dans les tissus conducteurs.

5. Migration du carbone de la feuille au régime

5.1. Radioactivité dans les fruits après 2 et 7 jours

Rapportées au ^{14}C effectivement fixé par la feuille, les quantités retrouvées dans l'extrait soluble et dans l'insoluble des peaux et pulpes apparaissent influencées par les traitements nutritionnels, mais d'une manière différente selon la luminosité ambiante (tableaux 6 et 7). Assez net chez les bananiers de pleine lumière, l'effet dépressif de (K^-) s'atténue en luminosité 2/3, et s'inverse en luminosité 1/3. Cette inversion, à laquelle on ne voit guère d'explication possible, est douteuse car due à des chiffres anormalement élevés pour deux bananiers sur quatre. Mais l'effet dépressif et son atténuation se manifestent plus régulièrement (avec toutefois un chiffre anormalement faible en pleine lumière: dans ce domaine également les bananiers déficients en potassium se montrent sujets à une fréquence accrue des valeurs extrêmes).

Ces résultats rappellent un fait connu en agriculture générale: la meilleure efficacité de la fumure potassique dans les années de faible luminosité. On constate ici un besoin de potassium plus faible pour obtenir la même conduction en luminosité réduite.

Le déséquilibre K/Mg n'exerce pas d'effet notable sur le taux de migration en 2 et 7 jours.

Tableau 6. Radioactivité du fruit deux jours après la photosynthèse (radioactivité de 1 g de matière fraîche exprimée en pour-mille de celle d'une rondelle de feuille). Moyennes sur 4 bananiers.

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Peau			Pulpe		
		soluble	insoluble	totale	soluble	insoluble	totale
3/3	T	4,3	1,5	5,8	17,9	22,2	40,1
	K ⁻	1,8	0,8	2,6	8,2	7,3	15,5
	K ⁺ , Mg ⁻	2,5	0,8	3,4	16,7	14,9	31,6
2/3	T	5,3	1,2	6,5	21,6	28,1	49,7
	K ⁻	4,1	1,4	5,5	17,6	27,3	44,9
	K ⁺ , Mg ⁻	4,7	1,4	6,0	18,1	25,6	43,7
1/3	T	2,7	1,7	4,4	13,4	23,6	37,0
	K ⁻	5,4	0,7	6,1	16,0	19,6	35,6
	K ⁺ , Mg ⁻	2,2	1,3	3,4	3,8	22,1	25,9
Moyenne	T	4,1	1,5	5,6	17,6	24,6	42,3
	K ⁻	3,8	1,0	4,7	13,9	18,1	32,0
	K ⁺ , Mg ⁻	3,1	1,2	4,3	12,9	20,9	33,7
3/3	Moyenne	2,9	1,1	4,0	14,2	14,8	29,1
2/3		4,7	1,3	6,0	19,1	27,0	46,1
1/3		3,4	1,2	4,7	11,1	21,8	32,8

Tableau 7. Radioactivité du fruit 7 jours après la photosynthèse (radioactivité de 1 g de matière fraîche exprimée en pour-mille de celle d'une rondelle de feuille). Moyennes sur 4 bananiers

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Peau			Pulpe		
		soluble	insoluble	totale	soluble	insoluble	totale
3/3	T	4,8	4,1	8,9	12,3	76,9	89,3
	K ⁻	3,6	3,9	7,5	8,8	43,3	52,1
	K ⁺ , Mg ⁻	4,7	4,1	8,8	15,6	77,5	93,1
2/3	T	4,9	6,0	10,9	13,6	114,2	127,8
	K ⁻	3,9	7,6	11,5	12,5	99,9	112,4
	K ⁺ , Mg ⁻	5,4	5,1	10,4	18,2	94,7	112,9
1/3	T	3,2	6,9	10,1	7,9	77,3	85,2
	K ⁻	6,3	8,8	15,1	14,4	150,3	164,7
	K ⁺ , Mg ⁻	4,0	5,2	9,2	10,3	81,9	92,2
Moyenne	T	4,3	5,7	10,0	11,3	89,5	100,8
	K ⁻	4,6	6,8	11,4	11,9	97,8	109,7
	K ⁺ , Mg ⁻	4,7	4,8	9,5	14,7	84,7	99,4
3/3	Moyenne	4,4	4,0	8,4	12,2	65,9	78,2
2/3		4,7	6,2	10,9	14,8	102,9	117,7
1/3		4,5	7,0	11,5	10,9	103,2	114,0

5.2. Radioactivité dans les fruits à la récolte

A ce stade le taux de marquage de la fraction soluble n'offre plus grand intérêt. Celui de l'insoluble a été rapporté à la radioactivité de la même fraction au 7^e jour (tableau 8).

Tableau 8. Evolution de la radioactivité de la fraction insoluble du fruit du 7^e jour après photosynthèse à la récolte (radioactivité par gramme d'insoluble à la récolte exprimée en pour-cent de la radioactivité du 7^e jour)

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Peau	Pulpe
3/3	T	160	95
	K ⁻	141	97
	K ⁺ , Mg ⁻	224	111
2/3	T	149	99
	K ⁻	134	87
	K ⁺ , Mg ⁻	170	102
1/3	T	154	102
	K ⁻	127	82
	K ⁺ , Mg ⁻	142	89
Moyenne	T	154	99
	K ⁻	134	89
	K ⁺ , Mg ⁻	179	101
3/3	Moyenne	175	101
2/3		151	96
1/3		141	91

Dans la peau, l'accumulation s'est notablement poursuivie. Mais elle a été nettement plus faible chez (K⁻), quelle que soit la luminosité, tandis qu'elle s'est trouvée accrue chez (K⁺, Mg⁻), en pleine lumière seulement.

Dans la pulpe, la radioactivité accumulée dans l'insoluble a peu évolué: augmentation faible ou diminution, avec une interaction plus complexe de la lumière. L'ombre tend à majorer les résultats chez le témoin, mais à exercer un effet inverse chez (K⁺, Mg⁻) et chez (K⁻), ce dernier devenant nettement inférieur en lumière atténuée.

6. Effets sur quelques constituants biochimiques du bananier

6.1. Sucres solubles dans le fruit (essai AZA 31)

Il s'agit de la pulpe et de la peau des fruits prélevés 2 et 7 jours après les séances de photosynthèse: donc vers le milieu de l'intervalle floraison-récolte. Leurs teneurs individuelles en glucose libre, en sucres réducteurs, en sucres non réducteurs et en glucose appartenant à ces derniers, sont trop irrégulières pour qu'aucune tendance puisse en être dégagée. Les proportions de glucose parmi les sucres réducteurs d'une part, parmi les sucres non réducteurs d'autre part, sont au contraire assez régulières mais ne diffèrent pas en fonction des traitements.

On relèvera toutefois la tendance du traitement (K⁺, Mg⁻) à l'augmentation des sucres solubles totaux, en toutes luminosités dans le cas de la peau (tableau 9); en luminosité réduite seulement dans le cas de la pulpe (tableau 10). Elle est à rapprocher des anomalies qualitatives du régime dans le déséquilibre K/Mg,

Mais l'effet de la déficience potassique est très net sur la proportion des sucres réducteurs dans les sucres solubles totaux (tableaux 9 et 10). Son augmentation montre une difficulté à franchir les premiers stades de la polymérisation, qui relèverait plutôt des rôles coenzymatiques du potassium, et serait la première étape vers la «maigreur» des régimes fournis par les bananiers déficients.

Tableau 9. Glucides solubles de la peau du fruit (vers le milieu de l'intervalle floraison-récolte) (moyennes de 8 échantillons [4 bananiers × 2 dates] en millimoles de sucres réducteurs par kilo de matière fraîche)

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Sucres réducteurs (SR)	Pour-cent glucose dans SR	Sucres non réducteurs (SNR)	Pour-cent glucose dans SNR	Sucres solubles totaux (SST)	Pour-cent de SR dans SST
3/3	T	2,3	17	6,2	46	8,5	26
	K ⁻	2,5	18	6,1	45	8,6	29
	K ⁺ , Mg ⁻	2,8	16	7,5	46	10,3	28
2/3	T	2,6	14	4,9	43	7,5	35
	K ⁻	2,6	17	4,3	43	6,9	38
	K ⁺ , Mg ⁻	2,4	18	5,9	45	8,3	30
1/3	T	2,0	19	3,9	45	5,9	34
	K ⁻	2,4	15	4,3	44	6,7	36
	K ⁺ , Mg ⁻	2,2	16	5,5	45	7,7	29
Moyenne	T	2,3	17	5,0	45	7,3	32
	K ⁻	2,5	16	4,9	44	7,4	35
	K ⁺ , Mg ⁻	2,5	17	6,3	46	8,8	29
3/3	Moyenne	2,5	17	6,6	46	9,1	28
2/3		2,6	16	5,0	44	7,6	34
1/3		2,2	17	4,6	45	6,8	33

Tableau 10. Glucides solubles de la pulpe du fruit (vers le milieu de l'intervalle floraison-récolte) (moyennes de 8 échantillons [4 bananiers × 2 dates] en millimoles de sucres réducteurs par kilo de matière fraîche)

Traitement luminosité	Traitement nutrition	Sucres réducteurs (SR)	Pour-cent glucose dans SR	Sucres non réducteurs (SNR)	Pour-cent glucose dans SNR	Sucres solubles totaux (SST)	Pour-cent de SR dans SST
3/3	T	1,9	30	12,6	48	14,5	13
	K ⁻	2,1	25	10,7	48	12,8	16
	K ⁺ , Mg ⁻	1,8	23	11,3	47	13,0	15
2/3	T	1,7	26	10,0	47	11,8	15
	K ⁻	2,0	23	9,5	46	11,5	18
	K ⁺ , Mg ⁻	1,8	31	12,5	48	14,3	13
1/3	T	1,4	27	7,3	48	8,7	17
	K ⁻	1,7	27	7,8	46	9,5	19
	K ⁺ , Mg ⁻	1,8	30	9,6	47	11,5	17
Moyenne	T	1,7	28	10,0	48	11,6	15
	K ⁻	1,9	25	9,3	47	11,2	18
	K ⁺ , Mg ⁻	1,8	28	11,1	47	12,9	15
3/3	Moyenne	1,9	26	11,5	48	13,4	15
2/3		1,8	27	10,7	48	12,5	16
1/3		1,6	28	8,2	47	9,9	18

Tableau 11. Influence d'une carence potassique accusée sur la composition des organes du bananier. Teneurs en millimoles de sucres réducteurs et en milli-équivalents par kilo de matière fraîche

Stade	Organe	Trait ^t	Sucres réducteurs (SR)	Pour-cent glucose dans SR	Sucres non réducteurs (SNR)	Pour-cent glucose dans SNR	Sucres solubles totaux (SST)	Pour-cent de SR dans SST	Azote ammoniacal	Azote aminé libre*
Non fleuri	Limbes	T	24	29	59	36	83	29	6,2	3,3
		K-	32	29	54	32	86	37	7,8	4,1
	Pétioles + nervures	T	50	55	9	0	59	85	7,0	0,7
		K-	87	60	4	0	91	96	6,8	0,4
	Gaines (= pseudotrunc)	T	30	54	3	0	33	92	6,7	n.d.
		K-	49	60	0	0	49	100	8,3	n.d.
Récolte	Limbes	T	26	20	61	35	87	30	4,6	3,9
		K-	54	37	41	23	95	57	6,6	n.d.
	Pétioles + nervures	T	26	50	13	15	39	67	3,7	0,5
		K-	68	55	9	0	77	85	6,5	0,7
	Gaines	T	29	59	10	32	39	73	4,0	0,2
		K-	53	82	1	0	54	98	6,2	0,5
	Souche (cortex)	T	0,07	53	10,5	48	10,6	0,7	8,3	n.d.
		K-	0,16	62	22,8	52	23,0	0,7	22,6	n.d.
	Souche (p. interne)	T	0,11	7	14,7	22	14,8	0,7	4,0	n.d.
		K-	0,46	48	35,1	40	35,6	1,3	9,6	n.d.
	Hampe interne	T	12	55	12	54	24	50	6,6	n.d.
		K-	47	64	7	22	54	88	18,5	1,0
	Hampe externe	T	12	48	16	58	28	45	10,4	2,3
		K-	44	54	10	37	54	81	13,7	1,6
	Peau	T	3,9	32	7,3	58	11,2	34	7,9	n.d.
		K-	6,2	37	6,6	43	12,8	48	14,6	n.d.
	Pulpe	T	2,3	45	26,5	45	28,8	8	19,1	2,6
		K-	2,3	43	12,2	43	14,5	16	19,1	2,0

* n.d. = non dosable avec précision par la méthode utilisée (somme ammoniacal + aminé par formol-titration).

6.2. Sucres solubles et constituants azotés des principaux organes sous carence potassique accusée (essai BR)

Les dosages réalisés sur cet essai complètent les précédents en montrant l'effet d'une déficience infiniment plus accentuée, sur la plante avant floraison et au stade récolte (tableau 11).

La part du glucose dans les sucres réducteurs et dans les sucres non réducteurs n'est toujours pas affectée d'une manière significative. Mais les sucres réducteurs subissent une augmentation considérable dans tous les organes, à l'exception de la pulpe où ils restent inchangés. Les sucres non réducteurs, au contraire, sont toujours diminués, et cela plus particulièrement dans les deux organes riches en amidon: les gaines et la pulpe. Cette dernière est la seule à montrer une diminution des sucres solubles totaux, ceux-ci étant happés par une amylogénèse dont le principal facteur limitant paraît bien être la condensation des oses en oligosaccharides.

En parallèle, l'accumulation d'azote sous forme soluble traduit les difficultés de la protéogénèse.

7. Potassium et qualité chez des productions autres que la banane

Nous nous bornerons à citer quelques données récentes émanant d'instituts du GERDAT.

7.1. Ananas

L'action de la fumure potassique sur les deux constituants principalement utilisés comme critères de qualité, à savoir les sucres (le plus souvent déterminés par l'*extrait Brix*) et l'acidité, est connue depuis très longtemps. Elle augmente presque toujours l'acidité, ce qui est en général favorable, diminue l'accident de «*craquelure*» en Guinée (Py et al. [11]), augmente de plus dans certains cas l'*extrait sec* et d'autres critères secondaires (Martin-Prével et al. [8]). Depuis, en Martinique, Lacauilhe et Gicquiaux [7] ont confirmé ces résultats et mis en évidence une relation directe entre la teneur du fruit en K et son acidité. Au Cameroun (Gaillard et al. [4]) et en Côte d'Ivoire (Tisseau, Lacauilhe, Teisson [nombreux documents internes de l'IFAC]) on a constaté les mêmes effets d'amélioration qualitative, tant sur l'ananas à cycle court destiné à l'exportation en frais que sur l'ananas à cycle long destiné à la conserverie; la teneur en *acide ascorbique* est également améliorée.

La responsabilité du manque de potassium a enfin été récemment établie avec netteté par l'analyse foliaire sur plusieurs cas d'une anomalie appelée «jaune», qui est une sorte de surmaturité, dans des plantations privées de Côte d'Ivoire.

Le taux de K et le rapport K/N dans la feuille D (tableau 12) sont alors inférieurs à la normale (Marchal et al. [documents intérieurs IFAC]).

Tableau 12. Potassium et maladie du «jaune» de l'ananas

	Analyses sur feuilles «D»	
	tK	rapport K/N
Plantations atteintes	{ 2,31 1,52	2,1 1,7
Valeurs normales	3,0 à 4,3	2,3

7.2. Coton

Les données obtenues au Dahomey par l'IRCT en 1971 montrent que (tableau 13):

- une fumure NSPB, sans potassium, déprécie très sensiblement la maturité des fibres, et corrélativement leur finesse, souvent avant même qu'il y ait un effet sensible de la déficience potassique sur le volume de la production;
- l'addition de potassium à cette fumure de base compense cet effet dépressif proportionnellement à la dose de K apportée et même, pour les doses les plus fortes, améliore les caractéristiques.

(Données de *M. Joly* transmises par *M. Braud*).

Tableau 13. Influence de la fertilisation potassique sur la maturité et la finesse des fibres du cotonnier

Fumure de base	Doses de K ₂ O kg/ha	Première récolte		Deuxième récolte		Troisième récolte		Quatrième récolte		Cinquième récolte	
		mat.	fin.	mat.	fin.	mat.	fin.	mat.	fin.	mat.	fin.
0 (témoin)	0	75	4,05	64	3,20	63	3,15	40	2,55	-	-
N=52 S=23 P=25 B=1	0	66	3,30	60	3,10	53	2,95	12	< 2,55	-	< 2,55
	30	72	3,70	71	3,60	53	2,95	57	2,95	6	< 2,55
	60	73	3,75	71	3,65	63	3,20	56	2,95	-	2,75
	120	74	3,95	72	3,80	71	3,65	61	3,10	62	3,15
N=105 S=46 P=50 B=2	0	66	3,40	57	3,05	34	2,55	48	2,70	-	< 2,55
	30	61	3,15	64	3,25	45	2,70	-	< 2,25	-	2,57
	60	70	3,75	65	3,40	49	2,80	48	2,75	-	2,50
	120	74	4,00	69	3,50	62	3,25	62	3,15	58	3,05

mat. = maturité, mesurée par le pourcentage de fibres mûres.
fin. = finesse, mesurée par l'indice micronaire.

8. Conclusions

Parmi les effets de la déficience potassique que nous avons passés en revue, certains possèdent une réversibilité qui mérite d'être soulignée. Ainsi la diminution de respiration, qui est somme toute le signe d'un ralentissement de l'activité générale. De même la non-atteinte du potentiel photosynthétique du chloroplaste montre que le planteur qui a laissé son matériel végétal prendre quelque retard dans son alimentation potassique peut espérer combler ce déficit sans que sa production ait été irrémédiablement compromise, ce qui serait très vite le cas pour la nutrition azotée par exemple.

Mais l'effet final des modifications biochimiques, qui commencent à s'installer dès ces stades très bénins de la déficience sans symptômes, a peu de chances d'être réversible. Il est donc probable qu'en majeure partie les désordres qualitatifs liés au manque de potassium ne puissent pas être évités par le «rattrapage» tardif d'une fertilisation potassique temporairement insuffisante.

Outre des rôles biocatalytiques précis qui commencent à être catalogués (ici : condensation des oses en oligosides), le potassium se montre un activateur général du fonctionnement de la matière vivante. Par là s'explique sa grande importance quantitative, alors qu'il entre dans si peu de combinaisons organiques chez le végétal. Cette fonction repose essentiellement sur son rayon ionique, qui, par le biais de l'hydratation,

influence la *structure des colloïdes* et par là l'aptitude au fonctionnement des structures submicroscopiques responsables de la quasi-totalité des réactions vitales de la cellule. Mais quand la carence est devenue assez grave pour que l'intégrité de ces substructures ne soit plus respectée, certains effets du potassium peuvent s'inverser, telle la stimulation d'activité respiratoire.

9. Bibliographie

1. *Aubert B.*: Etude de la résistance à la diffusion gazeuse au niveau de l'épiderme foliaire du bananier et de l'ananas en conditions naturelles. *Fruits* 25, N° 7-8, pp. 495-507 (1970).
2. *Charpentier J. M. et Martin-Prével P.*: Carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs. Carences en oligo-éléments chez le bananier. *Fruits* 20, N° 10, pp. 521-557 (1965).
3. *Epstein E.*: Cation induced respiration in barley roots. *Science* 120 (3128), pp. 987-988 (1954).
4. *Gaillard J. P., Marchal J., Martin-Prével P., Lacaille J. J. et Lossois P.*: Recherche d'un équilibre K/N dans la production de l'ananas frais au Cameroun. I. Résultats agronomiques. II. Analyses foliaires. *Fruits* 25, N° 1, pp. 11-24, N° 2, pp. 85-87 (1970).
5. *Hewitt E. J.*: The role of mineral elements in the activity of plant enzyme systems. In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie* vol. 4, pp. 427-481, Springer Verlag, Berlin, 1958.
6. *Kursanov A. et Vyskrebentzeva E.*: Le rôle du potassium dans le métabolisme du végétal et la biosynthèse des composés déterminant la qualité des produits agricoles. *Potassium Symposium* 1966, pp. 401-420.
7. *Lacaille J. J. et Gicquieux Y.*: La nutrition en cations de l'ananas en Martinique. *Fruits* 26, N° 5, pp. 353-366, N° 7-8, pp. 519-531, N° 9, pp. 581-597 (1971).
8. *Martin-Prével P., Huet R. et Haendler L.*: Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée. III. Influence sur la qualité du fruit. *Fruits* 16, N° 4, pp. 161-180 (1961).
9. *Martin-Prével P. et Charpentier J. M.*: Symptômes de carences en six éléments minéraux chez le bananier. *Fruits* 18, N° 5, pp. 221-247, et *Fertilité*, N° 22 (1963/64).
10. *Martin-Prével P., Charpentier J. M., Lassoudière A. et Marchal J.*: Emplois du carbone 14 pour l'étude de l'activité photosynthétique et de la translocation chez le bananier. XVIII^e Congrès International d'Horticulture, comm. N° 170, Tel-Aviv, mars 1970.
11. *Py C., Haendler L., Huet R. et Silvy A.*: La fumure de l'ananas en Guinée. *Fruits* 11, N° 1, pp. 5-23 (1956).

Influence of the Level of Potassium Nutrition on the Physiological Functions of Tropical Plants and the Quality of their Products

P. Martin-Prével, Chef du Service de Physiologie, Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), Paris/France

Extended Summary

In intensive farming, potash deficiencies without apparent symptoms are more frequent and in fact more dangerous than in the case of visual symptoms: they decrease yield and/or production quality, but are disclosed only by analysis or experimentation.

Banana plant

After having described the material and the research methods, the author indicates the physiological changes through which the unfavourable effects on the banana plant of potash deficiencies without symptoms and secondarily those of a K/Mg unbalance, may be explained.

- K stimulates respiration

Table 1 (see French version) shows the respiratory activity as a function of the potash nutrition. The depressing effect of K deficiency is in opposition to previous results recorded on plants very severely

deficient with foliar symptoms. A second experiment showing the effect of K sulphate on the respiratory rates of deficient banana plants, confirms the respiratory stimulation by K (Table 2, see French version).

- The effects of potash deficiency on photosynthesis rates can most probably be explained by "locking" of stomata in the open or shut position, weakening the efficiency of photosynthesis without diminution of chloroplast potential. Several experiments whose results are shown in Tables 3, 4, 5 (see French version), indicate a great variability of photosynthesis for plants deficient in K. The potash deficiency seems to have the effect of slowing the stomata movements. They are inclined to be more open in treatment (K^+ , Mg^-) with higher photosynthesis activity in long term experiments.
- In case of potash deficiency, translocation from the leaf towards the bunch tends to decrease. Compared to C 14 firmly fixed by the leaf, the quantities found in the soluble extract and in the insoluble fraction of skins and pulps appear influenced by supply of K to the plants, but in a different manner according to the surrounding luminosity (Tables 6 and 7, see French version). Less K is needed to obtain the same conduction in subdued luminosity.

Table 8 (see French version) indicates the radioactivity trend of the insoluble fraction of fruit from the 7th day after photosynthesis to harvest time.

- Potash deficiency increases the ratio of reducing sugars to total sugars whilst K/Mg unbalance increases total soluble sugars (Table 9 and 10, see French version).

The increase of reducing sugars shows a difficulty in achieving the first polymerization stages, a finding that may indicate the coenzymatic roles of K. This blockage would be the first step towards the "thinness" of bunches produced by K-deficient banana plants.

- In case of severe potash deficiency, there is a substantial decrease of non reducing sugars and increase of N in its soluble forms (Table 11, see French version). Non-reducing sugars are particularly decreased in sheaths and pulp, organs rich in starch.

Pineapple

Potash manuring improves fruit quality both for short cycle pineapple destined for fresh fruit export as for long cycle pineapple destined for the canning industry. It enhances the incidence of "cracks" and "yellows" (aspects of overmaturity). In the case of this latter abnormality the K content and the ratio K/N in the diagnostic leaf are lower than the normal (Table 12, see French version).

Cotton

A NSPB dressing, without K, lowers very appreciably the degree of maturity of the fibres and correlatively their fineness, often even before a noticeable effect of potash deficiency in the production volume occurs. The addition of K to this basal dressing compensates for this depressing effect proportionately to the rate of K supplied, and for higher rates, improves the characteristics of the fibres.

Conclusions

Among the potash deficiency effects reviewed, some have a reversibility, worthy of emphasis. One such is the respiration decrease which is, after all, a sign of general slackening of activity. Also the lack of injury to the photosynthesis potential of the chloroplasts shows that a grower who has let his planting material fall behind in its potash nutrition can hope to repair this shortage; his production is not endangered irremediably, as would very quickly be the case for nitrogen nutrition, for example. But the final effect of the biochemical alterations which start to appear as early as the very mild stages of deficiency, without symptoms, has little chance of being reversed. It is therefore probable that in most cases, the qualitative disorders linked to a K deficiency cannot be avoided by the late "jacking up" of a potash manuring temporarily deficient.

Besides the specific biocatalytic roles which are now beginning to be listed, K is being revealed as a general activator of the working of living matter. This can explain its great quantitative importance, even though it goes into so few organic combinations in the plant. This function rests mainly on its ionic radius which by means of hydration structures, responsible for practically the whole of the vital reactions of the cell. But when the deficiency becomes fairly severe, so that the integrity of these substructures is no longer maintained, some effects of K may be reversead, for instance the stimulation of respiratory activity.

The Influence of Nutrition on the Chemical Properties of Some Tropical Plantation Crop Products

Dr. Ng Siew Kee, Head Research Department, United Plantations Berhad, Teluk Anson, Malaysia

Summary

The effects of mineral ions and fertilisers on the raw products of rubber, oil palm and cocoa are reviewed. The colloidal properties of rubber latex concentrate in terms of volatile fatty acid content, KOH number and mechanical stability are adversely affected by high magnesium and low phosphorus contents in latex serum, which can be brought about by manuring with nitrogen. Stabilising effects can be brought about by fertilising with phosphate and potassium in combination with nitrogen. High levels of calcium, which is extremely sensitive on rubber and luteoid particles, also tend to have a de-stabilising influence. Dry rubber properties are less affected by manuring but intensive manuring with nitrogenous fertilisers may have undesirable trends on dynamic characteristics.

In the case of the oil palm, fruit or bunch composition and fatty acid composition were affected to a considerably lesser degree than yield of fruit bunches by manuring on a peat soil. However, indications are that oil in mesocarp, oil to bunch and percentage of oleic and linoleic in palm oil were enhanced by applications of potash and limestone. Manuring, however, had no effect on the iodine number of cocoa butter fat.

1. Introduction

In several tropical countries, such as Malaysia, Indonesia and Ceylon in South-east Asia, and Ivory Coast, Camerouns and Liberia in West Africa, large estates or plantations whose produce is marketed overseas form a distinctive feature of the agricultural sector of the national economy. This situation is the legacy of past colonial administrations and it is therefore not altogether surprising that the major primary products of such countries are geared to manufacturing industries in Europe. Of the products, natural rubber, vegetable oils viz. palm oil and coconut oil, and beverages are the most prominent and together they constitute a major part of world commodity trading (Table 1).

For 1972, natural rubber production was estimated to be the largest, about 90% of which was produced by four nations viz. Malaysia, Indonesia, Thailand and Ceylon. South-east Asia is also the largest producing centre for palmitic and lauric oils; however, West Africa is also a significant producer of palm oil. With palmitic oil export currently expanding at about four times the rate of lauric oils, it is further projected that by 1980, exports of palm oil would reach 3 million tonnes with Malaysia accounting for about two thirds. For the beverage crops of coffee, cocoa and tea, the

centres of production have shifted from South-east Asia to South America, West Africa and the Indian sub-continent respectively.

As may be expected, research development has broadly followed the geography of production. Thus, research on natural rubber is heavily centred in South-east Asia, that on vegetable oils in South-east Asia and West Africa, and research in cocoa, coffee and tea is located chiefly in West Africa, South America and India/Ceylon respectively. In view of the strategic importance of natural rubber for the industrialised world, considerable effort has been expended on its research and consequently, centres of rubber research are relatively more advanced than others.

Since the producing countries are primarily agriculture based, emphasis in research has been focussed on methods of production, and increasing crop yields by proper fertiliser usage and nutrition has received considerable attention as testified by numerous publication on rubber (*Bellis [1970]*), oil palms (*Hartley [1966]*; *Ng [1972]*; *Ollagnier et al. [1970]*), cocoa (*Murray [1966]*) and coffee (*Malavolta [1970]*). While these efforts are practically useful, it is also apparent the relationship between manuring and product characteristics as a subject of investigation has been relegated to the background. Thus, one of the purposes of this review is to highlight the gaps of knowledge in this aspect of research so that greater efforts would be paid to the effects of expanding fertiliser use on crop quality in an increasingly demanding and technological world. As published information is rather limited, it is only possible to deal with those tropical crops whose products have been fairly well investigated and in this respect, natural rubber is distinctive by itself. However, some recent investigations on palm oil and cocoa are also included.

2. Natural rubber

Natural rubber is exported to consuming countries in two main forms viz. as bulk liquid latex concentrate, and solid dry rubber after processing. The liquid form is the smaller though significant component and in Malaysia, it constitutes about 16% of total rubber exports while in Liberia, most of the rubber is shipped in liquid form. Latex rubber is used in a wide range of household, upholstery, surgical and sports goods while solid rubber goes largely to tyre, transport and engineering uses. As one is a colloidal suspension and the other a solid, it is self-evident that their properties are very different and consequently, they have to be discussed separately.

Table 1. World exports of tropical plantation crops, 1972

	Metric Tons (.000)
Natural Rubber	3,150
Palm oil, kernels and kernel oil as oils	1,520
Copra and coconut oil as oil	1,420
Cocoa	1,570
Coffee	3,050
Tea	660

2.1. Latex Concentrates

To produce latex concentrate, fresh latex collected from the tree (*Hevea brasiliensis*) after tapping is centrifuged at the factory to increase the dry rubber content from about 30% to 60–65%. Ammonia, with or without boric acid, is added in the process to prevent degradation mainly by bacterial spoilage. Such concentrates are stored and then transhipped over thousands of miles and it is vitally important that the desirable properties are not impaired during storage and transport. Thus, strict buyers' technical specifications are being enforced and the more important criteria are shown in Table 2. The most important properties are mechanical stability, volatile fatty acid content and KOH number as they influence considerably manufacturing processes and quality of the product as indicated by selected examples in Table 3 as given by *Paton et al. [1952]*.

Thus, it is important that in the preparation, storage and transport of latex concentrate, these three characteristics of high mechanical stability, low VFA and low KOH number are preserved. Much research, therefore has gone into the composition of rubber latex and factors affecting latex stability. As shown in Table 4, rubber latex

Table 2. Specifications for latex concentrate*

Test	Standard B.S. 4355; 1968 High and Low Ammonia
Total solids content, min. %	61.5
Dry rubber content, min. %	60.0
KOH number, max.	1.0
Volatile fatty acid number, max.	0.2
Mechanical stability, min. sec.	540
Copper content, max. ppm total solids	8
Manganese content, max. ppm total solids	8

* Planters Bulletin 103, Rubber Research Institute of Malaya.

Table 3. Effects of latex properties on gelling behaviour

Latex Type	Mech. Stab. secs.	Viscosity cps @ 25 °C 60% T.S.	KOH No. g/100 g T.S.	Gelling pH	Type of Gel.
1. Glenshiel 1 concentrate	140	60.6	0.54	9.8	Very weak
2. G.I concentrate diluted 1:1 with seedling serum	455	53.5	—	8.3	Firm
3. G.I concentrate with interchanged seedling serum	>1800	35.5	0.40	7.9	Firm
4. Seedling concentrate + lauric acid (0.1%)	>1800	29.8	0.39	7.8	Firm
5. Seedling concentrate with G.I serum	210	38.0	0.35	9.9	Very weak

is a complex colloidal system of cytoplasmic substances, the chief of which are hydrocarbon particles, proteinaceous bodies or organelles called lutoids, lipids and carotenoids suspended in a liquid phase containing inorganic salts, sugars and amino acids. The lyophilic hydrocarbon particles are negatively charged and are protected by a layer of lipoproteins but it is evident that changes in the other constituents can affect the stability of the rubber particles. Thus, a lowering of pH which can be engineered by bacterial degradation of sugars and proteins, leading to the formation of short chain fatty acids, will de-stabilise the latex and at the isoelectric point, complete flocculation takes place. For this reason, the specifications of VFA and KOH number to monitor the degree of bacterial spoilage have been instituted, although the former test is more specific. Another mechanism by which latex stability can be adversely affected is by the condensation of the diffuse, Helmholtz double layer by counterions and experience in latex concentrate production has shown this to be of major consequence, at least in the early years of concentrate production. The major cations in the aqueous phase or C serum are potassium and magnesium with low concentrations of calcium but in the lutoid particles, which are membranous, concentrations of magnesium and calcium are considerably higher (Table 5) and it is the discharge of these alkaline earth metals that affects the colloidal stability of rubber particles.

Table 4. Major components of natural Rubber Latex

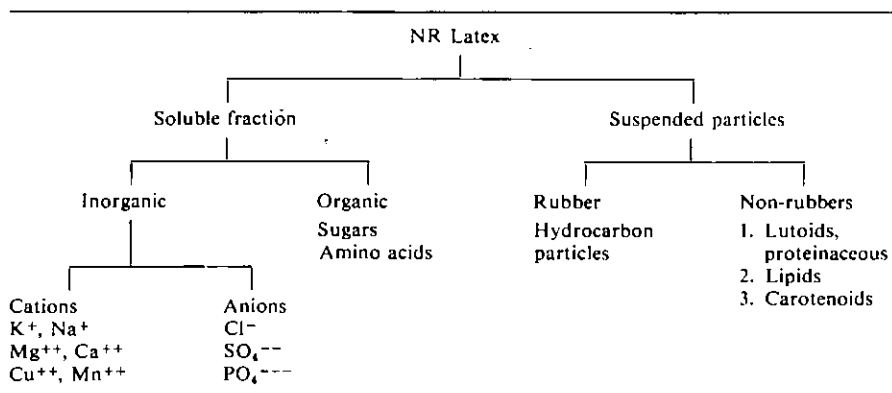


Table 5. Contents of main cations in sera of latex

Serum	Source	Conc. ppm		
		K	Mg	Ca
C (aqueous fraction)	(a)	3725	195	9.6
	(b)	3900	144	1.9
B (lutoid fraction)	(a)	3210	1800	85.8
	(b)	3160	1040	41.7

2.2. Manurial Effects on Latex Quality and Stability

The widespread experience of unstable latices and problems of preparing latex concentrate from the relatively high yielding clone Glenshiel 1 in Malaya, had been described by Paton [1947] and Paton *et al.* [1952]. This instability was later associated with unusually high magnesium contents in the concentrate and addition of phosphate or pyrophosphate improved mechanical stability, and lowered viscosity and gelling pH (Madge *et al.* [1952]). The association of inorganic composition and latex properties led to wider interests and though limited in scope, one of these is the influence of fertilisers on latex composition and its properties.

The earliest study was made by Philpott and Westgarth [1953] who examined the effects of six fertiliser treatments on the latex properties of seedling rubber. Although the design of the experiment was not factorial, their findings showed that on a sandy loam alluvial soil, phosphorus plus potassium application improved latex stability while nitrogen alone tended to have a negative though non-significant effect as seen in Table 6. The positive effects of the PK treatments were associated with a better P/Mg balance in the latex as found by previous studies but it is interesting to note that the effect on potassium content nearly reached significance (Table 7). Thus, while the results confirmed the importance of phosphorus and magnesium balance

Table 6. Effects of manurial treatments on latex stability

Treatment	Mechanical stability (secs.)	Zinc oxide stability (.000 revs.) 50-days storage
Nil	544	21.52
N	484	20.18
NP	547	25.02
PK	755	33.40
NPK	714	34.87
Min. 5% Sig. dif.	150	4.68

Table 7. Effect of PK Manuring on latex stability and composition

Treatment	Latex Composition, ppm Total Solids			Mechanical stability secs.
	P	K	Mg	
Nil	970	4180	700	544
N	1000	3970	680	484
PK	1150	4460	580	755
NPK	1120	4220	590	714
PK absent	985	4075	690	514
PK present	1135	4340	585	733
Difference	+150 ± 42	+265 ± 129	-105 ± 27	+218 ± 49
Level of Sig. Bt. PK	< 1%	Almost 5%	< 1%	< 0.1%

in latex stability, a probable and positive role of potassium in the relationship, was also strongly suggested. The highly potash deficient soil in which the trees were planted though, might have accentuated the effect. Rather similar results on Glenshiel 1 were obtained also by *Beaufils [1954]* in Vietnam.

The effect of nitrogen was more definitely demonstrated by the later work of *Collier and Lowe [1969]* who found in three separate fertiliser experiments that ammonium sulphate alone markedly increased VFA content, KOH number and decreased mechanical stability, but these effects were appreciably reduced when rock phosphate was applied with nitrogen (Table 8).

The adverse effect of nitrogen was attributed to an increase of magnesium content in the latex serum, while the stabilising influence of rock phosphate was related to increase in phosphorus and concomitant decrease in magnesium content in latex, bringing about a better P/Mg balance (Table 9). However, no ready explanation could be advanced for the effects on VFA and KOH number in concentrate prepared from field latex not treated with di-ammonium hydrogen phosphate.

The fore-going shows that latex stability can be mostly related to mineral phosphorus and magnesium contents and balance but this is not invariably the case and other factors may be implicated. A role for potassium has been suggested by both *Philpott and Westgarth [1953]* and *Beaufils [1954]* which seems plausible as potassium and magnesium fertilisers are known to be antagonistic in terms of nutrient uptake by plants and the same probably applies to rubber. A higher concentration of potassium in the latex serum might also have a mitigating effect on magnesium. Other cations besides magnesium may also affect latex stability and earlier colloidal studies and more recent investigations seem to indicate that calcium is likely to be involved.

Table 8. Effects of ammonium sulphate and rock phosphate on concentrate (1 month) properties

Experiment	Clone	Treatment	% Yield increase	VFA	KOH No.	MST (secs.)
1	Tjir 1 1940/41	Control	-	0.016	0.50	820
		N ₁	+21	+0.005	+0.09	+ 5
		N ₂	+31	+0.009	+0.21	-555
		N ₂ P ₁	-	+0.002	+0.11	-195
2	Pil B84 1940/41	Control	-	0.019	0.59	950
		N ₁	+31	+0.007	+0.00	- 65
		N ₂	+38	+0.024	+0.26	-425
		N ₂ P ₁	-	+0.005	+0.07	+145

N₁ = 0.68 kg/tree sulphate of ammonia.

N₂ = 1.36 kg/tree sulphate of ammonia.

Table 9. Effect of N and P fertilisers on field latex composition

Mineral Content	N ₀	N ₁	N ₂	P ₀	P ₁
N % on TS	0.63	0.69	0.74	0.69	0.69
PO ₄ % on Serum	0.250	0.233	0.227	0.179	0.294
Mg % on Serum	0.063	0.070	0.081	0.074	0.069
K % on Serum	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35

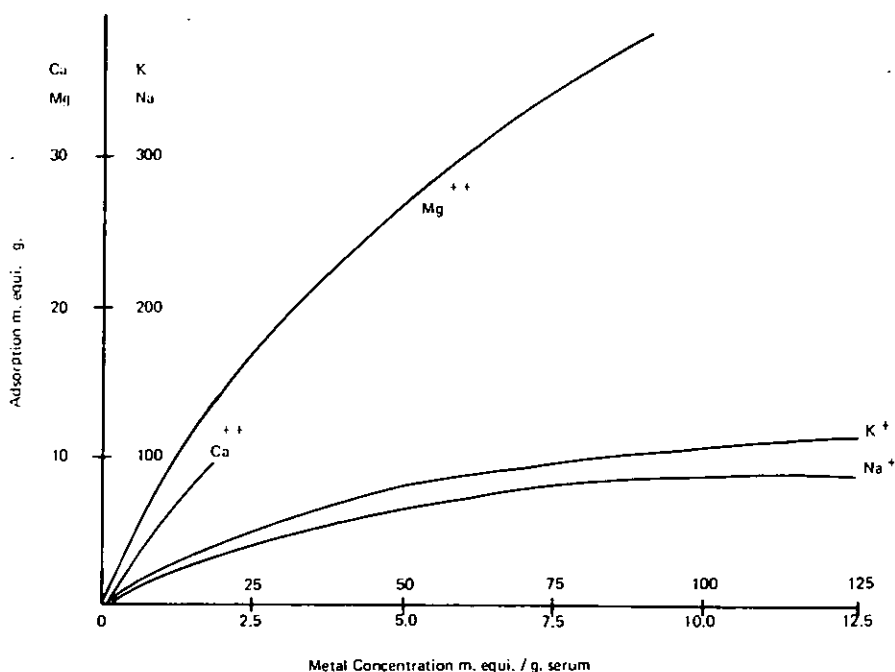


Fig. 1. Adsorption of alkali and alkaline earth metals by rubber particles in Latex.

As early as 1940, *Van Gils* demonstrated that dialysed fresh latex could be coagulated by calcium or magnesium and suggested that the mechanism involved was the formation of calcium and magnesium soaps which displaced the protein envelope of the rubber particle. These findings were supported by the work of *Belmas [1952]* who further showed that for a given equivalent concentration of cation in serum, rubber latex particles adsorbed far more magnesium and calcium than potassium and sodium and coagulation of the latex occurred at lower concentrations with calcium than with the other cations (fig. 1). Critical adsorption values at which coagulation occurred were determined and the value for calcium was about a half of that of magnesium (Table 10). *Belmas* attributed the more potent effect of calcium to its greater hydration/solvation property.

Table 10. Critical adsorption values of Ca and Mg

Metal	% Rubber in latex					
	5		15		25	
	Q	x/m crit.	Q	x/m	Q	x/m
Ca	53	392	63	204	70	142
Mg	262	648	334	444	375	330
Ca/Mg ratio	0.20	0.60	0.19	0.46	0.19	0.43

Q = min. quantity (μ eq.) to coagulate 25 g latex.
 x/m crit. = Critical absorption value ppm.

Under normal circumstances, the ratio of magnesium/calcium ions in the C serum of centrifuged latex would be larger than the critical ratios of *Belmas* but under certain conditions, calcium ion concentration might be higher and therefore have a significant effect. Thus, *Pushparajah [1966]* found in a fertiliser experiment that the highest rock phosphate treatment (P_2) decreased yield despite increasing girth of nine year old rubber and associated this with higher calcium levels in the latex. He further demonstrated that application of calcium chloride solution to the panel below the tapping cut decreased latex flow rate and yield of latex (Table 11). Further work by *Pakianathan et al.* has shown that the lutoid particles in latex which are the main causative agent of flocculation (*Southorn and Yip [1968]*), are damaged leading to rupture by very low concentrations of Ca in the surrounding medium of 200–350 milli-osmos; the physiological level suggested being 50 ppm, whereas for magnesium, the comparable figure was 350–450 ppm. These values for calcium and magnesium are rather comparable to the critical adsorption values obtained by *Belmas*. Thus, the more recent findings provide a better appreciation of the earlier results of *Belmas* and it is possible that instability of latex not accounted for by P/Mg ratio may be caused by unusually high calcium levels. Now that sensitive and reproducible analytical techniques for calcium determination in latex are available (*Ng et al. [1970]*), more interest in the influence of calcium may be elicited. The dramatic effect of calcium in coagulations, at such low concentration, tends to suggest that it may work through an enzyme and work by *McDonnel* (unpublished) at the *Rubber Research Institute of Malaya* indicated that calcium may be an activator of phospholipase D, which can break down the protective envelope around the rubber particle. A more recent study at the Institute (*RRIM [1969]*) suggested that calcium might be associated with an enzyme named coagulase but the finding has not been reproduced.

2.3. Dry Rubber

Considerably less research has been done on the relationship between nutrition and raw or technological properties of natural rubber, although information on mineral composition is not lacking. The only nutrients present in raw rubber which can affect technological properties are nitrogen and the trace metals, copper and manganese. Proteinaceous substances are rather tightly bound to rubber and are not much removed during processing of the latex. It is known that high nitrogen contents,

Table 11. Effect on yield of percolation of bark with nutrient solutions

Treatment	Time of measurement	Volume of latex ml	Rate of flow ml/min	% DRC
Control	(a) Pre-application	208	1.00	35.3
	(b) 16 days after application	189	0.88	35.9
CaCl ₂	(a)	196	0.92	35.2
	(b)	169	0.75	33.5
MgSO ₄	(a)	191	0.85	35.2
	(b)	187	0.84	34.2

especially if in denatured form can affect adversely the heat build up and resilience of the polymer. Hence, the maximum limit has been reduced from 0.7% to 0.65% in the revised technical specifications of new process *Standard Malaysian Rubber* or *SMR* (Morris [1970]).

Collier and Lowe [1969] appear to be the only workers who have provided some data on the effects of manuring on nitrogen contents in dry rubber. Their findings (Table 12) indicate that it is possible though not very likely to exceed the specification limit by heavy nitrogen fertilisation. However, with the advent of latex yield stimulation by the new compound, Ethrel (2, chloroethylphosphonic acid), there is indication that drainage of nitrogen is proportionately greater than the increase in dry rubber yield (Pushparajah *et al.* [1971]) and it is possible nitrogen levels of processed rubbers may tend to increase.

Table 12. Effects of manuring on nitrogen contents in dry rubber

Treatment	Range	% N	Mean
N ₀	0.32-0.40		0.34
N ₁	0.42-0.48		0.434
N ₂	0.46-0.53		0.494

Natural rubber, being made up of isoprene units, is subject to degradation and one of the principal ways is by oxidation of the double bonds and cleavage of the polymer chain. In this respect, copper (fig. 2) and to lesser degrees manganese and iron are

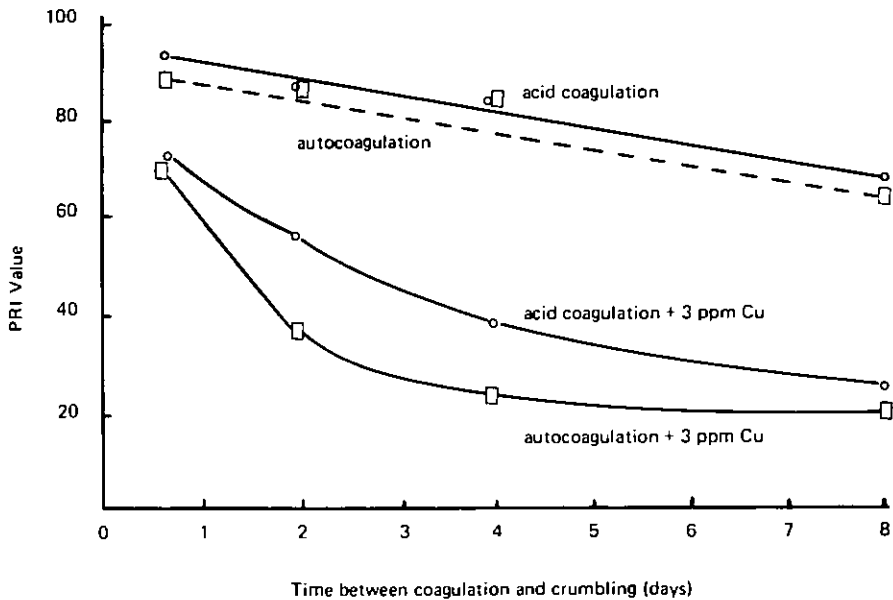


Fig. 2. Changes in PRI of Latex hevea crumb due to delayed processing and contamination by copper ions.

effective pro-oxidants (*Watson [1969]*) and the first two metals have been used as a primary specification in the SMR scheme till 1971 when they were replaced by the *Plasticity Retention Index*. Copper or iron deficiency of field rubber has not been reported whereas, manganese deficiency has been encountered (*Shorrocks and Watson [1961]*), although the effect of manganese application on rubber properties has not been recorded. In a different usage, copper sulphate alone in conjunction with older latex stimulants 2,4-D and 2,4,5-T can enhance yield (*Mainstone and Tan [1964]*). Consequently, copper contents in the field latex were increased but in dried sheets prepared from the latex, values did not exceed the specification of 8 ppm (*Lowe [1964]*).

Thus, in summary, it may be said that although standard manuring is not likely to have any striking effects on latex concentrate and dry rubber properties, intensification of natural rubber production by planting of high yielding clones and heavy fertilisation, especially in conjunction with Ethrel stimulation, would tend to have less attractive effects on quality especially, if nitrogen and potassium are not kept in proper balance in any manurial regime.

3. Palm Oil

Unlike natural rubber, palm oil has never enjoyed a unique position in terms of either its exclusive technical properties or its dominance in world trading, although since the late sixties, palm oil exports have expanded notably and the trend will continue for many more years (*Hartley [1972]*). Consequently, research into the quality and technology of palm oil has lagged far behind that on methods of crop production and fruit processing and inter-disciplinary investigations such as those concerning nutritional effects on quality are even more limited.

Recent attention has been drawn by *Corley [1972]* to the effects of potash application on oil content in fruit bunches of palms planted in granitic soils in Malaya which have been shown to respond significantly to potassium (*Hew, Ng and Lim [1972]*; *Corley and Mok [1972]*). The data presented in Table 13 indicate that most the decrease was produced by 3.6 kg KCl/palm/year, which is perhaps surprising as the rate cannot be considered very high. As no details of bunch or fruit composition were provided, the exact cause of the lower oil/bunch ratio is not obvious.

In order to study this relationship more deeply, bunch analysis and oil composition were determined for a number of selected treatments in a fertiliser experiment on deep, acid peat soil in *United Plantations* in Malaysia, where significant yield effects of potassium and other nutrients have already been recorded (Table 14). Sulphate of ammonia and Christmas Island rock phosphate depressed yield of fruit bunches, especially in combination, while muriate of potash and calcium carbonate both increased yield. Kieserite has had no significant effect thus far.

Oil contents in wet mesocarp of tenera and dura fruit types for the main treatment plots are shown in Table 15. In relation to yield of fruit bunches, the effects on oil in mesocarp are small and in most cases are unlikely to be statistically significant. However, it is interesting to note that for the tenera fruit, which is the standard commercial planting material at present, muriate of potash and limestone in combination have tended to give the highest oil content in mesocarp as well as oil to bunch ratio. Magnesium, too appears to have had a similar effect. There was no adverse effect

due to potassium on oil to bunch whereas rock phosphate seems to have a depressive influence. These results are at variance with those reported by *Corley* and may be attributed to the rather different soil conditions obtaining in deep peat.

Table 13. Effect of potassium on oil/bunch ratio (%)

Experiment	Fruit type	Muriate of potash		kg/palm 7.2
		0	3.6	
PF 73	Dura	20.0	18.6	18.2
	Tenera	23.5	21.8	20.8
PF 75	Dura	19.0	17.4	17.0
PF 78A	Tenera	23.5	22.2	22.3

Table 14. 4th year (1971/72) yield records of 2⁵ fertiliser trial on peat

Treatment	Production per palm		
	No. of fruit bunches	Av. bunch wt. kg	Yield/year kg
No N	12.4	12.7	154
N effect	— 2.9**	— 2.3**	— 52**
No P	11.7	12.4	142
P effect	— 1.4*	— 1.7**	— 28**
No K	10.1	11.0	109
K effect	+ 1.8*	+ 1.1*	+ 38**
No Mg	11.0	11.3	125
Mg effect	Nil	+ 0.5	+ 6
No Ca	10.6	11.0	119
Ca effect	+ 0.8	+ 1.1*	+ 18*

Fertiliser applications: 6 kg/palm/year each of ammonium sulphate, CIRP, muriate of potash and limestone dust; 3 kg/palm/year of kieserite.

Table 15. Oil content (%) in wet mesocarp of fruit and bunch of various treatments

Treatment	No. of analysis	Tenera		Dura	
		O/WP	O/B	O/WP	O/B
O (control)	27	50.8	23.4	57.2	19.6
N	13	52.3	22.2	55.9	19.5
P	21	53.6	21.4	51.4	15.6
K	24	54.0	24.3	58.2	20.5
Mg	9	56.5	22.2	57.9	17.7
Ca	27	55.4	23.5	56.0	18.5
K Ca	22	57.3	26.1	57.8	16.5
N P	1	—	—	51.3	20.0

Fatty acid composition in mesocarp oil was determined on two separate samplings of fruit bunches from the trial and mean values are presented in Table 16. As in the case of oil content in mesocarp and fruit bunch, differences in major fatty acid composition between most treatments are small and unlikely to be statistically significant except for the KCa treatment, which has given a lower palmitic content coupled with a relatively higher oleic and linoleic fraction as well as a higher iodine value compared to control. The K treatment appears to have given a similar trend.

Thus, these preliminary results seem to indicate that adequate potassium nutrition plus liming on an acid peat soil can enhance not only yield of oil but also the degree of unsaturation in palm oil, therefore contributing to better quality. This aspect of oil composition is sufficiently important to warrant more extensive investigations on the relationship between oil quality and mineral nutrition, particularly, that of potassium, now that it is well established that potassium is the *prima donna* in the nutrition of the oil palm in Malaysia (*Ng et al. [1968]; Hew, Ng and Lim [1972]*).

4. Cocoa

Technical data on the effects of manuring on quality of cocoa is practically non-existent. The lack of interest for such investigations may be attributed to two considerations; one is the fermentation process which might be thought to have greater over-riding physical and chemical effects than fertiliser applications, and the other is that cocoa quality is mainly judged by flavour and physical appearance by cocoa manufacturers (*Wood [1972]*), which are essentially subjective criteria. Until a more technical grading scheme based on measurable parameters is evolved, there is little incentive for studies on nutritional effects on cocoa quality.

Be that as it may, one factor that is given some weight is butter fat content, which is measurable. The only workers who seem to have carried out an investigation on this property are *Berbert and Alvim [1972]* in Brazil and their result was largely negative. They found that the iodine number of butter in cocoa beans in pods was not affected by fertiliser applications, shade, age of tree, degree of maturity of the pod, the time interval between harvesting and pod breaking and length of the fermentation period. However, it was inversely related to the mean temperature during the development period of the pod, a high temperature increased the degree of saturation of fatty acids.

Table 16. Effects of fertiliser treatments on fatty acid composition of palm oil

Treatment	Fatty acid %							Iodine Value
	Lauric C12:0	Myristic C14:0	Palmitic C16:0	Stearic C18:0	Oleic C18:1	Linoleic C18:2	Linoleic C18:3	
Control	0.2	0.8	43.6	6.6	39.5	8.3	0.4	50.7
N	0.1	0.5	39.9	6.9	41.2	10.7	0.2	54.1
P	0.2	0.3	42.1	5.9	40.8	9.2	0.4	52.4
K	0.2	0.7	40.6	6.6	42.9	8.0	0.4	52.0
Mg.	0.2	0.7	41.7	6.7	40.0	9.6	0.3	51.4
Ca	0.2	0.6	41.1	6.7	41.8	8.6	0.4	52.1
NP	0.1	0.6	39.4	7.3	39.6	11.9	0.2	56.2
KCa	0.1	0.6	36.9	8.0	43.4	9.7	0.2	55.5

5. Conclusion

Natural rubber, palm oil and cocoa will continue to be major pillars of the national economy of many tropical countries. With improvement of yield potential by plant breeding, intensive use of fertilisers would form a main pathway of achieving and sustaining maximum productivity. Under such circumstances, the possible effects of manuring on the chemical characteristics and quality of raw products should not be overlooked.

As can be gauged from this review, natural rubber has received a fair measure of research effort in this field compared to palm oil but with the advent of new yield stimulation coupled with heavier fertiliser use, further investigations should not be overlooked. In view of the rapidly increasing volume of palm oil coming into the competitive vegetable oil world market, and an apparent effect of manuring on oil composition which in turn may influence technological behaviour, there is need to expand research in this field as fertiliser usage on oil palm is rapidly increasing. The picture for cocoa is more complicated but even so, some obvious investigations if only to register non-adverse effects are desirable.

References

1. *Beaufils, E. R.*: Contributions to study of mineral elements in field latex. Proc. 3rd Rubb. Tech. Conf. 87 (1954).
2. *Bellis, E.*: Intensification of plantation rubber production by *Hevea brasiliensis* through manuring. Proc. 9th Cong. Int. Potash Inst. 345-356 (1970).
3. *Belmax, R.*: Contribution to the physical chemistry of *Hevea latex* I. metal cations in latex. Rubb. Chem. and Tech. 25, 124-139 (1952).
4. *Berbert, P. R. Fontes* and *Alvim, P. de T.*: Factors affecting the iodine number of Brazilian cacao butter. Rev. Theobroma 2 (1), 3-16 (1972).
5. *Collier, H. M.* and *Lowe, J. S.*: Effects of fertiliser applications on latex properties. Jour. Rubber Res. Inst. Malaysia 21, 181-191 (1969).
6. *Corley, R. H. V.*: Oil Palm physiology - a review. Proc. Int. Oil Palm Conf. 1972, Incorp. Soc. Planters, Malaysia. In press.
7. *Corley, R. H. V.* and *Mok, C. K.*: Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on growth of the oil palm. Expl. Agric. 8, 347-353 (1972).
8. *Hartley, C. W. S.*: The oil palm. Longmans, London, 1966.
9. *Hartley, C. W. S.*: The expansion of oil palm planting. Proc. Int. Oil Palm Conf. 1972, Incorp. Soc. Planters, Malaysia. In press.
10. *Hew, C. K., Ng, S. K.* and *Lim, K. P.*: The rationalisation of manuring oil palms and its economics in Malaysia. Proc. Int. Oil Palm Conf. 1972, Incorp. Soc. Planters, Malaysia. 306-323 (1973).
11. *Lowe, J. S.*: Copper sulphate as a yield stimulant for *Hevea brasiliensis* II. Techniques for the application of copper sulphate. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 18, 265-268 (1964).
12. *Madge, E. W.*: Latex stability. Trans. Inst. Rubber Ind. 28, 207-223 (1952).
13. *Mainstone, B. J.* and *Tan, K. S.*: Copper sulphate as a yield stimulant for *Hevea brasiliensis* I. Experimental stimulation of 1931 budded rubber with 2,4-D or 2,4,5-T in the presence or absence of copper sulphate injection. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 18, 253-260 (1964).
14. *Malavolta, E.*: Intensive fertilisation of coffee in Brazil. Proc. 9th Cong. Int. Potash Inst. 331-340 (1970).
15. *Murray, D. B.*: 'Cocoa Nutrition' in Fruit Nutrition. Ed. N. F. Childers. Hort. Publications, Rutgers-State University, N.J. 1966.
16. *Morris, J. E.*: Changes in the SMR scheme. Plrs' Bull. Rubb. Res. Inst. Malaya No. 110, 249-263 (1970).
17. *Ng, S. K., Thamboo S.* and *de Souza, P.*: Nutrient contents of oil palms in Malaya II. Nutrient contents in vegetative tissues. Malaya. Agric. J. 46, 332-391 (1968).

18. *Ng, Siew Kee*: The oil palm, its culture, manuring and utilisation. Int. Potash Inst. 1972.
19. *Ng, S. K., Hsia, R. C. H. and Lai, P. T.*: Spectrographic determination of calcium in latex of natural rubber (*Hevea brasiliensis*). Appl. Spectroscopy 24, 583-586 (1970).
20. *Ollagnier, M., Ochs, R. and Martin, G.*: The manuring of the oil palm in the world. Fertilité 36, 3-64 (1970).
21. *Pakianathan, S. W., Milford, G. F. and Ng, E. K.*: The relationship between the osmotic stability of latex bottom fraction and latex vessel plugging. J. Rubb. Res. Inst. Malaya (in press).
22. *Paton, F. J.*: Factors affecting the stability of Hevea latex. Trans. Inst. Rubber Ind. 23, p. 70 (1947).
23. *Paton, F., Peel, J. D. and Sutno, G.*: Factors affecting the stability of Hevea latex. Trans. Inst. Rubber Ind. 28, 310-321 (1952).
24. *Philpott, M. W. and Westgarth, D. R.*: Stability and mineral composition of Hevea latex. J. Rubber Res. Inst. Malaya 14, 133-148 (1953).
25. *Pushparajah, E.*: Studies on the effects of rock phosphate on growth and yield of *Hevea brasiliensis*. M. Agric. Sc. Thesis, Univ. Malaya 1966.
26. *Pushparajah, E., Sivanadyan, K., P'ng, T. C. and Ng, E. K.*: Nutritional requirements of Hevea brasiliensis in relation to stimulation. Proc. Rubb. Res. Inst. Malaya Plrs' Conf., 1971, 189-200 (1971).
27. *Rubber Research Institute of Malaya*: Annual Report (1969).
28. *Shorrocks, V. M. and Watson, G. A.*: Manganese deficiency in Hevea; the effect of soil application of manganese sulphate on the manganese status of the tree. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 17, 19-30 (1961).
29. *Southorn, W. A. and Yip, Esah*: Latex flow studies III. Electrostatic considerations in the colloidal stability of fresh *Hevea latex*. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 20 (5), 236-247 (1968).
30. *Watson, A. A.*: Improved ageing of natural rubber by chemical treatments. J. Rubb. Res. Inst. Malaya 22 (1), 104-119 (1969).
31. *Wood, G. A. R.*: Manufacturers' Quality Requirements. Cocoa and Coconuts in Malaysia. Incorpor. Soc. Planters, 233-240 (1972).

L'influence de la nutrition sur les propriétés chimiques des produits de certaines cultures de plantation

Ng Siew Kee, Head Research Department, United Plantations Berhad, Teluk Anson/Malaisie

Version abrégée

Jusqu'ici, on a accordé une attention considérable à l'emploi d'engrais pour des cultures d'exportation, ceci cependant en vue de l'augmentation des rendements seulement. Aussi, cette étude s'attache-t-elle davantage à l'influence des engrais sur la qualité des récoltes, aspect plutôt négligé de l'emploi des engrais.

A cet égard, on a surtout étudié le caoutchouc naturel – en 1972, le plus important des produits de plantation destinés à l'exportation – mais on donne également quelques résultats récents sur les facteurs de qualité pour le palmier à huile et le cacaoyer.

Caoutchouc naturel:

Ce produit est exporté sous forme de concentré liquide en récipient et/ou sous forme de caoutchouc sec solide.

En plus d'une faible teneur en acides volatiles gras (AVG) et d'un nombre KOH bas (tous deux étant des caractéristiques de qualité nécessaires pour le contrôle par floculation des dégâts bactériens dus à la diminution des valeurs pH), on peut influencer l'une des caractéristiques de qualité primordiale – la stabilité mécanique du caoutchouc – par l'application d'engrais. A cet égard, – la prescription standard indique un minimum de 540 secondes – on obtient l'effet suivant de l'application des engrais:

Effet de la fumure sur la composition et la stabilité du latex

Traitement	Composition du latex, ppm en solides totaux			Stabilité mécanique
	P	K	Mg	
Néant	970	4180	700	544
N	1000	3970	680	484
PK	1150	4460	580	755
NPK	1120	4220	590	714

L'effet positif du traitement PK est lié à un équilibre P/Mg plus élevé dans le latex, du fait des effets adverses que les teneurs en Mg dans le concentré exercent sur la stabilité colloïdale des particules de caoutchouc.

Collier and Lowe ont trouvé que le sulfate d'ammonium seul avait considérablement accru la teneur en AVG, le nombre de KOH et diminué la stabilité mécanique. On a attribué cet effet à une augmentation de la teneur en Mg dans le sérum de latex. L'influence stabilisatrice du phosphate brut ajouté au traitement avec engrais N, était en rapport avec une augmentation en P et une diminution concomitante en Mg dans le latex. Une concentration plus élevée en K dans le sérum de latex pourrait aussi atténuer l'activité du magnésium, puisque le potassium et le magnésium sont en antagonisme au niveau de l'absorption par la plante.

En ce qui concerne le *caoutchouc sec*, les seuls éléments nutritifs présents dans le caoutchouc brut qui peuvent affecter les propriétés technologiques sont l'azote, le cuivre et le manganèse. Les résultats obtenus jusqu'ici concernant l'effet de la fumure sur la teneur en N dans le caoutchouc sec indiquent qu'il est possible, bien que peu vraisemblable, d'excéder la limite prescrite (0,65% N) par une fumure azotée élevée. Les résultats expérimentaux montrent une augmentation de 0,34% à 0,49% de N dans le latex des parcelles N₀ par rapport à N₂. Cependant, on est porté à croire, que le drainage de N est proportionnellement plus important que l'augmentation du rendement en caoutchouc sec lorsque l'on a utilisé la stimulation à l'éthrel. Les teneurs en cuivre du latex en plein champ furent plus élevées lorsque l'on a utilisé du CuCO₄ en combinaison avec d'anciens stimulants du latex, soit du 2,4-D et du 2,5,5-T, mais dans les feuilles sèches de latex les valeurs n'excédèrent pas les prescriptions soit 8 ppm.

Bien que l'on ait trouvé une carence en Mn dans le champ, on ne signale pas d'effet de l'application de manganèse sur les propriétés du caoutchouc.

En résumé, même si la fumure standard n'exerce pas d'effets marquants sur le concentré de latex et sur les propriétés du caoutchouc, l'intensification de la production de caoutchouc naturel par la plantation de clones à hauts rendements et par l'application de fortes fumures (spécialement en combinaison avec la stimulation à l'éthrel) aurait tendance à exercer des effets moins positifs sur la qualité, spécialement lorsque l'azote et le potassium ne sont pas maintenus en équilibre adéquat dans tout le régime de fumure.

Palmier à huile:

En Malaisie, on a établi un essai de fumure sur un sol profond, tourbeux et acide, dans le but d'étudier les rapports entre, d'une part l'application de différents éléments nutritifs aux plantations de palmiers à huile, et, d'autre part la teneur en huile, et la composition de l'huile. Dans cet essai, on a appliqué par palmier et par an: 6 kg de sulfate d'ammonium, de phosphates bruts, de chlorure de potassium et de poudre de calcaire, ainsi que 3 kg de kiesérite.

Des résultats préliminaires, on peut retirer ceci: contrairement aux rendements des régimes de fruits, les augmentations de la teneur en huile de mésocarpe sont faibles et dans la plupart des cas non significatives. Cependant, il est intéressant de noter que pour le fruit de *ténara* (la variété commerciale «standard») le chlorure de potassium combiné au calcaire tend à produire de meilleurs résultats, tant en ce qui concerne la teneur en huile du mésocarpe que le rapport régime/fruit. Les différences de composition des acides gras majeurs étaient similaires. Pour la plupart des traitements les différences entre ceux-ci étaient petites et statistiquement non significatives, excepté pour le traitement K Ca. L'application de K Ca a produit une teneur en acide palmique inférieure liée à des fractions oléiques et linoléiques relativement plus élevées, ainsi qu'à une teneur d'iode plus élevée. Les traitements avec K ont produit des effets similaires.

Au vu de ces résultats préliminaires, il semble qu'une nutrition potassique adéquate, plus le chaulage, sur un sol tourbeux acide, peuvent favoriser non seulement le rendement en huile mais aussi le degré de l'huile de palmier non saturée, contribuant ainsi à une meilleure qualité.

Cacaoyer

On juge la qualité du cacao essentiellement par des critères subjectifs: goût et apparence physique. La teneur en graisse du beurre est un facteur de qualité auquel on attribue également quelque'importance. Le seul travail connu jusqu'ici à ce sujet a été effectué par *Berbert et al.* (1972). Cet auteur a découvert que le nombre iode du beurre dans les fèves de cacao n'a été influencé ni par la fumure, ni par l'ombrage, le nombre d'arbres ou d'autres paramètres.

Conclusions

En plus de l'amélioration du potentiel de rendement par la sélection des plantes, l'emploi intensif des engrais constitue le moyen principal pour atteindre et soutenir la productivité maximum. Dans ces circonstances, on ne devrait – à l'avenir – pas négliger l'effet possible de la fumure sur les caractéristiques chimiques et le comportement technologique des produits des cultures de plantation. Il serait souhaitable que l'on effectue encore des recherches à ce sujet, même si ce n'est que pour constater des effets non adverses.

Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier

M. Braud, Ing. agr., Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE), Direction générale, Paris/France

Résumé

Les teneurs en potassium dans le cotonnier, outre l'importance de la nutrition potassique, sont fonction du type d'organe choisi (feuille, limbe ou pétiole) ou de sa position sur le plant (au sommet ou à l'aisselle d'une fleur). L'âge des plants influe assez fortement sur ces teneurs, probablement influencées également par le facteur variétal et l'alimentation hydrique. L'incidence des autres éléments semble faible.

Nous avons établi une fonction de production qui donne l'importance relative de la déficience potassique en utilisant comme paramètres les teneurs en potassium du pétiole et en soufre du limbe et l'âge physiologique du cotonnier.

A partir de cette fonction de production, il devient possible :

- d'étudier l'importance relative de la déficience potassique et son évolution en fonction de différents facteurs ;
- de prévoir l'apparition de cette déficience probablement deux ans à l'avance ;
- de contrôler l'efficacité des formules d'engrais vulgarisées.

Le développement de la production cotonnière en Afrique tropicale est lié en particulier à une utilisation croissante de la fertilisation minérale. Les formules d'engrais comportent de plus en plus fréquemment l'élément potassium et leur coût s'en trouve augmenté. Il importe donc de pouvoir disposer de méthodes suffisamment précises pouvant orienter l'utilisation de cet élément. Le diagnostic foliaire peut apporter une contribution importante dans ce domaine.

L'objet de cette étude est de :

- préciser les facteurs pouvant avoir une action sur les teneurs en potassium ;
- préciser l'interprétation que l'on peut faire des résultats d'analyse pétiolaire ;
- montrer l'utilisation pratique de ces résultats.

1. Les facteurs de variation des teneurs en potassium des feuilles de cotonnier

1.1. Choix de l'organe

En limitant le choix de l'organe à la feuille, on peut néanmoins utiliser la feuille entière, le limbe ou le pétiole. Ces trois techniques sont également utilisées dans le monde entier. G. H. Hardy [11] montre que les limbes sont aussi satisfaisants que les pétioles pour la détermination de tests précoces. H. E. Joham [12] préfère les pétioles, plus faciles à manipuler et présentant de plus fortes concentrations en éléments nutritifs. Faf de Mello et al. [14] considère que le limbe donne les meilleurs résultats.

tats. Ces divergences de vues nous ont conduit à reprendre cette étude (*M. Braud [3]*). Limbes et pétioles présentent des coefficients de corrélation équivalents entre teneurs en potassium et doses de potassium apportées au sol. Par contre, la sensibilité de la mesure, précisée par le coefficient de régression linéaire entre ces deux données, montre que le pétiole est préférable au limbe. Toutes nos études sur les analyses foliaires utilisent le pétiole comme organe échantillonné (tableau 1).

1.2. Position du pétiole

De nombreux chercheurs, particulièrement de l'école américaine, prélèvent la quatrième feuille au sommet du plant considérée comme la première feuille mature. L'IRCT préfère, d'une façon générale, prélever la feuille située à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement, feuille également considérée comme mature. La comparaison des deux méthodes, faite uniquement avec l'élément azote, n'a pas montré de différence entre les deux méthodes d'échantillonnage (*M. Braud [3]*). D'une façon générale nous conservons notre méthode, plus facile à vulgariser et permettant une meilleure liaison avec l'âge physiologique du plant. Par contre, le premier échantillonnage est utilisé pour des études dynamiques recouvrant la totalité de la vie du plant du cotonnier.

1.3. L'âge du plant

L'influence de l'âge du plant sur les teneurs en potassium des feuilles de cotonniers est bien connue (*M. Braud et al. [3]*, *F. S. Fulmer et al. [8]*, *G. H. Hardy [11]*, *E. J. Kamprath et al. [13]*, *A. L. Page et al. [15]*, *G. Samuels [16]* et *T. C. Tucker [17]*). En 1971, une étude plus exhaustive du problème, réalisée dans plusieurs pays d'Afrique tropicale, a donné les résultats illustrés par la figure 1. Il apparaît nécessaire de connaître l'âge du plant pour pouvoir interpréter un résultat d'analyse pétiole. Mais l'information donnée par le nombre de jours écoulés entre la levée et la date de prélèvement est beaucoup trop fonction de l'écologie pour être retenue. Nous lui préférons un «âge physiologique» défini par le niveau de floraison qui représente la moyenne des numéros des branches fructifères où l'on a prélevé les feuilles correspondant à une fleur ouverte le jour du prélèvement.

Tableau 1. Coefficient de corrélation et coefficient des droites de régression entre les teneurs en potassium dans les limbes et les pétioles et les doses d'engrais potassiques

Echantillonnage	Nature de l'échantillon	r	b
A	limbe	0,84 ⁺⁺	15,6
	pétiole	0,91 ⁺⁺	39,2
B	limbe	0,94 ⁺⁺⁺	12,6
	pétiole	0,98 ⁺⁺⁺	48,6
C	limbe	0,95 ⁺⁺⁺	20,0
	pétiole	0,94 ⁺⁺⁺	42,5

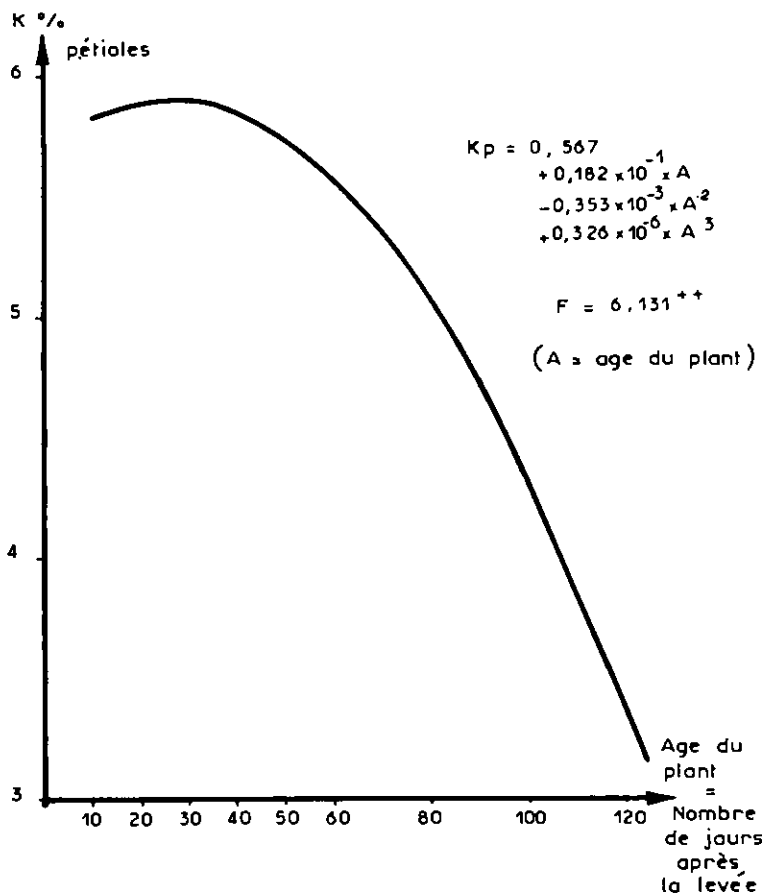


Fig. 1. Relation entre les teneurs en potassium des pétioles et l'âge des cotonniers en présence d'une fumure NSPKB (Afrique Tropicale, 1971)

1.4. Interaction avec les autres éléments

Une étude réalisée en Afrique tropicale montre que le retrait des éléments azote, soufre et phosphore d'une fumure complète NSPK a une influence faible sur les teneurs en potassium des pétioles. Le résultat le plus significatif est obtenu avec le soufre, en relation avec l'importance de la déficience potassique.

Teneur en potassium des parcelles avec fumure NSPK: 4,43%

Teneur en potassium des parcelles avec fumure NPK: 4,55%.

Bien que statistiquement significatif cet effet peut être considéré comme peu important en regard de l'influence des autres facteurs.

1.5. La variété

La différence de comportement des variétés de cotonniers vis-à-vis de la déficience potassique est connue (*J. Halevy et al. [9, 10], G. Samuels [15]*). En Haute-Volta (*M. Braud [4]*), l'influence de la variété sur les teneurs en potassium des pétioles a été confirmée (tableau 2).

L'absence d'observations sur l'âge physiologique des cotonniers ne permet pas une interprétation précise et sûre de ces résultats. Il est tentant de les rapprocher de l'observation assez générale montrant une plus grande sensibilité du BJA vis-à-vis de la déficience potassique.

1.6. Economie de l'eau

La liaison entre la nutrition potassique et l'alimentation hydrique des plants a été étudiée (*R. Blanchet et al. [1]*). Nous avons caractérisé l'alimentation hydrique des cotonniers par la pluviosité de la période de 30 jours ayant précédé les prélèvements. En Côte d'Ivoire (*C. M. Bouchy et M. Déat [2]*), il apparaît que les teneurs en potassium des pétioles sont significativement influencées par la pluviosité des deuxième et troisième décades précédant le prélèvement des feuilles (tableau 3), en présence d'une fumure minérale NSPK.

En présence d'une fumure minérale NSPK les teneurs en potassium des pétioles du cotonnier augmentent avec l'accroissement de la pluviosité:

- Sans pluie entre le 11^e et le 20^e jour avant le prélèvement la teneur des pétioles est de K = 4,27%.
- Avec 100 mm de pluie pendant cette période cette teneur est de K = 5,08%.

Tableau 2. Influence variétale sur les teneurs en potassium des pétioles de cotonniers. Haute-Volta 1968 et 1969

Variétés	Teneurs en potassium	
	1968	1969
BJA 592	5,84 ⁺⁺	5,89 ⁺⁺
444-2	4,49	4,40
447-9	4,32	-
A 333-57	4,28	4,20
A 333-61	4,16	-
HAR 66	4,46	-
406-7	4,61	-
ppds 0,01	0,88	0,93

Tableau 3. Influence de la pluviosité de la période comprise entre le 11^e et le 20^e jour avant le prélèvement sur les teneurs en potassium des pétioles du cotonnier. Côte d'Ivoire 1965 à 1972

Fumures	% de variance expliquée	F
Avec fumure NSPK	15,1	8,373 ⁺⁺
Sans fumure	5,7	2,822
		n.s.

Interpréter un résultat d'analyse foliaire intéressant le potassium suppose donc que nous connaissions avec précision l'organe prélevé (feuille, pétiole ou limbe) et sa situation sur le plant (au sommet ou à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement) et l'âge du cotonnier. Outre ces données, précisant les conditions de prélèvement de l'échantillon, il est probable qu'une interprétation précise devrait tenir compte de la variété, de l'alimentation hydrique et d'interactions possibles avec les autres éléments minéraux. Dans cette étude nous avons essayé d'atteindre cet objectif en nous limitant à l'étude de l'effet des facteurs mesurés de façon précise :

- Age physiologique du plant (niveau de floraison).
- Interactions avec les autres éléments.

Nous n'avons pas introduit le facteur variétal qui aurait entraîné la superposition d'un facteur localisation.

2. Détermination des déficiences en potassium à partir des résultats d'analyses pétiolaires

2.1. Méthode expérimentale

La déficience en potassium a été mise en évidence en premier lieu au champ par la méthode soustractive. Un essai soustractif permet de déterminer simultanément :

- le niveau de productivité naturelle par un objet sans engrais,
- le niveau de la productivité potentielle par un objet constitué par une formule apportant les principaux éléments NSPKB,
- en particulier, l'importance relative de la déficience potassique par un objet (-K), n'apportant que les éléments NSPB.

La formule complète NSPKB sert de référence dans l'expression des résultats et on détermine ainsi l'importance relative de la déficience potassique de chaque milieu. Plus de 250 essais ont été réalisés en Afrique tropicale selon ce schéma. Tous ont fait l'objet de prélèvements foliaires. Etablir la liaison pouvant exister entre cette série de résultats agronomiques et les résultats d'analyses foliaires est apparu un objectif tout naturel, ne serait-ce que pour multiplier les informations sur telle ou telle déficience. Le but de cette étude est de montrer que des résultats d'analyses obtenus à partir d'échantillons foliaires prélevés sur les parcelles sans engrais qui définissent le milieu naturel peuvent permettre également une détermination des déficiences minérales conduisant à des résultats analogues aux résultats agronomiques issus des essais soustractifs. Le problème est ainsi ramené à trouver, en particulier pour la déficience potassique, la relation existant entre ces deux séries de résultats et à préciser sa signification.

Cette relation est une fonction de production qui exprime le résultat agronomique tel qu'il a été défini précédemment en fonction des résultats d'analyses foliaires pour l'ensemble des éléments N, S, P et K pour tenir compte des interactions éventuelles et de l'âge physiologique défini par le niveau de floraison moyen. Le calcul est fait selon la méthode de la *step-wise regression*.

Azote total, soufre et phosphore sont dosés à partir d'un échantillon de limbes. Le potassium est dosé à partir d'un échantillon de pétioles.

La répartition géographique de ces essais est la suivante:

Cameroun	44 essais (1966 à 1971)
Côte d'Ivoire	75 essais (1966 à 1970)
Dahomey	52 essais (1966 à 1971)
Haute-Volta	19 essais (1970 et 1971)
R.C.A.	16 essais (1965 à 1969)
Tchad	16 essais (1967 à 1969)
Togo	20 essais (1965, 1967, 1969, 1970).

Les ajustements linéaires et hyperboliques ont été comparés. Le meilleur a été retenu. Auparavant, on a vérifié que les ajustements hyperboliques et logarithmiques conduisaient toujours à des résultats de même qualité. Les premiers ont été retenus par simplification. Ces résultats sont résumés dans le tableau 4.

La fonction de production correspondante est:

$$\text{Rendement } (-K) = 93,11 - 71,084/K + 2,99 \times F + 2,25/S$$

K: teneur en % de matière sèche des pétioles des feuilles prélevées sur les parcelles sans engrais pour le potassium

S: teneur en % de matière sèche des limbes des mêmes feuilles pour le soufre

F: niveau de floraison.

L'étude des résidus ($\hat{y}-y$) (*M. Braud [51]*) permet d'affirmer que cette fonction a une valeur générale.

Néanmoins, il est certain que la même étude réalisée à l'échelle d'un pays (Côte d'Ivoire) ou d'une zone peu étendue (Dahomey et Togo) conduit à une précision bien supérieure (tableau 5).

Tableau 4. Analyse de la variance du rendement de l'objet (-K)

Variable indépendante	% de variance expliquée	F	Coefficient de corrélation
1/K	43,2	812,3 ⁺⁺	0,657
F	4,1	18,5 ⁺⁺	0,202
1/S	1,6	7,5 ⁺⁺	0,126
corr. multiple	48,9	75,8 ⁺⁺	0,699

K: teneur en % de matière sèche des pétioles des feuilles prélevées sur les parcelles sans engrais pour le potassium.

S: teneur en % de matière sèche des limbes des mêmes feuilles pour le soufre.

F: niveau de floraison.

Tableau 5. Comparaison des résultats de l'étude des fonctions de production de l'étude générale et des études faites en Côte d'Ivoire et au Dahomey-Togo

Etudes	% de variance expliquée	F corrélation multiple	Variables indépendantes
Etude générale	48,9	75,8++	1/K, F, 1/S
Côte d'Ivoire	72,7	36,7++	1/K, p, F, 1/P, 1/S
Dahomey+Togo	56,9	36,9++	1/K, 1/S, F

p: poids sec de l'échantillon foliaire composé de 30 feuilles.

P: teneur en phosphore des limbes en % de matière sèche.

3. Détermination des niveaux critiques

Nous reprenons la définition du niveau critique la plus généralement admise. Le niveau critique correspond à la teneur en un élément au-dessous de laquelle on observe une réponse positive à un apport de cet élément dans une fumure minérale. La moyenne des plus petites différences significatives pour l'ensemble des 242 essais ayant été retenue pour cette étude est de 10%. On est en droit d'attendre un effet positif du potassium si le rendement (-K) dans un essai soustractif est inférieur à 90% de celui de la formule complète. C'est donc ce seuil que nous adoptons pour déterminer le niveau critique pour le potassium.

Reprenons la fonction de production Rendement(-K) et supposons qu'elle soit définie uniquement par les deux facteurs K et F. L'image de cette fonction est une surface de réponse illustrée par la figure 2.

Le plan passant par le point 90 de l'axe des rendements (-K) parallèle aux axes K et F intercepte cette surface de réponse en déterminant une courbe (C) qui est le lien des points I telle qu'une teneur (K_i) en potassium du pétiole combinée avec un niveau de floraison F_i conduise à un rendement (-K) égal à 90% de celui obtenu avec la formule complète. Nous dirons que K_i est le niveau critique associé au niveau de floraison F_i . On peut aisément extrapoler à plusieurs facteurs.

La loi donnant ces différentes combinaisons est donnée pour le potassium par la formule:

$$K_c = \frac{71,08}{3,11 + 2,99 \times F + 2,25 \times S} \quad (1)$$

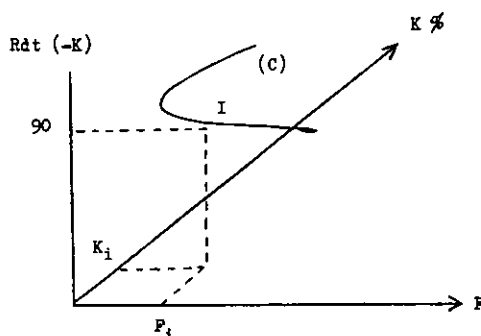


Fig. 2.

Ces relations sont illustrées par la figure 3.

4. Utilisation pratique des niveaux critiques

4.1. Détermination des déficiences minérales

Le premier objectif assigné à cette étude était la détermination des déficiences minérales pour compléter sinon remplacer les essais soustractifs réalisés au champ.

A titre d'exemple, nous avons établi pour la Côte d'Ivoire la relation existant entre les résultats intéressant la déficience potassique obtenue dans les essais soustractifs et ceux fournis par la fonction de production issue de l'étude générale ou de l'étude particulière à ce pays. Ces résultats sont résumés dans le tableau 6.

Si on considère qu'on recherche principalement une information qualitative, ces résultats montrent que la détermination de la déficience potassique peut être réalisée très valablement par analyse foliaire.

4.2 L'analyse pétiolaire, avertisseur de la déficience potassique

Dans une expérimentation pérenne réalisée en République Centrafricaine, nous avons pu observer la chronologie de l'apparition des différents symptômes de la déficience potassique: baisse des teneurs en potassium puis apparition des symptômes foliaires et enfin chute de la production coton-graine. Cette observation nous semble importante dans la mesure où l'examen des analyses pétiolaires permet de prévoir l'apparition probable d'une déficience potassique et donc de prendre les mesures de fertilisation nécessaires pour l'éviter.

Cette observation a été confirmée et précisée à partir de résultats des essais soustractifs de Côte d'Ivoire (C. M. Bouchy et M. Déat [2]). Nous avons déterminé la relation pouvant exister entre le rendement (-K) de l'année N et la baisse relative:

$$\frac{K_{NSPK} - K_{-K}}{K_{NSPK}} \times 100 \text{ observée entre les teneurs en potassium des pétioles des objets}$$

NSPK (fumure complète) et (-K) des années (N-1), (N-2) et (N-3). Ces résultats sont résumés dans le tableau 7.

La présomption d'une déficience potassique semble possible trois ans avant l'apparition effective de cette déficience et il est possible de la prévoir avec une grande probabilité deux ans avant la baisse de production par l'examen des résultats d'analyses pétiolaires. Dans la mesure où la correction de cette déficience est rapide dans beaucoup de cas, nous disposons là d'un outil précieux pour orienter la fertilisation minérale.

Tableau 6. Comparaison de la détermination de la déficience minérale par essai soustractif ou par analyse foliaire

Etudes	Coefficient de corrélation	F
Etude générale	0,736 ⁺⁺⁺	86,3 ⁺⁺
Etude Côte d'Ivoire	0,853 ⁺⁺⁺	194,2 ⁺⁺

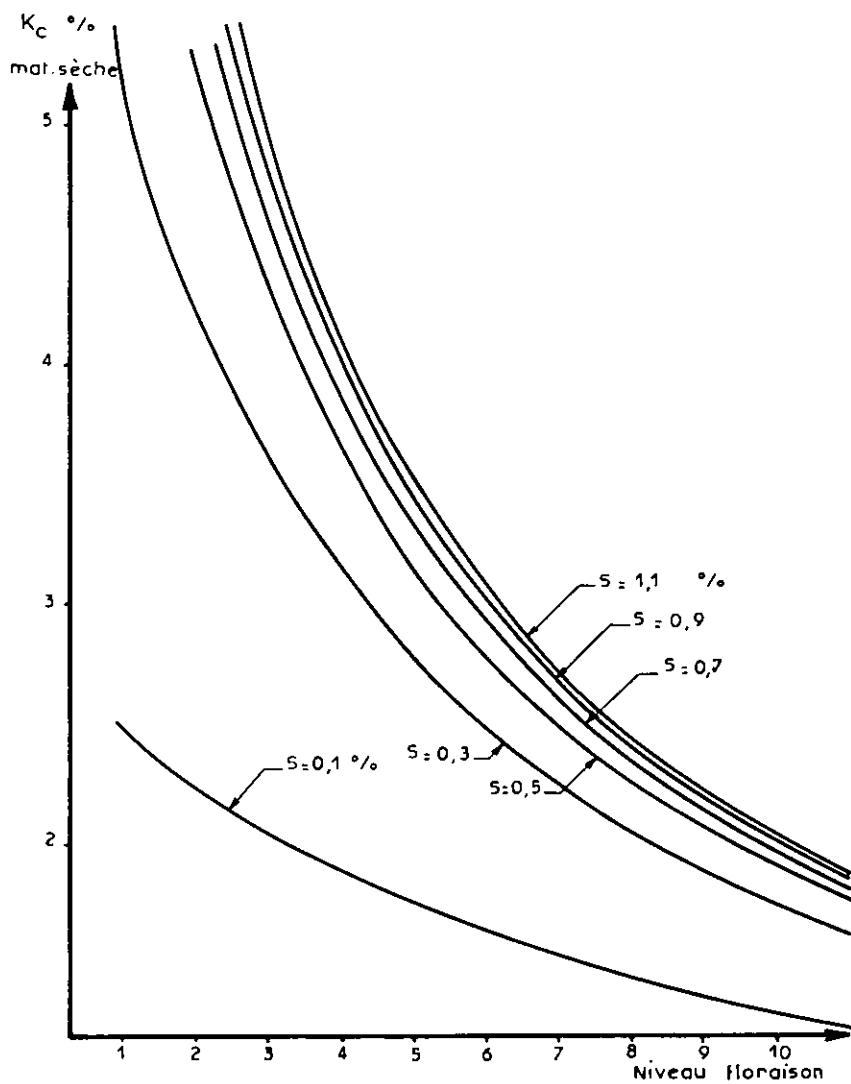


Fig. 3. Diagnostic foliaire du cotonnier – niveaux critiques du potassium (IRCT).

Tableau 7. Relation entre l'importance de la déficience potassique au cours de l'année N et la baisse relative des teneurs en potassium des pétioles au cours des années N-1, N-2 et N-3. Côte d'Ivoire 1966/67

Année de référence	Coefficient de corrélation	F
N-1	0,755+++	49,1
N-2	0,661+++	20,2
N-3	0,514+	5,4

4.3. Contrôle de l'efficience d'une fumure minérale

De nombreux essais de formules d'engrais vulgarisables ont été réalisés sur l'ensemble de l'Afrique tropicale. Des prélèvements foliaires ont été effectués et analysés. La comparaison des résultats agricoles (rendement coton-graine en kg/ha) et des résultats analytiques est possible dans chaque cas.

Un résultat d'analyse foliaire isolé de son contexte n'a pas beaucoup de signification. Une meilleure approche du problème est possible lorsque l'on peut le rapprocher du niveau critique correspondant. Mais ces deux données peuvent varier dans des limites non négligeables ce qui rend difficile la comparaison de séries de couples de résultats. Pour ces raisons, nous définissons un indice de nutrition de la façon suivante:

$$\text{indice K} = \frac{K_o}{K_c} \times 100 \quad (2)$$

K_o = teneur en potassium observée

K_c = niveau critique pour le potassium calculé à partir de la relation (1).

Cet indice a été utilisé dans deux essais de courbes d'action de fumure potassique réalisés en 1973 au Paraguay dans un milieu nettement différent du milieu d'Afrique tropicale pour vérifier le caractère universel de cet indice. Ces résultats sont illustrés par la figure 4 qui montre leur bonne cohérence: dans les conditions de ces deux essais, le rendement maximum semble atteint lorsque l'indice de nutrition potassique dépasse 90%.

4.4. Etude de l'évolution de la nutrition potassique dans des systèmes de culture

Etudier la nutrition potassique du cotonnier en un lieu donné à un instant précis est relativement facile et peut être envisagé de différentes manières. Vouloir atteindre le même objectif au sein d'une rotation plus ou moins complexe faisant intervenir de nombreux facteurs devient quasi impossible par une expérimentation directe.

La généralisation de l'utilisation de l'indice de nutrition potassique, telle que nous venons de le faire pour un cas simple, peut rendre possible une étude dynamique de la nutrition potassique en fonction des différents facteurs intervenant dans la rotation: temps de culture, temps ou types de jachère, précédent cultural, fertilisations antérieures, etc. Nous avons pu montrer (*M. Braud [5]*) l'influence positive d'une jachère à graminées sur la nutrition potassique, équivalente à celle d'un apport de fumier de ferme.

Une analyse plus précise de ces mêmes résultats en utilisant les indices de nutrition permet de hiérarchiser parfaitement les problèmes de fertilisation minérale dans une

expérimentation relativement complexe. C'est ainsi qu'en 1968, la variance des rendements coton-graine était expliquée:

- pour 34,6% par l'indice de nutrition potassique
- pour 17,8% par l'indice de nutrition phosphatée
- pour 11,3% par l'indice de nutrition azotée.

L'importance relative du facteur nutrition potassique apparaît nettement.

Une étude de ce type, à l'échelle d'une région homogène, doit permettre de situer les problèmes de nutrition potassique en rapport avec les différents facteurs du milieu de production et ensuite d'orienter un programme expérimental, peut-être en le simplifiant.

5. Conclusion

La détermination de la déficience potassique par une interprétation améliorée des analyses foliaires, premier objectif que nous nous étions fixé, peut être considérée comme effective. De ce fait, il devient possible d'étudier l'influence des nombreux facteurs de production d'ordre écologique ou technique sur l'évolution de la déficience potassique sans pour autant être contraint de mettre en place une expérimentation

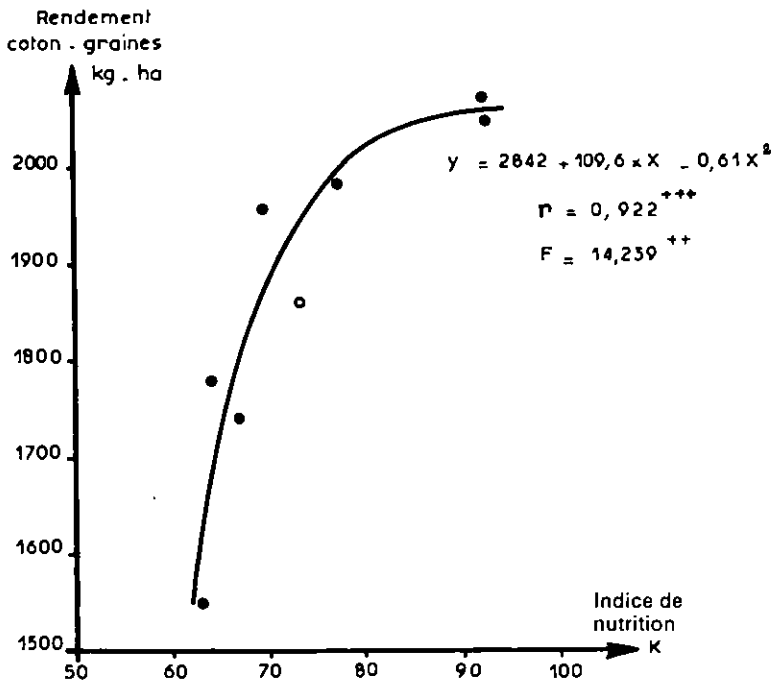


Fig. 4. Essais de courbes d'action du potassium (Paraguay, 173).

complexe. Ce résultat en lui-même peut être considéré comme très important pour l'orientation et la conception des prochains programmes de recherche agronomique. L'analyse pétioleuse peut être également utilisée à la fois pour prévenir l'apparition d'une déficience potassique et pour contrôler l'efficacité d'une fumure minérale vulgarisée.

Néanmoins, si ces résultats peuvent être considérés d'ores et déjà comme satisfaisants et opérationnels, il n'en demeure pas moins que nous avons été contraints de laisser de côté l'influence de certains facteurs (variétal, alimentation hydrique). L'utilisation de plus en plus fréquente de cet outil nous permettra de préciser ces différents points et nos recherches sont actuellement orientées dans ce sens en espérant améliorer encore nos connaissances en ce domaine.

Bibliographie

1. *Blanchet R., Studer R. et Chaumont Colette*: Quelques aspects des interactions entre l'alimentation potassique et l'alimentation hydrique des plantes. *Ann. Agro.*, 13 (2), p. 93-110 (1962).
2. *Bouchy C. M. et Déat M.*: Rapports de la Section d'Agronomie de la station IRCT de Bouaké (1965-1970) non publiés.
3. *Braud M.*: Etude de l'échantillonnage des prélèvements foliaires pour le contrôle des nutriments azotés et potassiques du cotonnier. 2^e colloque européen et méditerranéen. Séville, p. 787-802 (1968).
4. *Braud M.*: Rapport sur les analyses foliaires du cotonnier en Afrique de l'Ouest. IRCT, non publié (1970).
5. *Braud M.*: La fertilisation potassique du cotonnier en Afrique Tropicale. *Fertilité* n° 39, p. 5-16 (nov.-déc. 1971).
6. *Braud M.*: Le contrôle de la nutrition minérale du cotonnier par analyses foliaires. 3^e Colloque Européen et Méditerranéen. Budapest (1972).
7. *de Freitas L. M. M., McClung Ac. et Pimentel-Gomes F.*: Détermination des zones de déficiences en potassium pour la culture du cotonnier. *Fertilité*, 26, p. 37-47 (mars-avril 1966).
8. *Fullmer F. S. et Stromberg L. K.*: The use of plant and soil analyses as a guide to potassium needs for cotton in California. 4^e Colloque International sur l'analyse des plantes et les problèmes de fertilisation. Bruxelles (sept. 1962).
9. *Halevy J.*: Rapport entre la fumure potassique et la brunissure du cotonnier. *Rev. de la Potasse* (févr. 1966).
10. *Halevy J. et Klatter E.*: Nitrogen potassium relationships in cotton growing. *Agrochemica*, XIV, n° 5-6 (1970).
11. *Hardy G. H.*: Tissue analysis of cotton. *Plant testing. An American Potash Institut Publication.*
12. *Johan H. E.*: The nutritional status of the cotton plant as indicated by tissue tests. *Plant Physiol.*, 26, 76-89 (1951).
13. *Kamprath E. J. et Welch C. O.*: Potassium nutrition. *Adv. in production and utilisation in cotton: principles and practices*, p. 255-280 (1968).
14. *Mello F. A. F. de, Brasil Sobrinho M. de O. O. et Haag H. P.*: Contribução para o estado do aplicação de método do diagnostic foliar do algodoneiro. *Agronomica Lusitana*, p. 233-238.
15. *Page A. L., Bingham F. T., Gange T. J. et Garber M. J.*: Availability and fixation of added potassium in two Californian soils when cropped to cotton. *Soil Sc. Soc. Proc.*, 27, 3, p. 323-326 (1963).
16. *Samuels G., Rodriguez J. P. et Landran P.*: The response of cotton to fertilisers in Puerto-Rico. *J. Agric. Univ. Puerto-Rico*, 43, 9, p. 89-102.
17. *Tucker T. C.*: The cotton petiole. guide to better fertilisation. *Plant Food Rev.*, 1965, XI, n° 2, p. 9-11.

Foliar Diagnosis and Potassium Nutrition of Cotton

M. Braud, Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE), Direction générale, Paris/France

Extended Summary

1. The factors of variation for the potassium contents of cotton leaves are first examined:
 - The choice of the organ: the petiole is more sensitive than the lamina, at least for K.
 - The position of the petiole: in this study, the samples taken are of leaves located at the axis of a flower opened on the day of sampling (method offering a close link with the physiological age of the plant).
 - The age of the plant has a strong influence on the K contents: the physiological age is here defined by the flowering level.
 - The influence of the variety has been confirmed.
 - As far as interactions between elements are concerned, the most obvious one is the $S \times K$ interaction.
 - The moisture regime also intervenes (K contents of the petioles are significantly influenced by the rainfall of the 2nd and 3rd 10-day periods before the sampling).
 - The study of K nutrition presented here, covers only the influence of physiological age, and the interactions with the other elements.
2. Determination of the degree of potassium deficiency based on petiole analysis results is possible. This was done in the field by control experiments according to the subtractive method (-K). Control is also possible by the analysis of samples coming from plots without fertilizer. A production function has been set up which indicates the relative degree of the potassium deficiency, using as parameters the potassium content of the petiole, the sulphur content of the lamina, and the physiological age of the cotton plant:
Yield (-K) = $93.11 - 71.084/K + 2.99 \times F + 2.25/S$ (F = flowering level)
3. The critical level for K is defined as the content corresponding to a yield target of 90% of that given by the complete formula. An expression is proposed for estimating the critical level K_c according to the flowering level.
4. The practical use of critical levels has enabled us:
 - to study the relative degree of potassium deficiency, and its evolution, depending on various factors
 - to foresee the advent of this deficiency probably 2 years ahead
 - to estimate the efficiency of recommended manuring formulae by means of a nutrition index:
$$K \text{ index} = \frac{K_o}{K_c} \times 100$$
 (K_o : observed K content, K_c : K critical level corresponding to the conditions)
 - to study the evolution of potassium nutritional status under various land utilization systems. The use of potassic nutrition index can facilitate study of potassic nutrition, as influenced by various factors intervening in the crop rotations: period or type of fallowing, previous crop, previous fertilizations, etc....

In conclusion: as far as potassium is concerned, a refined interpretation of petiole analysis enables us to obtain very valuable data without necessarily resorting to complicated trials. Among topics not studied but still very important one must note the interaction, potassic nutrition \times water supply.

L'apparition d'une déficience potassique au cours de rotations coton/cultures vivrières sur un sol ferrallitique en République Centrafricaine

J. Dubernard, Ing. agr., Institut de Recherches du Coton et des Textiles (IRCTE), Paris/France

Résumé

Après quelques années de culture continue coton/cultures vivrières, en l'absence de fumure potassique, on constate une chute des rendements coton-graines.

Des analyses pétiolaires de potassium sur coton, indiquent que les teneurs en cet élément diminuent au cours des assolements successifs et ceci avant que les symptômes visuels de carence potassique apparaissent sur la plante.

Des analyses de sol montrent que la diminution du nombre d'années de jachère provoque un appauvrissement de toutes les bases échangeables. Ces deux phénomènes, outre la présence de jachères, sont aussi atténués par un apport régulier de fumure organique.

1. Description des essais – Conditions de l'étude

Les observations ont pour cadre deux essais pérennes [1]:

- l'un mis en place en 1958: Essai de durées de jachère
- l'autre mis en place en 1961: Essai d'assolements.

Tous les assolements proposés ont en commun le fait d'associer une culture industrielle (le coton) à un certain nombre de cultures vivrières (l'arachide, le riz, le sésame ou le maïs) dans une rotation sans jachère ou avec 1 à 4 ans de jachère.

L'essai de durées de jachère comporte deux types de fumure:

Fumure A: 20 t/ha de fumier

Fumure B: fumure minérale

200 kg/ha de sulfate d'ammoniaque

190 kg/ha de phosphate bicalcique

30 kg/ha de perlurée.

L'essai d'assolements ne comporte qu'un type de fumure:

Fumure C: 75 kg/ha de sulfate d'ammoniaque

90 kg/ha de phosphate bicalcique

40 kg/ha de perlurée.

L'essai de durées de jachère comporte 4 types de rotations:

- I sans jachère
- II 3 ans de culture – 2 ans de jachère
- III 3 ans de culture – 3 ans de jachère
- IV 3 ans de culture – 4 ans de jachère.

Tous les labours sont effectués en culture mécanisée, les façons culturales d'entretien sont effectuées manuellement.

L'essai d'assolements comporte 4 types de rotations:

- I sans jachère
- II 4 ans de culture – 4 ans de jachère
- III 2 ans de culture – 2 ans de jachère – 2 ans de culture – 2 ans de jachère
- IV Coton après longue jachère (7 ans).

Les rendements coton-graines de chacun des assolements peuvent être comparés aux rendements obtenus sur les parcelles de la rotation IV qui sert de témoin pour l'année. Toutes les façons culturales sont effectuées manuellement.

2. Résultats coton-graines et résultats analyses pétiolaires

2.1. Essai de durées de jachère

Les résultats de l'année 1964 (tableau 1), donc après 7 ans de culture, montrent que la supériorité de la fumure organique (fumure A) diminue avec l'augmentation du nombre d'années de jachère:

- sans jachère la fumure A l'emporte sur la fumure B de 37,6%
- avec 4 ans de jachère A l'emporte sur la fumure B de 5,8%.

Les différences de teneurs en potassium sont également atténuées (de 31,5 à 13,7%) par la présence de jachère.

Sauf pour la rotation IV, les teneurs en potassium sont faibles (niveau critique 2%) [2], cependant aucun symptôme visuel de déficience potassique n'est encore apparu sur la culture.

Tableau 1. Essai durées de jachère; résultats de la campagne 1964

	Type de fumure	Rendement en kg/ha de coton-graines	K en % dans le pétiole
I Rotation sans jachère	A	1612 (100,0%)	1,66 (100,0%)
	B	1006 (62,4%)	1,14 (68,7%)
II Rotation avec 2 ans de jachère (1960/61)	A	1429 (100,0%)	1,72 (100,0%)
	B	1287 (90,0%)	1,27 (73,8%)
III Rotation avec 3 ans de jachère (1959/60/61)	A	1441 (100,0%)	1,86 (100,0%)
	B	1260 (87,4%)	1,45 (77,9%)
IV Rotation avec 4 ans de jachère de 1960 à 1963	A	1650 (100,0%)	2,34 (100,0%)
	B	1554 (94,2%)	2,02 (86,3%)

En 1965, un apport de potassium sous forme de chlorure à la dose de 100 kg/ha est réalisé sur la moitié des parcelles de la rotation I fumure B. Cet apport de fumure potassique n'a aucun effet sur les rendements (tableau 2), mais des symptômes visuels de carence potassique très avancée apparaissent sur certains plants des parcelles ayant reçu la fumure B seule, ce qu'explique la chute importante (54,6%) de la teneur en potassium dans le pétiole (tableau 2).

Les résultats obtenus en présence de jachère confirment la supériorité de la fumure A et une nutrition potassique satisfaisante. Ce classement des résultats s'est confirmé jusqu'en 1969, dernière année de l'étude. Il est plus intéressant à partir de 1966, de suivre uniquement l'évolution des rendements et des teneurs en potassium des cotonniers de la rotation I.

En 1966, l'apport de potassium a un effet très positif sur le rendement coton-graines (tableau 3), bien que les teneurs en potassium restent faibles. Par contre, à partir de 1967 et jusqu'en 1969, les teneurs en potassium pétiolaire augmentent (de 50% en 1968, de 10% en 1969) avec l'apport d'une fumure potassique sans un effet significatif sur l'augmentation du rendement coton-graines.

2.2. Essai d'assolements

Après 4 ou 5 ans de culture, la diminution des rendements coton-graines et des teneurs en potassium dans le pétiole va de pair avec l'intensification du rythme des cultures qui a précédé l'année d'observation (tableaux 4 et 5).

Tableau 2. Essai durées de jachère; résultats de la campagne 1965

	Type de fumure	Rendement en kg/ha de coton-graines	K en % dans le pétiole
I Rotation sans jachère	A	2239 (100,0%)	2,18 (100,0%)
	B	1799 (80,3%)	0,99 (45,4%)
	B+KCl	1805 (81,0%)	
II Rotation avec 2 ans de jachère (1961/62)	A	1938 (100,0%)	2,42 (100,0%)
	B	1800 (92,8%)	2,18 (90,0%)
III Rotation avec 3 ans de jachère (1960/61/62)	A	1629 (100,0%)	2,42 (100,0%)
	B	1403 (86,1%)	2,08 (90,1%)

Tableau 3. Essai durées de jachère; résultats de la rotation I

Année de culture	Fumure A		Fumure B		Fumure B+KCl	
	Rendement en kg/ha	K en % dans le pétiole	Rendement en kg/ha	K en % dans le pétiole	Rendement en kg/ha	K en % dans le pétiole
1966	1675	2,20	1275	1,83	1568	1,72
1967	1805	1,82	771	1,64	876	1,80
1968	1452	3,92	994	1,96	862	3,56
1969	1409	4,12	895	3,16	1065	4,12

La culture continue (assolement I) après 5 ans conduit à une baisse du niveau de fertilité de 20% et un niveau de nutrition potassique légèrement en-dessous du niveau critique (-0,1%) (tableau 5). Cependant, dès la 6^e année de culture, un épandage de potassium est réalisé sous forme de chlorure à la dose de 50 kg/ha bien qu'aucun symptôme visuel de déficience potassique ne soit apparu.

La fumure potassique est apportée sur la moitié des parcelles de l'assolement I.

La même année, l'action du potassium se manifeste sur le rendement coton-graines en conservant le niveau de fertilité (tableau 6) qui reste à 84,1% du témoin, alors que sans fumure potassique, le niveau est descendu à 70,1%.

Tableau 4. Essai d'assolement; résultats de la campagne 1964

	Précédents culturaux			Rendement en kg/ha de coton-graines	K en % dans le pétiole
	1961	1962	1963		
I	AM	C	AS	1207 (81,1%)	1,81 (76,7%)
II	AM ou AS	J	J	1361 (91,5%)	2,20 (93,2%)
III	J	C	AS	1401 (94,2%)	1,99 (84,3%)
IV	J	J	J	1488 (100,0%)	2,36 (100,0%)

Tableau 5. Essai d'assolement; résultats de la campagne 1965

	Précédents culturaux				Rendement en kg/ha de coton-graines	K en % dans le pétiole
	1961	1962	1963	1964		
I	C	AS	C	AM	1154 (81,7%)	1,90 (73,1%)
II	C	AM	J	J	1274 (90,3%)	2,32 (89,2%)
III	J	J	C	AS	1230 (87,1%)	2,28 (87,7%)
IV	J	J	J	J	1411 (100,0%)	2,60 (100,0%)

AM: arachide et maïs associés en 1^{er} cycle; C: coton; AS: arachide ou maïs en 1^{er} cycle sésame; ou riz en 2^e cycle; J: jachère naturelle.

Tableau 6. Essai d'assolement; résultats campagne 1966

	Rendement coton-graines kg/ha		K en % dans le pétiole
I sans KCl	1519	(70,1%)	1,77
avec KCl	1823	(84,1%)	1,71
II	2044	(94,3%)	2,06
III	1804	(83,2%)	1,54
IV	2167	(100,0%)	2,34

Au cours des années suivantes (tableau 7), les parcelles ayant reçu du potassium ont toujours un rendement et un niveau de nutrition potassique supérieurs à celui des parcelles sans potassium. L'apport de cet élément permet de ralentir la chute du niveau de fertilité que l'on peut estimer chaque année en exprimant les rendements de l'assolement I en % de ceux de l'assolement IV (tableau 8).

3. Résultats analyses de sol

3.1. Bilan dans l'espace réalisé en 1967 sur l'essai d'assolements

Les analyses des bases échangeables, par la méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium, ont été réalisées sur les échantillons de sol prélevés en fin de campagne, le dispositif expérimental de l'essai avec répétitions dans l'espace et dans le temps permet de comparer les analyses d'échantillons provenant de parcelles cultivées en coton en 1967 avec les précédents suivants :

Assolement I	6 ans de culture alternée coton-cultures vivrières
Assolement II	2 ans de jachère – 2 ans de culture – 2 ans de jachère
Assolement IIIa	2 ans de culture – 4 ans de jachère
Assolement IIIb	4 ans de jachère – 2 ans de culture
Assolement IV	6 ans de jachère.

Tableau 7. Essai d'assolement; résultats assolement I

Année	Sans KCl		Avec KCl	
	Rendement en kg/ha	K en %	Rendement en kg/ha	K en % dans le pétiole
1966.....	1519	1,77	1823	1,71
1967.....	887	1,48	1142	1,73
1968.....	724	2,01	940	2,74
1969.....	552	2,45	714	3,38

Tableau 8. Essai d'assolement. Assolement I. Baisse du niveau de fertilité (rendement des parcelles de l'assolement IV égal à 100)

Années	Sans KCl	Avec KCl
1966.....	70,1%	84,1%
1967.....	61,7%	69,3%
1968.....	44,6%	58,0%
1969.....	37,5%	61,5%

Les teneurs en bases échangeables dans le sol (tableau 9) [3] suivent la même évolution que les rendements coton-graines et les teneurs en potassium dans le pétiole. Pour ces trois groupes d'observation, les assolements se classent dans l'ordre décroissant suivant :

- Assolement IV
- Assolement IIIa
- Assolement II
- Assolement IIIb
- Assolement I avec KCl
- Assolement I sans KCl

La figure 1 montre bien la tendance à la classification précitée.

3.2. Bilan dans l'espace réalisé en 1967 sur l'essai durées de jachère

Les prélèvements furent réalisés dans les mêmes conditions que pour l'essai d'assolements, sur des parcelles ayant les précédents suivants :

- Assolement I 10 ans de culture continue alternée coton/cultures vivrières
- Assolement II 2 ans de culture – 2 ans de jachère – 3 ans de culture – 2 ans de jachère – 1 an de culture.

Pour cet essai, l'impossibilité de comparer les quatre assolements (en 1967, les assolements III et IV sont en jachère) diminuent de beaucoup l'intérêt et la précision des

Tableaux 9 et 10. Essai d'assolement. Résultats analyses de sol – Campagne 1967

Assolements	En méq. pour 100 g de sol		
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
I sans KCl	0,82 (35,0%)	0,40 (33,3%)	0,25 (51,0%)
I avec KCl	1,16 (49,6%)	0,66 (55,0%)	0,33 (67,3%)
II	1,69 (72,2%)	0,96 (80,0%)	0,84 (171,4%)
IIIa	2,37 (100,0%)	1,08 (90,0%)	0,54 (110,2%)
IIIb	1,20 (51,3%)	0,84 (70,0%)	0,34 (69,0%)
IV	2,34 (100,0%)	1,20 (100,0%)	0,49 (100,0%)

Assolements	Mg ⁺⁺	K ⁺
	K ⁺	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺
I sans KCl	1,61	0,24
I avec KCl	2,00	0,18
II	2,43	0,15
IIIa	2,00	0,16
IIIb	2,62	0,16
IV	2,44	0,14

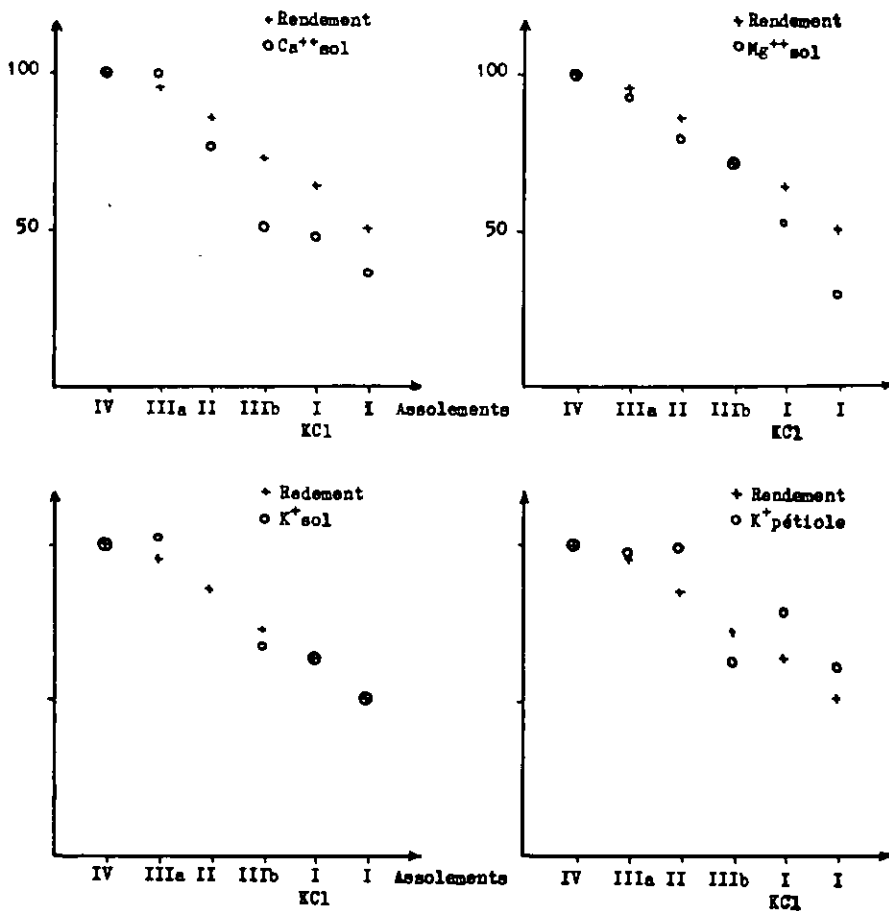


Fig. 1. Essai d'assolements

résultats. Il semblerait cependant qu'ici, l'influence du type de fumure l'emporte sur celle de deux ans de jachère (tableaux 11 et 12). L'effet bénéfique de la fumure organique est particulièrement net pour l'assolement I, avec la classification suivante:

- Assolement Ia (avec fumure organique)
- Assolement Ib avec KCl (avec fumure minérale)
- Assolement Ib sans KCl (avec fumure minérale).

La figure 2 semble indiquer que seules les teneurs en potassium dans le sol et dans le pétiole peuvent être reliées aux rendements coton-graines si on adopte cette classification.

Tableaux 11 et 12. Essai durées de jachère; résultats analyses de sol — Campagne 1967

Assolements	Még. pour 100 g de sol		
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
Ia avec fumure organique	2,16 (100,0%)	1,05 (100,0%)	0,93 (100,0%)
Ib avec fumure minérale			
sans KCl	1,47 (61,8%)	0,84 (80,0 ^o / ₁₀)	0,93 (100,0 ^o / ₁₀)
avec KCl	1,33 (61,6%)	0,88 (83,8 ^o / ₁₀)	0,36 (88,7 ^o / ₁₀)
IIa avec fumure organique	1,71	1,11	0,53
IIb avec fumure minérale	1,14	0,72	0,38

Assolements	Mg ⁺⁺	K ⁺
	$\frac{K^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}$	$\frac{K^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}$
Ia	1,13	0,29
Ib sans KCl	3,11	0,12
avec KCl	2,44	0,16
IIa	2,09	1,88
IIb	1,89	2,04

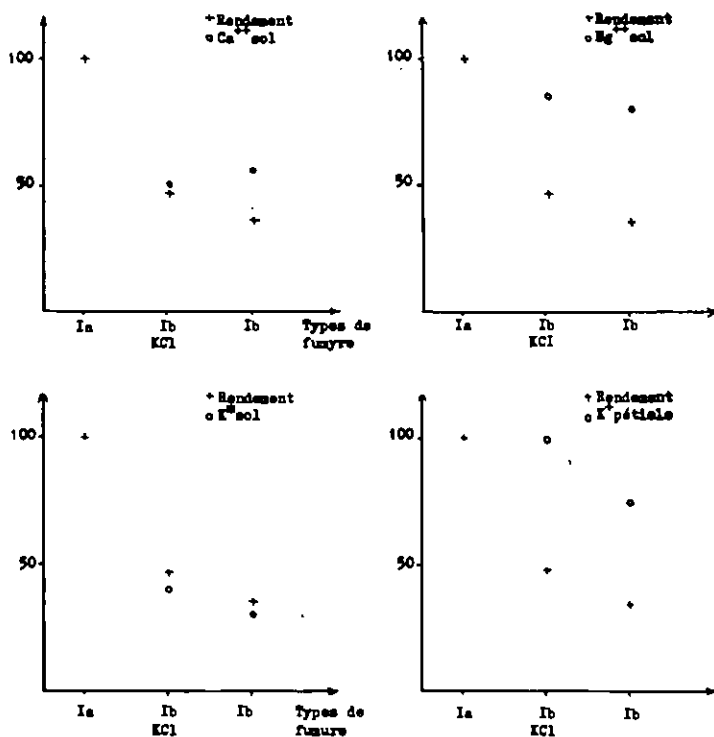


Fig. 2. Essai durées de jachère.

4. Synthèse des bilans effectués en 1967

Chaque assolement est caractérisé par une série d'observations analytiques :

- rendement coton-graines
- teneur en potassium dans le pétiole
- teneur en potassium dans le sol
- teneur en calcium dans le sol
- teneur en magnésium dans le sol.

On peut donc écrire une matrice de résultat dont les lignes correspondent à un assolement et les colonnes aux résultats analytiques définissant cet assolement. Par l'utilisation du système STATPACK [4], il est possible d'effectuer les calculs statistiques permettant de mettre en évidence les relations existant entre les différentes observations.

4.1. Essai d'assolements

Le calcul des coefficients de corrélation entre deux observations indiquent les corrélations intéressantes suivantes :

- Le rendement coton-graines est corrélé avec
 - le calcium dans le sol (R = +0,913)
 - le magnésium dans le sol (R = +0,814)
 - le potassium dans le sol (R = +0,764)
 - le potassium dans le pétiole (R = +0,736)
- Le potassium dans le sol est corrélé avec
 - le calcium dans le sol (R = +0,897)
 - le magnésium dans le sol (R = +0,822)
 - le potassium dans le pétiole (R = +0,850)
 - le rendement coton-graines (R = +0,764)

Le rendement coton-graines, en utilisant la régression pas à pas, est défini par les teneurs en calcium, magnésium et potassium dans le sol selon la relation :

$$Y = 458 + 362 \text{ Ca}^{++} + 144 \frac{\text{Mg}^{++}}{\text{K}^{+}}$$

ou Y = rendement coton-graines en kg/ha

$\left. \begin{array}{l} \text{Ca}^{++} \\ \text{Mg}^{++} \\ \text{K}^{+} \end{array} \right\}$ en méq. pour 100 g de sol.

Les coefficients de régression de cette relation sont hautement significatifs à P = 0,05.

Une analyse factorielle effectuée sur la matrice des coefficients de corrélation des différentes observations définit un facteur F [5 et 6] avec lequel il existe les corrélations suivantes :

- F avec teneur en calcium dans le sol (R = +0,911)
- F avec teneur en magnésium dans le sol (R = +0,909)
- F avec teneur en potassium dans le sol (R = +0,851)
- F avec teneur en potassium dans le pétiole (R = +0,862)
- F avec le rendement coton-graines (R = +0,940).

En comparant ces résultats à la figure 1, on peut définir le facteur F comme un indice d'intensification du rythme de culture, c'est-à-dire que les cinq caractéristiques précédentes dépendent essentiellement du nombre et de la position des années de jachère au cours de la rotation et de la présence ou non de fumure potassique en l'absence de jachère.

4.2. Essai durées de jachère

Les résultats ont été traités selon les méthodes statistiques décrites pour l'essai précédent, mais le trop petit nombre d'observations ne permet pas d'obtenir des résultats suffisamment significatifs.

Cependant, une analyse factorielle met en évidence un facteur F avec lequel il existe des corrélations suivantes:

- F avec teneur en calcium dans le sol (R = +0,621).
- F avec teneur en magnésium dans le sol (R = +0,850)
- F avec teneur en potassium dans le sol (R = +0,927)

mais la corrélation de F avec le rendement est faible (R = +0,259).

Il est probable qu'avec un plus grand nombre d'observations, le facteur F pourrait être assimilé à l'effet des deux types de fumure (organique ou minérale).

5. Conclusion

Lorsqu'une carence potassique se manifeste par des symptômes visuels sur une culture de coton avec des rendements coton-graines faibles, l'apport d'une fumure potassique ne permet pas une remontée rapide du niveau de fertilité.

Il est, en effet, indispensable de pratiquer la fumure potassique dès que l'analyse pétiolaire du potassium sur coton indique des teneurs voisines du niveau critique, phénomène qui se produit avant l'apparition des symptômes visuels de carence potassique.

Remerciements

Nous remercions Monsieur *Dabin* qui a bien voulu nous accueillir dans son laboratoire de Pédologie Appliquée au SSC-ORSTOM de Bondy ainsi que Messieurs *Lang* et *Fillman* pour leur collaboration technique.

Nous remercions également Monsieur *Braud* qui nous a permis de donner un support statistique à notre étude.

Bibliographie

1. *Braud M., Dubernard J. et Fritz A.*: Rapports annuels de la Section d'Agronomie Générale de la station IRCT de Bambari (RCA) de 1964 à 1969. Documents non publiés.
2. *Braud M.*: Analyses foliaires sur cotonnier; 1967. Documents IRCT non publiés.
3. *Dabin B.*: Résumé des valeurs caractéristiques de l'analyse des sols tropicaux. Documents ORSTOM non publiés.
4. *Service Bureau IBM*: Programme de statistiques ***STATPACK.
5. *Thomson*: Analyses factorielles des aptitudes humaines.
6. *Morrison D. F.*: Multivariate statistical methods.

Appearance of Potash Deficiency in the Course of Rotations Cotton/Food Crops on a Ferrallitic Soil in Centrafrican Republic

J. Dubernard, Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE), Paris/France

Extended Summary

Observations have been made in two long term trials which include cotton and food crops (peanut, rice, sesame or maize) in a crop rotation with 0 to 4 years fallow. The 1st (1958) trial called "duration of fallow" includes treatments A, organic manuring (20 t/ha of farm yard manure) and B, NP inorganic manure (200 kg/ha of ammonium sulphate, 30 kg/ha of urea and 190 kg/ha of dibasic calcium phosphate). The second one (1961) called "crop rotation" includes only one NP manure type (75 kg/ha of ammonium sulphate, 40 kg/ha of urea, 90 kg/ha dibasic calcium phosphate).

Raw cotton (i.e. fibre plus seed) yields and petiole analysis results

Table 1 (see French version) gives the 1964 results for the 1st trial. The superiority of A, organic manure, decreases, and the petiole K content increases, with the increasing number of fallow years. Except for crop rotation IV with 4 years of fallow the K contents are low (well under the critical level of 2%) although no visual deficiency symptom occurs. In 1965, 100 kg/ha of muriate of potash were applied on half of the plots of rotation I without fallow receiving a NP manure. This dressing does not produce a quick raising of the fertility level (Table 2, see French version). In order to avoid a yield drop it is advised to apply potash manure as soon as petiole analysis indicates K contents close to the critical level, a phenomenon which occurs before the appearance of visual deficiency symptoms. In Table 3 between 1966 and 1969 the evolution of yields and K contents of cotton plants of the rotation I without fallow may be followed. In 1966 the supply of K had an important effect on the raw cotton yields but during the other years it was not significant in spite of a petiole K being on the increase.

The 2nd trial shows that after 4 or 5 crop years (1964, 1965) the decrease of yields and K contents keeps place with the intensifying of the rhythm of cropping which took place before the observation year (Table 4 and 5, see French version). In 1966, 50 kg/ha of muriate of potash were applied on half of the plots in continuous cultivation (I). This increased the yield, which did not, however, reach that of plots with a high number of fallow years (Table 6, see French version). During the subsequent years (Table 7, see French version) plots having received potash always had decline of yields and potash nutrition levels higher than those plots without K. The yields were much slowed down. Table 8 (see French version) shows these yields for 1966 to 1969, as % of those of the rotation IV which had a large number of fallow years.

Soil analysis results

In the crop rotation trials, the levels of soil exchangeable bases, determined after a cotton crop in 1967, were following the same evolution as the raw cotton yields and the petiole K contents (Table 9 and graph 1, see French version). In the trial with variable fallow durations, comparisons between plots were more difficult. It seems that the influence of the manuring type was stronger than that of 2 years' fallow (Table 11, see French version). The graphs 2 (see French version) seem to indicate that only the K contents in the soil and in the petiole can be linked to the raw cotton yields.

Synthesis of balance studies carried out in 1967

In the rotation trial the raw cotton yield is correlated with Ca, Mg and K in the soil, and K in the petiole. K in the soil is correlated with Ca, Mg in the soil, K in the petiole and the raw cotton yield. A factorial analysis allows definition of a factor "F", or crop rhythm intensifying index, correlated with Ca, Mg and K in the soil, K in the petiole, and with the yield. Thus these 5 characteristics are particularly dependent on the number and the position of fallow years during the rotation, and on the presence or absence of potash manure in the absence of fallow.

In the trial with variable duration of fallow, a factorial analysis shows a factor "F" correlated with Ca, Mg and K in the soil, but the number of observations was too low to allow very significant results to be obtained.

Bilan et dynamique du potassium sous cultures fourragères en zone tropicale humide

G. Hainaux, J.-C. Talineau, C. Fillonneau, B. Bonzon, D. Picard et M. Sicot,
Laboratoire d'Agronomie, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
(ORSTOM), Centre d'Adiopodoumé/Côte d'Ivoire

Résumé

Quelques résultats expérimentaux concernant la dynamique et l'évolution du bilan en potassium échangeable sous culture fourragère sont présentés.

Dans le cas de traitements non fertilisés, la teneur en potassium échangeable diminue d'abord fortement puis se stabilise du fait de la libération d'une fraction des réserves en potassium total.

Les apports d'engrais, outre leur action sur la production fourragère, sont, dès lors qu'ils sont excédentaires par rapport aux exportations, en partie utilisés pour recharger le complexe absorbant du sol, en partie perdus par lixiviation. L'importance relative de ces deux phénomènes est discutée.

1. Introduction

Pour répondre à une demande toujours croissante en produits agricoles et éviter les aléas liés à la monoculture, l'intensification des systèmes de production et la diversification des cultures deviennent des nécessités dans la plupart des pays tropicaux.

La mise en place des nouveaux systèmes de culture se fait le plus souvent dans le cadre d'opérations de développement intégré. Elle résulte plus de choix nécessaires au niveau de la planification que d'une lente et progressive évolution au niveau de la pratique agricole.

Une voie d'intensification est le passage à la culture continue, les rotations à mettre en place pouvant englober ou non une sole fourragère.

En Côte d'Ivoire plusieurs graminées et quelques légumineuses peuvent être utilisées pour la constitution de prairies à bonne productivité. Toutefois, les éléments dont on dispose pour effectuer un choix en ce qui concerne leur rôle dans le maintien de la fertilité sont encore peu nombreux.

Afin, d'une part, de mettre à la disposition du planificateur et de l'utilisateur des références permettant de mieux asseoir les choix et les thèmes de vulgarisation et, d'autre part, de dégager et d'élaborer des relations générales constitutives d'une «théorie agronomique» qui permettent d'agir avec un minimum de risque et d'orienter plus efficacement les objectifs de la recherche appliquée, la section d'agronomie de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire a entrepris l'étude des principaux facteurs mis en jeu dans les interactions entre sol et plantes fourragères.

A cet effet, une expérimentation a été mise en place en 1967 dans trois complexes «climat-sol» différents. Elle a comporté successivement :

- une culture de maïs destinée à évaluer l'hétérogénéité initiale des parcelles dans chaque zone d'implantation,
- trois ou quatre années de culture fourragère durant lesquelles fut suivie l'évolution des propriétés physiques, physico-chimiques et chimiques du sol,
- trois cycles successifs de maïs destinés à juger des arrières-effets des plantes fourragères.

Les résultats présentés ici sont ceux obtenus durant la phase fourragère sur le Centre de Recherches Zootechniques de l'EMVT*, à Bouaké. Ils concernent principalement le bilan et la dynamique du potassium estimés à l'échelle de l'année. Le dépouillement complet de l'ensemble des données expérimentales, actuellement en cours, permettra une approche plus fine à l'échelle de la saison.

2. Conditions expérimentales

2.1. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un essai factoriel du type 2⁴ à deux répétitions dont les traitements sont les suivants :

- 2 familles de plantes : graminées, légumineuses ;
- 2 ports au sein de chacune de ces deux familles : port dressé (*Panicum maximum* clone G 23** et *Stylosanthes guyanensis*) et port stolonifère ou rampant (*Cynodon aethiopicus* et *Centrosema pubescens*) ;
- 2 rythmes d'exploitation ;
- 2 niveaux de fertilisation (avec et sans).

Les produits des fauches sont exportés ; les quantités d'engrais utilisées sur les traitements fertilisés figurent au tableau 1 ; les apports sont faits trois fois par an après les fauches communes à tous les traitements qui ont lieu aux principaux changements de saisons.

Tableau 1. Apports annuels d'engrais

Apports en kg/ha	Graminées			Légumineuses		
	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année
k de N/ha	150	750	750	30	0	0
k de P/ha	33	98	98	33	76	49
kg de K/ha	125	622	622	125	510	303
kg de Ca/ha	66	328	328	44	329	165
kg de Mg/ha	0	116	116	0	116	58

* Ce programme d'étude a fait l'objet d'une collaboration entre le Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire, l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire en Pays Tropicaux (IEMVT), l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières (IRAT), d'une part, l'ORSTOM, d'autre part.

** Ce clone a été introduit en Côte d'Ivoire et sélectionné par le Laboratoire de Génétique du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

2.2. Le sol

Les principales caractéristiques du sol sur lequel était installé l'essai figurent au tableau 2 qui appelle, en ce qui concerne le potassium, la remarque suivante: alors que le potassium échangeable est peu abondant (environ 100 ppm), le potassium total qui provient essentiellement des feldspaths (orthose) et micas (muscovite) issus de la roche-mère granitique est mieux représenté mais reste faible. D'environ vingt fois supérieur au potassium échangeable, il constitue 35% des réserves en bases totales. En outre, les argiles présentes dans ce sol sont essentiellement kaolinitiques comme le confirment les diagrammes de diffraction des rayons X.

Tableau 2. Caractéristiques physiques et chimiques du sol étudié.

Horizons (cm)	0-10 cm	10-25 cm	25-45 cm	45-85 cm
Gravillons, % - $\varnothing > 2$ mm	8,5	21,5	26,3	30 à 70
Argiles + limons, %	18,1	18,6	33,5	37,0
Carbone total, ‰	9,81	9,57	5,84	4,79
Azote total, ‰	0,78	0,75	0,61	0,57
P ₂ O ₅ Olsen, ‰	0,07	0,06	0,03	-
P ₂ O ₅ total, ‰	0,45	0,43	0,33	-
pH	6,0	5,8	5,7	5,5
Capacité d'échange T en m \dot{e} q./100 g	6,36	6,38	6,13	6,10
Bases échangeables T en m \dot{e} q./100 g	3,38	3,33	2,23	1,88
K ⁺ échangeable	0,28	0,24	0,15	0,12
Taux de saturation V en %	59	58	57	56
K total en m \dot{e} q./100 g	4,34	4,02	3,52	-

2.3. Le climat

Les données climatiques de la station sont résumées sur la figure 1.

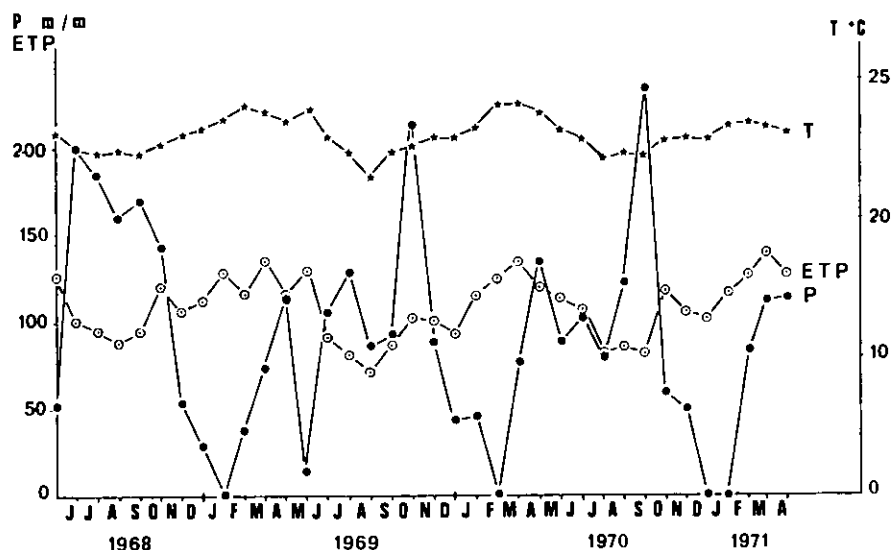


Fig. 1. Données climatiques de la station de Bouaké.

La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 1200 mm. La région de Bouaké, qui se présente comme une zone de transition entre celle ayant un régime à deux saisons des pluies au Sud et celle ayant un régime à une saison des pluies au Nord, a, de ce fait, un régime des pluies très irrégulier. Durant l'expérimentation, alors que la première année peut être considérée comme normale (1247 mm), les seconde et troisième années ont été déficitaires (1046 et 873 mm).

Toutefois, environ deux mois par an (septembre-octobre), la pluie est largement supérieure à l'ETP ce qui, compte tenu des possibilités de réserves en eau du sol (en moyenne 1 mm par cm), peut amener un drainage important; drainage qui peut survenir surtout à l'occasion d'orages violents.

3. Résultats obtenus – Discussion

3.1. Le potassium dans la plante

Outre la production fourragère, ont également été mesurées à chaque campagne de prélèvement:

- la masse des chaumes et de la litière,
- la masse des racines.

A partir de ces données et des résultats des analyses chimiques pratiquées sur chacun des échantillons correspondants, il a été possible d'estimer la consommation nette totale des plantes en éléments minéraux (exportations cumulées par le produit des fauches et immobilisations instantanées par les chaumes et les racines).

3.1.1. La production de matière sèche

Les résultats moyens figurent au tableau 3; les traitements «rythmes de fauche» ne présentant pas de différences significatives ont été regroupés. Ils montrent:

- 1^o que, sans apports d'engrais, la production chute brutalement après la première année, ceci étant d'autant plus net que les plantes ont une productivité élevée;
- 2^o que les apports calculés a priori pour compenser les exportations permettent le maintien de la production jusqu'en troisième année chez les graminées, mais non chez les légumineuses à cause probablement d'une inadaptation pour ces espèces des formules et des doses utilisées:
 - aucun apport d'azote après l'implantation;
 - rapport (Ca + Mg)/K des engrais trop faible.

3.1.2. Les teneurs en potassium (cf. tableau 4)

Initialement voisines de 2% pour tous les traitements, ces teneurs:

- 1^o ont diminué régulièrement sur les traitements non fertilisés (des symptômes de carence se manifestant d'ailleurs dès la fin de la première année);
- 2^o se sont maintenues et parfois ont augmenté sur les traitements fertilisés. Il a pu y avoir, en particulier dans le cas des légumineuses, consommation de luxe, car, bien que les teneurs se maintiennent, la production de matière sèche diminue considérablement, probablement du fait de facteurs limitants autres que le potassium.

Tableau 3. Productions fourragères annuelles et biomasses résiduelles en t de matière sèche/ha

Traitements* Plante × Fertilisation	Production fourragère annuelle			Résidus de récolte après 1, 2 et 3 années			
	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	
<i>Panicum maximum</i>	O	23,9	8,7	4,3	8,3	6,1	7,3
	F	30,8	22,8	26,2	9,3	7,8	9,6
<i>Cynodon aethiopicus</i>	O	16,9	8,6	4,8	9,5	6,6	9,1
	F	19,7	17,3	18,3	9,3	7,9	12,5
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	O	14,4	6,1	3,9	7,4	5,8	6,1
	F	18,0	9,0	4,0	5,6	5,5	5,4
<i>Centrosema pubescens</i>	O	7,2	4,8	2,7	8,8	6,1	8,0
	F	8,3	5,9	4,2	6,5	6,5	7,8

*O = traitements non fertilisés; F = traitements fertilisés.

Tableau 4. Teneurs moyennes et exportations en potassium

Traitements* Plante × Fertilisation	Teneurs moyennes en pour-cent			Exportations en kg/ha de K			
	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	
<i>Panicum maximum</i>	O	1,97	1,39	1,29	508	122	52
	F	2,27	2,40	2,50	716	542	601
<i>Cynodon aethiopicus</i>	O	1,97	1,43	1,28	310	114	59
	F	1,92	1,97	2,24	384	385	387
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	O	2,35	1,77	1,29	350	112	88
	F	2,34	2,47	2,06	385	232	94
<i>Centrosema pubescens</i>	O	2,24	1,96	1,70	164	95	51
	F	2,22	2,10	2,23	189	135	102

O = traitements non fertilisés; F = traitements fertilisés.

3.1.3. Vitesse d'absorption du potassium

Les vitesses d'absorption du potassium par les racines, exprimées en grammes de potassium absorbés par kilogramme de racines et par jour (*Blanchet, Bosc et Maertens [1970]*), et estimées à partir des exportations lors des deux premières fauches des traitements fertilisés, alors que ni la richesse du sol ni son approvisionnement en eau (ces fauches ayant eu lieu en saison des pluies) ne sont encore limitants, sont de l'ordre de:

- 3,7 g chez *Panicum*,
- 1,5 g chez *Cynodon*,
- 2,1 g chez *Stylosanthes*,
- 1,3 g chez *Centrosema*,

pour un sol d'une teneur moyenne en potassium échangeable voisine de 100 ppm. Elles se traduisent par une absorption globale par la plante entière de: 2,95 kg/ha/j chez *Panicum*; 1,60 kg/ha/j chez *Cynodon* et *Stylosanthes*; 0,75 kg/ha/j chez *Centrosema*.

Ces chiffres illustrent le pouvoir d'épuisement de ces plantes pour un sol dont le stock utile en potassium échangeable est initialement d'environ 550 kg/ha.

3.1.4. Exportations et immobilisations

Ces données, rapportées dans les tableaux 4 et 5, montrent qu'en fin de première année de culture la consommation, par rapport à celle des trois années, est de l'ordre de:

- 75% sur les traitements non fertilisés,
- 40% sur les traitements fertilisés.

Cet effet particulièrement net au niveau des parties aériennes est moins important au niveau des racines, celles-ci immobilisant après un an un stock à peu près constant d'éléments minéraux variant selon le niveau de fertilisation de 8 à 12 kg/ha chez les graminées et de 6 à 8 kg/ha chez les légumineuses.

Les exportations par les graminées sont très fortes et se maintiennent au cours des trois années à un niveau d'environ 600 kg/ha/an pour *Panicum maximum* et de 400 kg/ha/an pour *Cynodon aethiopicus*, quand on les fertilise.

Ces valeurs annuelles représentent 85% des exportations totales en trois ans pour les mêmes plantes non fertilisées.

Pour les légumineuses, les différences dues à la fertilisation sont moindres; celle-ci s'avère incapable de maintenir le niveau atteint la première année alors que les teneurs varient peu. Les exportations, proches de celles des graminées non fertilisées varient selon le traitement de:

- 500 à 700 kg/ha en trois ans pour *Stylosanthes*,
- 300 à 400 kg/ha en trois ans pour *Centrosema*.

En ce qui concerne les immobilisations dans les chaumes, la litière et les racines, elles ne représentent qu'une faible proportion des exportations sans pourtant être négligeables. Elles varient entre 100 kg/ha pour *Panicum* fertilisé et 50 kg/ha pour les autres traitements. Toutefois, il faut remarquer qu'il s'agit là d'immobilisations instantanées susceptibles d'être en partie libérées par décomposition et restituées au sol sous forme assimilable.

Tableau 5. Consommations cumulées en K après chaque campagne en kg/ha

Fauches Nos		1 ^{re} année			2 ^e année			3 ^e année		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Traitements*										
<i>Panicum maximum</i>	O	353	433	574	634	657	673	697	705	709
	F	404	544	768	968	1126	1295	1495	1703	1850
<i>Cynodon aethiopicus</i>	O	176	266	351	402	432	448	486	503	516
	F	171	291	395	508	633	768	905	1096	1188
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	O	187	304	431	476	507	508	560	597	601
	F	180	315	451	562	662	673	759	771	825
<i>Centrosema pubescens</i>	O	112	168	252	287	289	319	344	359	362
	F	111	177	248	318	368	379	462	468	476

* O = traitements non fertilisés; F = traitements fertilisés.

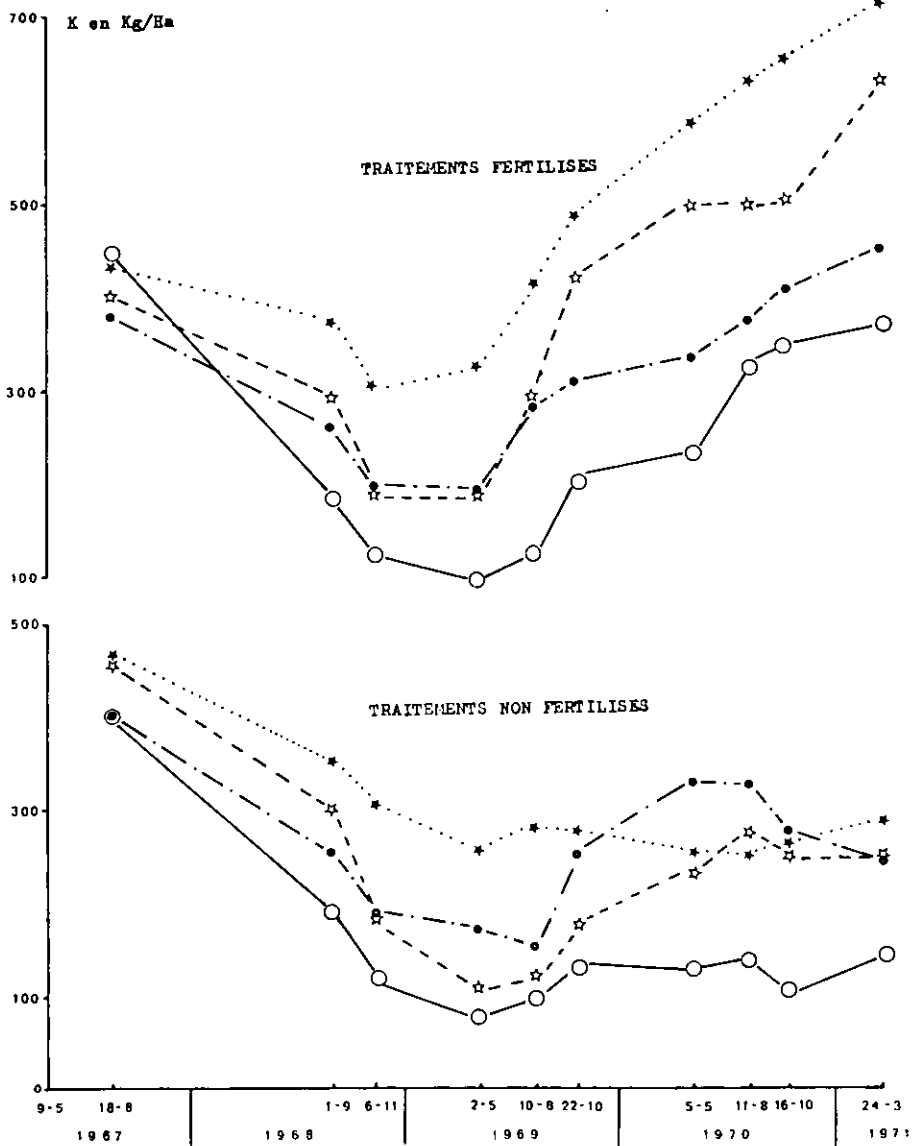


Fig. 2. Evolution du stock en potassium dans le profil 0-25 cm.

- — *Panicum maximum*
- — *Cynodon aethiopicus*
- ☆ — *Stylosanthes guyanensis*
- ★ — *Centrosema pubescens*

3.2. Le potassium dans le sol

Les stocks de potassium échangeable dans le sol ont été estimés à partir des données de l'analyse chimique: échange à l'acétate d'ammonium à pH 7, sur échantillons composites et en tenant compte du taux de gravillons de chaque horizon.

3.2.1. Evolution du stock de potassium échangeable

L'évolution dans le temps du stock en potassium échangeable est illustré par la figure 2 (évolution du stock dans l'horizon 0-25 cm) et par les valeurs de ce stock figurant dans le tableau 6: valeurs à la fin de chaque année pour les horizons 0-25 et 0-45 cm et valeurs en début et en fin d'expérimentation pour l'horizon 0-85 cm.

Tableau 6. Stock de potassium échangeable en kg/ha

Horizons × Années	Traitements non fertilisés				Traitements fertilisés			
	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema
Stock initial								
0-25 cm	401	402	456	466	448	381	404	434
1969	82	170	109	262	97	189	189	324
1970	128	329	231	253	232	334	496	586
1971	149	244	249	288	369	450	630	712
Stock initial								
0-45 cm	569	543	586	607	618	505	538	534
1969	116	278	235	399	178	262	298	419
1970	227	456	256	377	444	417	659	683
1971	293	406	332	442	512	567	781	822
Stock initial								
0-85 cm	712	757	806	839	768	659	757	971
Stock final	495	613	559	680	722	734	1064	1279

D'après ces résultats, deux périodes se différencient. En première année, il y a, quel que soit le traitement, diminution importante du stock de potassium échangeable du sol. Cette diminution est étroitement liée à la consommation par les plantes comme l'illustre la figure 3. Par la suite, l'évolution des stocks est beaucoup plus dépendante des traitements.

En fertilisant, il y a augmentation d'autant plus importante que les apports sont supérieurs aux exportations. Cet excès sert en partie à recharger le complexe absorbant du sol comme le montre le tableau 7.

Tableau 7. Evolution du rapport K/CEC dans le sol, pour-cent

	Traitements non fertilisés				Traitements fertilisés			
	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema
Valeur initiale	4,4	4,1	4,5	4,5	4,6	3,8	4,2	5,4
1969	1,6	2,7	2,2	4,3	1,7	3,6	4,2	5,5
1970	2,3	3,7	3,1	4,2	4,4	6,0	7,5	8,9
1971	3,0	3,8	4,2	4,2	5,4	7,2	10,2	11,5

Dans le cas des traitements non fertilisés le niveau se stabilise après dix-huit mois sous *Panicum* et *Centrosema* alors qu'il remonte légèrement sous *Cynodon* et *Stylosanthes*, mais sans jamais retrouver son niveau initial, traduisant dans ce cas une action probable de ces plantes sur les réserves en potassium total. Cette action se manifeste en réalité pour toutes les plantes dès la première année comme le montrent la position des points de la figure 3 (graphique mettant en relation consommation en potassium par les plantes et diminution des réserves en potassium échangeable du sol) tous situés au-dessus de la première bissectrice.

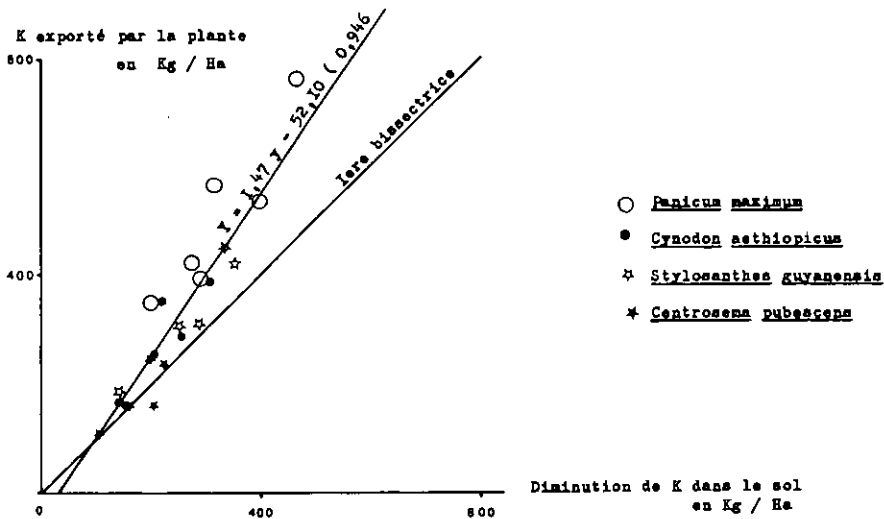


Fig. 3. Epuisement des réserves du sol en fonction de la consommation par les plantes.

3.2.2. Bilan du potassium échangeable

Compte tenu des données de l'expérimentation, il est possible, à chaque époque, d'estimer le bilan en potassium échangeable du sol par la différence (Blanchet et Bosc [1967]) entre

- d'une part, le stock à l'époque considérée augmenté des exportations et des immobilisations,
- d'autre part, le stock initial augmenté des apports.

Le signe, le niveau et l'évolution dans le temps des valeurs de ce paramètre reflètent la dynamique du potassium dans le profil.

En effet, celle-ci peut être considérée comme la résultante :

- de la remise en circuit dans le profil considéré, par l'intermédiaire de la décomposition d'une fraction des résidus de récolte et du pluviolxivage, d'une quantité d'éléments puisés plus en profondeur par les racines;
- de la transformation en potassium échangeable, sous l'effet de la culture, d'une fraction des réserves en potassium total (libération);
- de la rétrogradation d'une fraction des apports;
- de la lixiviation d'une fraction du stock échangeable.

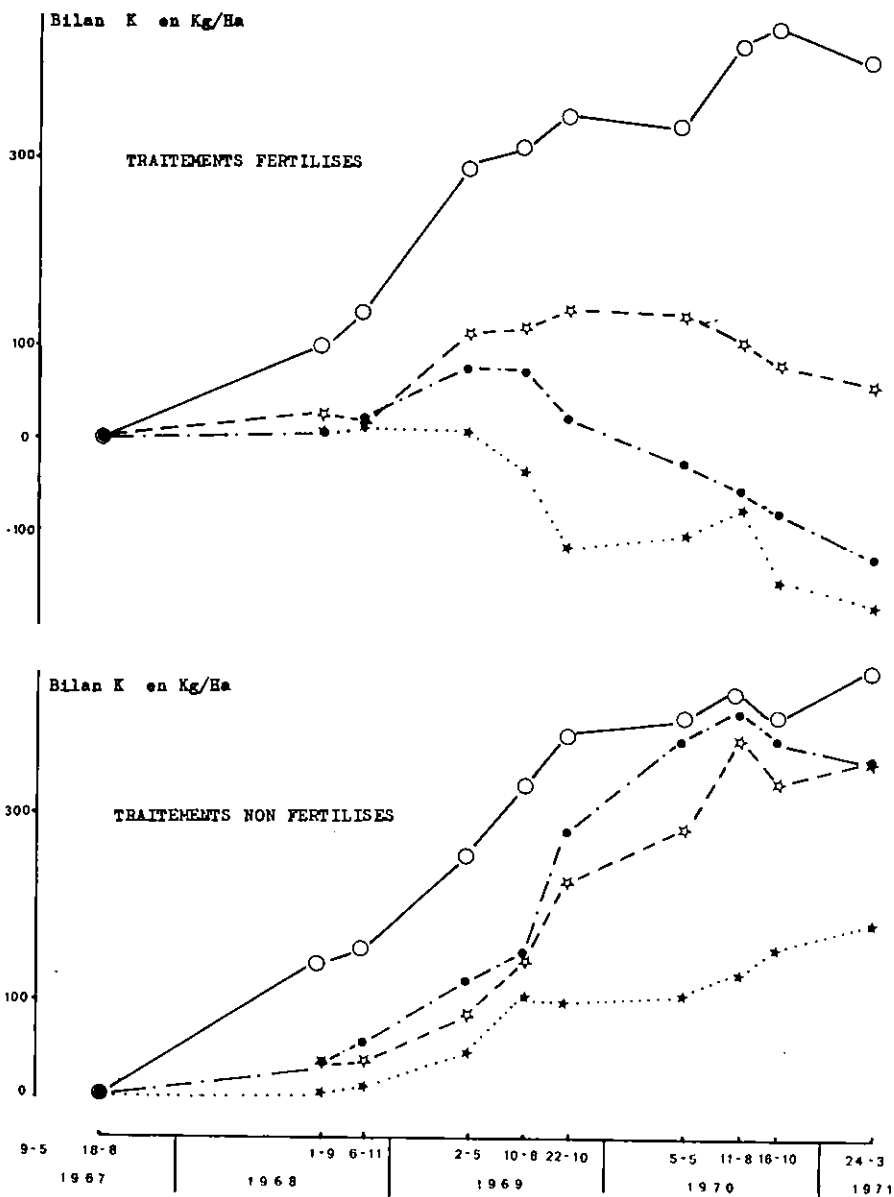


Fig. 4. Evolution du bilan en K dans le profil 0-25 cm.

- — *Panicum maximum*
- ☆ - - - *Stylosanthes guyanensis*
- - · - · *Cynodon aethiopicus*
- ★ ····· *Centrosema pubescens*

L'évolution de ce paramètre dans l'horizon 0-25 cm pour les différents traitements mis en comparaison est illustrée par les courbes de la figure 4 dont les valeurs à la fin de chaque année culturale sont reprises dans le tableau 8 pour être comparées à celles obtenues aux mêmes dates dans l'horizon 0-45 cm et à celles obtenues finalement dans l'horizon 0-85 cm.

Les valeurs positives indiquent la prédominance des deux premiers phénomènes (remise en circuit et libération), les valeurs négatives celle des deux derniers (rétrogradation et lixiviation).

Tableau 8. Bilans en potassium en kg/ha

Horizons × Années	Traitements non fertilisés				Traitements fertilisés			
	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema	Panicum	Cynodon	Stylo- santhes	Centro- sema
0-25 cm								
1969	255	120	84	47	292	77	112	13
1970	400	376	284	106	332	— 28	130	—104
1971	457	358	354	181	401	—129	59	—184
0-45 cm								
1969	120	86	78	44	203	27	87	8
1970	331	362	175	90	374	— 68	159	—109
1971	433	379	306	195	375	—136	76	—174
0-85 cm								
1971	482	372	314	192	435	—124	140	—155

Dans le cas des traitements non fertilisés, les bilans ainsi obtenus sont fortement positifs et on note qu'en fin d'expérimentation leurs valeurs pour un traitement donné sont voisines pour les trois profils (horizons) successivement étudiés. Tout semble donc se passer comme si peu de potassium était prélevé au-delà des 45 premiers centimètres dans lesquels se développent d'ailleurs 75 à 90% des racines selon les espèces. L'hypothèse de la transformation du potassium non échangeable des réserves en potassium échangeable semblerait en conséquence la plus plausible.

Ce phénomène, progressif dans le temps, met en jeu des quantités d'éléments variant de 400 kg/ha sous Panicum à 200 kg/ha sous Centrosema, quantités qui sont d'autant plus importantes que les plantes exportent plus ou manifestent une activité racinaire plus intense.

Dans le cas des traitements fertilisés ces bilans diffèrent considérablement selon les traitements: positifs et du même ordre de grandeur que précédemment sous Panicum, plante qui exporte plus qu'elle ne reçoit, ils diminuent d'importance sous Stylosanthes et deviennent même négatifs sous Cynodon et Centrosema.

Pour ces trois dernières plantes, les apports sont largement excédentaires: de l'ordre de 175 kg/ha pour Cynodon, 110 pour Stylosanthes et 450 pour Centrosema.

D'autre part, les courbes d'évolution dans le temps des bilans montrent que ces derniers décroissent dès lors que les apports sont supérieurs aux exportations. Cette évolution traduit la prédominance des phénomènes de lixiviation, la rétrogradation, compte tenu de la nature kaolinique des argiles présentes dans le sol, étant probablement de moindre importance. Cette dernière hypothèse est d'ailleurs confirmée par les variations du stock en potassium total.

Ces pertes par lixiviation peuvent être donc évaluées à 150 kg/ha lors des deux dernières années sous *Cynodon* et *Centrosema*. Sous *Stylosanthes* elles n'apparaissent qu'en troisième année et concernent environ 80 kg/ha de potassium, le bilan sur les trois années restant positif leur importance doit dépendre :

- 1° du niveau des apports instantanés par rapport au potentiel d'absorption des plantes : la comparaison entre *Panicum*, *Cynodon* et *Stylosanthes* en est un exemple ;
- 2° de la nature des engrais utilisés comme l'illustre les différences observées entre *Cynodon* et *Stylosanthes* fertilisés. Alors que ces deux plantes ont des potentiels d'absorption voisins, la graminée reçoit, outre des apports instantanés en potassium plus importants, une fumure azotée sous forme de sulfate d'ammoniaque que ne reçoit pas la légumineuse. Ces apports ont une action acidifiante et désaturante importante comme le montre l'évolution du pH dans le sol (tableau 9).

Tableau 9. Evolution du pH du sol

pH dans 0-25 cm	Sans fertilisation		Avec fertilisation	
	Graminées	Légumineuses	Graminées	Légumineuses
pH initial	5,85	5,83	5,85	6,00
1969.....	5,55	5,43	5,25	5,47
1970.....	5,32	5,12	5,05	5,62
1971.....	5,25	5,05	4,92	6,13

Il est probable que cette action se traduise sous *Cynodon* par une sensibilisation plus importante du potassium à la lixiviation, d'autant plus que le complexe absorbant du sol est pauvre et déséquilibré ;

- 3° de la formule d'engrais et en particulier de l'équilibre $K/(Ca + Mg)$ des apports, équilibre d'autant plus important que la capacité d'échange et la somme des bases échangeables du sol sont faibles.

4. Conclusion

L'étude de l'évolution des stocks et des bilans en potassium échangeable sous prairies montre qu'en système d'exploitation semi-intensif (non-fertilisation), les plantes utilisent rapidement le stock disponible dans le sol.

L'épuisement de ce stock déclenche un processus de libération mettant en jeu après trois ans jusqu'à 5% des réserves en potassium total. Toutefois, cette libération, qui se fait lentement, est incapable d'assurer un approvisionnement suffisant au maintien d'un bon niveau de production.

En système d'exploitation intensif (avec fertilisation), la dynamique du potassium est dominée par des pertes par lixiviation dès lors que les apports deviennent excédentaires par rapport à la consommation.

Il devrait être possible, de ce fait, d'en limiter l'importance en ajustant les apports aux possibilités d'absorption par les plantes.

Interviennent, cependant, forme et formule d'apport qui devraient être choisies de façon à éviter les phénomènes de compétition tant au niveau du complexe échangeable du sol qu'au niveau de l'absorption par les plantes.

Dans ces conditions, compte tenu du rôle bénéfique de la prairie sur le taux des matières organiques du sol, les excédents devraient en partie améliorer l'état du complexe absorbant essentiellement d'origine organique.

Bibliographie

- Arnold P. W. et Close B. M.*: Potassium-releasing power of soils from Agdell rotation experiment assessed by glasshouse cropping. *J. Agric. Sci.* 57: 381-386 (1961).
- Blanchet R. et Bosc M.*: Bilans en potassium et alimentation potassique des plantes en présence de rétrogradation et de libération d'ions K^+ non échangeables. *Ann. Agron.* 18, 161, 601-621 (1967).
- Blanchet R., Bosc M. et Maertens C.*: Quelques aspects des relations sol-plante dans l'alimentation minérale des cultures. *Proc. 9th Cong. Int. Potash Inst. Antibes*, p. 81-94 (1970).
- Mériaux S., Libois A. et Grosman R.*: Nouvelles données sur la fertilisation potassique des plantes fourragères en sol granitique. *Ann. agron.* 19 (4), 459-471 (1968).
- Kilmer V. J., Younts S. E. et Brady N. C.*: The role of potassium in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, 1968.

Balance and dynamics of potassium under forage crops in the humid tropical areas

G. Hainnaux, J.-C. Talineau, C. Fillonneau, B. Bonzon, D. Picard and M. Sicot, Laboratoire d'Agronomie, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Centre d'Adiopodoumé/Côte d'Ivoire

Summary

Some results about changes in soil exchangeable-K status under fodder crops are reported. Without fertilisers the amount of exchangeable-K decreases first rapidly by plant uptake, then remains steady as released from the immobile stock of the soil. With fertilisers, when the balance between supplies and removal from absorption by plants is positive, losses by leaching and fixation on colloïds occur. The relative importance of these two phenomena is discussed.

Influence du niveau de fertilisation sur le bilan des éléments nutritifs majeurs de deux plantes fourragères cultivées sur un sol sableux de basse Côte d'Ivoire

E. J. Roose et J.-C. Talineau, Maîtres de Recherche, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Centre d'Adiopodoumé, Laboratoire de Pédologie et d'Agronomie/Côte d'Ivoire

Résumé

Les auteurs présentent les résultats d'un essai d'orientation visant à établir des bilans hydriques et chimiques (engrais, pluie, érosion, lixiviation, exportation) sous deux plantes fourragères réagissant différemment à trois doses de fertilisation sur un sol ferrallitique sableux, profond, perméable et très désaturé en zone forestière tropicale humide.

En moyenne sur 3 ans, les pluies n'ont pas dépassé 1600 mm (500 mm de déficit par rapport à la normale), le ruissellement 1% et le drainage vertical 40% (634 mm).

Etant donnée l'importance de la production fourragère et des exportations minérales consécutives, la lixiviation a été réduite. Le phosphore est rapidement insolubilisé dans le sol; l'azote (pertes 2 à 35% des apports) et le potassium (1 à 6% des apports) sont immobilisés dans la récolte; seuls le calcium et le magnésium (40 à 75%) sont abondamment lixiviés. Même en condition de très fort drainage, il est donc possible de limiter les pertes d'éléments nutritifs par lixiviation en fractionnant et équilibrant les apports en fonction des besoins de la plante.

La pollution des eaux de drainage par l'usage intensif d'engrais N-P-K est donc un problème facile à résoudre. Par contre, l'acidification des sols sous culture intensive reste difficile à éviter puisque Ca et Mg sont fortement lixiviés même lorsque les besoins de la plante dépassent les apports.

Introduction

L'étude des interactions «sol-plantes fourragères», entreprise par le Laboratoire d'Agronomie de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire dans le cadre du problème de la régénération du sol par une jachère cultivée a conduit à utiliser de fortes doses d'engrais minéraux. Exploité de manière intensive, *Panicum maximum* reçoit par exemple 750 kg/ha/an d'azote, 220 kg de phosphore, 620 kg de potassium, 400 kg de calcium et 120 kg de magnésium épandus après chacune des huit fauches.

Or, en milieu tropical humide, les précipitations sont particulièrement importantes et concentrées: Abidjan reçoit couramment 700 mm de pluie en quatre semaines, plus qu'à Paris en un an. Par ailleurs, les sols ferrallitiques sont généralement fort perméables et leur capacité d'échange de bases peu élevée (1 à 5 méq./100 g) puisque les argiles sont du type kaolinique et leurs matières organiques rapidement minéralisées. Pour des précipitations de l'ordre de 2000 mm on peut observer un drainage de 40 à 60% en fonction de la couverture végétale.

C'est ainsi qu'un bilan effectué en collaboration par l'ORSTOM et l'IFAC dans sa bananeraie d'Azaguié (sol ferrallitique jaune, pluie = 1800 mm + 200 mm par irriga-

tion) a montré qu'en trois ans on a perdu environ 70% du calcium et de la magnésie apportées en trois fois, 55% de l'azote et de la potasse fractionnées en 22 épandages et à peine 7,5% du phosphore apporté en deux doses.

Au vu de ces résultats, il est donc logique de s'interroger sur le devenir des engrais apportés à fortes doses sur les cultures fourragères. Cette note rapporte quelques résultats d'un essai d'orientation destiné à mesurer les principaux termes du bilan en éléments nutritifs majeurs sous *Panicum maximum* et *Stylosanthes guyanensis*.

1. Conditions expérimentales

1.1. Le milieu

Les essais sont menés au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (5° 20' N.; 4° 08' W.; 30 m alt.) à une vingtaine de kilomètres à l'ouest d'Abidjan. Le climat forestier guinéen (fig. 1), du type subéquatorial à deux saisons des pluies, est caractérisé par des précipitations annuelles de 2100 mm, des températures mensuelles variant peu ($\pm 2^\circ\text{C}$) autour de la moyenne annuelle (26° 2'), une humidité relative proche de 80% et une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 1220 mm (Gosse et Eldin [1973]).

Le sol est un sol ferrallitique très désaturé, appauvri sur sables tertiaires colluvionnés. Le profil est homogène, sableux jusqu'à 120 cm, très perméable bien aéré mais acide et très pauvre chimiquement. La pente est faible (3%).

1.2. Le dispositif

Le protocole expérimental a déjà fait l'objet d'un précédent document (Roose et Talineau [1970]). Il convient de rappeler sommairement les données suivantes :

- deux espèces fourragères ont été retenues et cultivées sur des parcelles de 50 m²
 - une graminée, *Panicum maximum* clone G 23, implantée par éclats de souche à l'écartement 0,40 x 0,40 m,
 - une légumineuse, *Stylosanthes guyanensis*, semée en lignes espacées de 0,40 m;
- trois traitements fertilisation sont testés, chacun étant répété deux fois:
 - une dose 1 limitée à un apport initial permettant un démarrage correct de la végétation,
 - une dose 2 constituée par l'apport après chaque coupe de N = K₂O = 50 kg/ha,
 - une dose 3 où N = K₂O = 100 kg/ha.

Pour les deux dernières doses on a effectué un apport complémentaire de 65 kg de P₂O₅, 40 kg de chaux et 25 kg de magnésie.

La défoliation a lieu en moyenne huit à dix fois par an pour la graminée et quatre à six fois pour la légumineuse.

Pour établir le bilan hydrique on a mesuré :

- la pluie dans deux pluviomètres placés l'un à 150 cm de hauteur et l'autre au niveau du couvert,
- le ruissellement dans une case d'infiltration de 1,44 m² isolée de l'extérieur par une tôle fichée dans le sol et reliée à un réservoir par un tube,

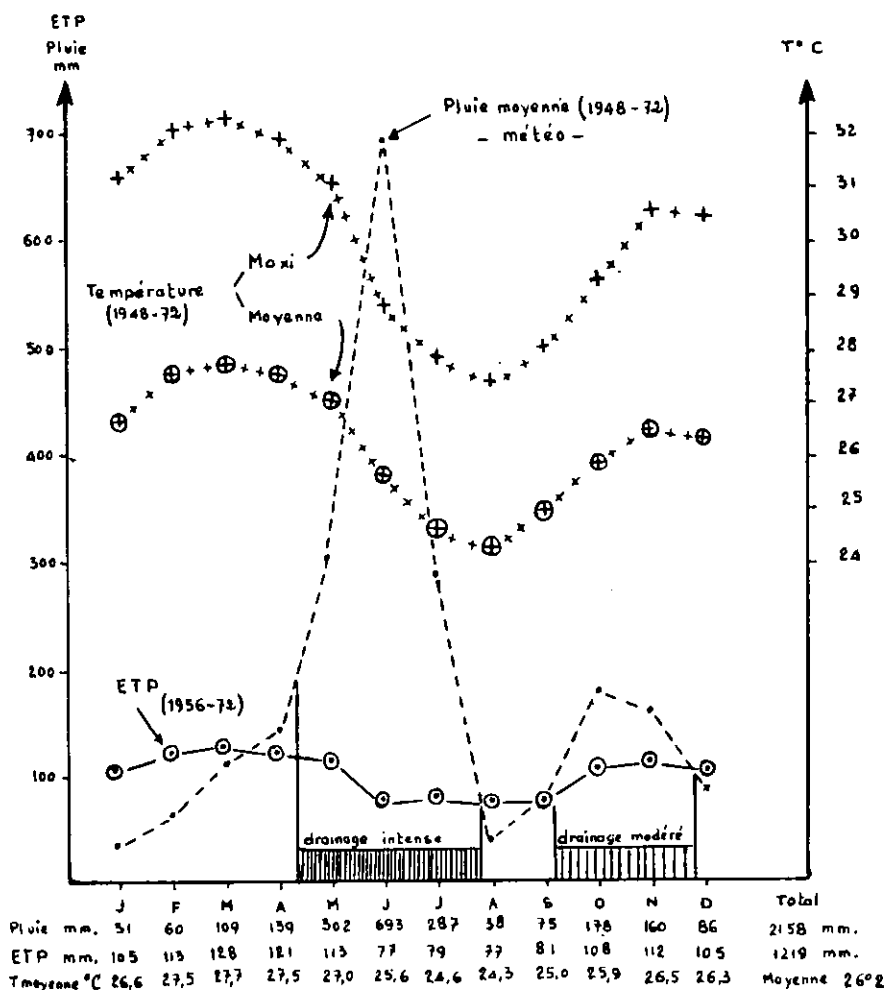


Fig. 1. Précipitations, température et ETP (Turc). Moyennes mensuelles à Adiapodoumé - d'après Gosse et Eldin (1973).

- le drainage vertical dans un lysimètre de sol non remanié de 63 cm de diamètre et 150 cm de profondeur (Roose et Tureau [1970]),
- les variations du stock d'eau du sol par le relevé de profils hydriques au moyen d'un humidimètre à neutrons.

De plus, l'évapotranspiration potentielle est mesurée chaque jour à la station météo située à 200 m de ces parcelles.

Pour le bilan chimique on contrôle :

- les apports par les engrais et les pluies (filtration immédiate sur le terrain et conservation à l'ombre et au frais en laboratoire),
- les pertes par les eaux de ruissellement et surtout de drainage,
- les exportations par la récolte.

2. Les données de calcul du bilan

Les mesures des différents paramètres ont été effectuées d'avril 1970 à mars 1973.

2.1. Le bilan hydrique

2.1.1. *Les précipitations* s'élèvent à 1544 mm, 1714 mm et 1495 mm, soit, en moyenne, à 1584 mm/an : elles accusent donc un très fort déficit (500 mm) par rapport aux pluies moyennes annuelles de la région.

2.1.2. *Le ruissellement* est très faible : 2 à 20 mm par an, soit 0,1 à 1,3% des précipitations. Comme cela a été démontré en parcelles d'érosion (*Roose [1973]*), le ruissellement et l'érosion sous culture fourragère sont négligeables sur les sables tertiaires dès que la couverture végétale est complète et le sol protégé de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Or, les essais ont été implantés à des périodes où les pluies ne sont pas agressives.

2.1.3. *Le drainage* représente 40% des pluies, soit 634 mm/an en moyenne. Sous *Panicum* on a recueilli 2% de drainage de plus que sous *Stylosanthes*. Les résultats sont aussi très voisins quelque soit le niveau de fertilisation. La majorité du drainage s'écoule en juin et juillet et à la suite de quelques grosses pluies en octobre et novembre. Durant les trois années d'observation un déficit de pluviosité d'environ 500 mm par rapport à la normale a été enregistré. Il intervient presque en totalité durant les six mois les plus humides de l'année (325 mm en mai-juin-juillet et 130 mm en septembre-octobre-novembre) à une période où le sol est voisin de sa capacité au champ et le couvert végétal pratiquement en régime d'évapotranspiration potentielle. En année normale on peut donc s'attendre à plus de 1000 mm de drainage.

2.1.4. *Les variations du stock d'eau du sol* n'entrent pas en ligne de compte puisque les bilans hydriques annuels commencent et finissent à des époques où les réserves hydriques du sol sont épuisées. Leur étude a été développée ailleurs (*Talineau et Roose [1973]*).

2.2. La production végétale

Mentionnée au tableau 1, la production de matière sèche en fonction des traitements s'élève de 9,6 à 26,6 t à l'hectare et par an pour *Panicum* et de 11,1 à 13,4 t à l'hectare et par an pour *Stylosanthes*.

On note l'effet très net du traitement fertilisation chez *Panicum* alors que *Stylosanthes* ne réagit que très faiblement aux apports d'engrais.

La baisse de production est générale au cours du temps, elle est d'autant plus marquée que les plantes ne reçoivent pas d'engrais et la chute est plus sévère chez *Stylosanthes* que chez *Panicum*.

Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par ailleurs (*Picard et al. [1973]*).

Tableau 1. Adiopodoumé: Production de matière sèche exprimée en kilogramme par mètre carré des deux espèces fourragères étudiées.

	Niveau de fertilisation	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	Moyenne annuelle
<i>Panicum maximum</i>	1	1,312	0,721	0,846	0,960
	2	2,015	1,869	1,644	1,843
	3	2,905	2,759	2,326	2,663
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	1	1,558	1,136	0,624	1,106
	2	1,724	1,486	0,832	1,347
	3	1,595	1,457	0,934	1,329

3. Le bilan des éléments nutritifs majeurs (tableaux 2 à 7)

3.1. Apports par les engrais

Les quantités totales apportées au cours des trois années d'expérimentation figurent aux tableaux 2 à 7.

Le principe de la fertilisation repose sur l'égalité des apports en azote et en potasse. Pour ces deux éléments la dose 3 correspond approximativement aux exportations minérales consécutives aux fauches.

Les variations des apports entre les doses 1 et 3 sont de l'ordre de 1 à 20 pour l'azote et la potasse et de 1 à 10 pour P-Ca-Mg.

Stylosanthes exploité deux fois moins souvent que *Panicum* a reçu deux fois moins d'engrais.

3.2. Apports par les pluies

Pendant les trois années étudiées (déficitaires), les pluies ont apporté 21,2 kg/ha/an d'azote total (dont 30% de nitrate + ammoniacque), 30 kg de calcium, 7,1 kg de magnésium, 5,5 kg de potassium et 2,3 kg de phosphore.

Ces apports sont faibles mais pas négligeables dans le cadre d'une exploitation très extensive comme les cultures itinérantes traditionnelles ou les écosystèmes naturels (*Bernhard-Reversat [1973]*).

Signalons que les charges solubles les plus élevées sont observées lors des petites pluies et en fin de saison sèche (orage); leur richesse chimique dépendrait en effet pour une large part des poussières minérales et organiques (bactéries, algues, spores diverses, etc.) en suspension stable dans l'air.

3.3. Les pertes par érosion

Les déplacements de terre par érosion ont été trop réduits pour que leur analyse présente un intérêt.

Les pertes solubles dans les eaux de ruissellement se sont avérées négligeables également (tableaux 2 à 6) du fait des faibles volumes. En général, les teneurs observées sont du même ordre de grandeur que dans les eaux de drainage à part celles plus élevées de la potasse et surtout du phosphore, lequel circule sous forme liée aux particules solides.

3.4. Exportation, lixiviation et balance (tableaux 2 à 7)

3.4.1. L'azote

Il s'agit de l'azote total sans distinction des formes organiques et minérales.

Exportation

Dans le cas de *Panicum*, on note l'effet de la fertilisation sur les teneurs en azote des fourrages exportés (1 à 1,5%)* et une légère diminution de ces dernières au cours du temps. L'exportation d'azote de cette graminée est très élevée et directement fonction de la fertilisation.

Pour le *Stylosanthes* au contraire, la fertilisation n'a aucune influence et le taux d'azote moyen dans les tiges et les feuilles exportées reste élevé au cours du temps (2,4%). L'exportation d'azote par cette légumineuse est du même ordre de grandeur que celle de *Panicum* en raison de la richesse en azote de son fourrage.

Tableau 2. Comparaison des apports et des pertes en kg/ha/3 ans dans un système sol-plante fourragère en milieu tropical humide: Adiopodoumé 1970-1973. Cas de l'azote

	Niveau de fertilisation	Azote							Balance
		Apports			Pertes				
		Pluie	Engrais	Total	Expor- tation	Lixi- viation	Ruissel- lement	Total	
<i>Panicum</i>	1	64	99	163	351	32	0,9	384	-221
<i>maximum</i>	2	64	999	1063	642	25	0	667	+396
	3	64	2001	2065	1092	48	0,3	1140	+925
<i>Stylosanthes</i>	1	64	75	139	762	108	2,3	872	-733
<i>guyanensis</i>	2	64	501	565	924	196	3,4	1123	-558
	3	64	951	1015	924	175	3,9	1103	-88

Lixiviation

Les volumes drainés étant voisins pour tous les traitements, les pertes par lixiviation sont proportionnelles aux teneurs en éléments solubles des eaux de drainage.

Sous *Panicum* les pertes par lixiviation varient de 25 à 48 kg/ha/3 ans et les teneurs augmentent à peine (1,5 à 2,5 ppm) lorsque les apports en azote varient de 1 à 20. On constate une légère baisse des teneurs au cours du temps (2,2 à 1,8 puis 1,6 ppm de 1970 à 1973).

Sous *Stylosanthes*, par contre, les pertes augmentent de 108 à 196 kg/ha/3 ans et les teneurs de 6,1 à 10 ppm lorsque les apports varient de 1 à 20. On observe une très forte augmentation des teneurs en azote au cours du temps (2,8 à 7,2 puis 21,6 ppm de 1970 à 1973), variation d'autant plus forte que les doses apportées sont élevées et les rendements décroissants.

* Les teneurs sont exprimées en pour-cent de la matière sèche à 105°C pour les exportations par la récolte et en ppm pour la lixiviation par les eaux de drainage. On réserve le terme de lessivage à l'entraînement des argiles et de certains colloïdes organiques et minéraux à l'intérieur du profil. Par lixiviation on entend donc l'entraînement des autres éléments chimiques (Aubert et Segalen [1966]).

Malgré des exportations d'azote du même ordre de grandeur et des apports sensiblement plus faibles (même dose mais moins de fauches), le *Stylosanthes* laisse s'échapper 3 à 8 fois plus d'azote que le *Panicum*. L'azote ne semble donc pas un facteur limitant pour la production de *Stylosanthes* dans les conditions de l'expérience mais bien pour le *Panicum*: les besoins instantanés (ou la capacité d'absorption et de stockage) seraient plus élevés sous *Panicum* que sous *Stylosanthes*, lequel, comme la plupart des légumineuses, peut fixer l'azote atmosphérique par activité microbienne symbiotique et éventuellement récupérer à grande profondeur grâce au pivot l'azote comptée comme lixiviée au-delà de 1,50 m dans cet essai.

Grâce à l'abondance des racines et des exportations, au fractionnement et aux dates d'épandage des engrais (en dehors des périodes de forte pluviosité) les pertes d'azote par drainage sont moins élevées que celles auxquelles on aurait pu s'attendre. Il faut cependant noter le fort déficit de pluviosité, une grande différence de comportement des deux types de plantes étudiées et une augmentation très significative des teneurs des eaux de drainage au cours du temps sous *Stylosanthes*.

Balance entre les apports et les pertes. (voir tableaux 2 et 7).

Dans le cas du *Panicum* sans engrais les exportations et les pertes sont 2,3 fois supérieures aux apports: le stock du sol a dû s'appauvrir de plus de 200 kg d'azote. Sous *Panicum* avec engrais la balance est positive et on ne retrouve pas dans le stock du sol (mesuré en août 1972) les 400 et 900 kg/ha apportés en excédent. On doit noter cependant qu'on ne connaît pas les pertes gazeuses ni les immobilisations à cette époque, de la litière (9 t produites en deux ans) des chaumes sur pieds et des racines. Pour le *Stylosanthes*, la balance est négative mais d'autant moins que les apports sont élevés. Il faut faire appel à des apports occultes de 730 et 560 kg/ha/3 ans qu'on ne retrouve pas dans le stock du sol. Sans doute faut-il faire intervenir la récupération en profondeur par l'enracinement pivotant, les immobilisations par la litière, les chaumes et les racines qui ne se retrouvent pas comptabilisées dans le stock du sol (terre fine tamisée à 2 mm) et surtout la fixation microbienne symbiotique de l'azote de l'air (légumineuse): l'azote fixé de cette façon par la légumineuse serait d'autant plus important que les autres apports sont réduits.

3.4.2. Le phosphore (tableaux 3 et 7)

Exportation

On ne constate que peu de différences entre les teneurs en phosphore des fourrages (0,3% de P en moyenne) en fonction des plantes étudiées ou des doses de fertilisation mais seulement une augmentation sensible des teneurs chez *Panicum* au cours de la seconde année. Le niveau des exportations (30 à 60 kg/ha/an) est plus lié au poids des récoltes qu'aux doses d'engrais apportées.

Lixiviation

Les pertes en phosphore par les eaux de drainage sont extrêmement réduites (1 à 1,5 kg/ha/3 ans de P) et les teneurs des eaux (0,17 à 0,25 ppm) varient très peu en fonction de la plante, du temps ou des doses d'engrais (croissance des apports de 1 à 9). Même si les apports dépassent largement les besoins des plantes, on ne constate pas de perte significative de phosphore car celui-ci ne reste pas longtemps soluble dans l'eau: il forme des complexes peu solubles avec la matière organique, le fer et l'alumine libre présentes dans ce type de sol (*Dabin [1963]; Boyer [1970]*).

Il n'est donc pas utile de fractionner les apports de phosphore en zone tropicale humide pour éviter les pertes par lixiviation; mais à cause de son insolubilisation rapide dans les sols riches en fer il est souvent nécessaire de maintenir le taux de phosphore assimilable par des apports annuels limités.

Balance

Sans apport d'engrais, la balance est négative: le sol s'appauvrit mais lentement car une fraction de P total devient assimilable.

Les apports d'engrais se sont soldés par une balance positive qui s'est traduite par une augmentation du stock du P assimilable du sol (ex. *Panicum* en 8/72: stock P ass. sur 40 cm = 320-730-860 kg/ha): cependant, le P total n'a guère évolué.

Tableau 3. Balance du phosphore (kg/ha/3 ans)

	Niveau de fertilisation	Apports			Pertes				Balance
		Pluie	Engrais	Total	Exportation	Lixiviation	Ruissellement	Total	
<i>Panicum maximum</i>	1	7	60	67	87	1,2	0,3	89	- 22
	2	7	531	538	138	1,2	0	139	+ 399
	3	7	531	538	189	1,5	0	191	+ 348
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	1	7	30	37	108	1,3	0,7	110	- 73
	2	7	255	262	125	1,3	1,1	127	+ 135
	3	7	255	262	111	1,0	1,1	113	+ 149

3.4.3. Le potassium (tableaux 4 et 7)

Exportation

Les teneurs des fourrages en potassium sont très variables. Elles diminuent avec le temps. Fait plus important, elles sont très dépendantes du type de plante et les teneurs sont plus élevées pour *Panicum* (2,10%) que pour *Stylosanthes* (1,20%). La fertilisation conduit dans tous les cas à une augmentation des taux.

La quantité de potassium exportée est considérable dans le cas de la graminée. De façon encore plus nette que pour l'azote, le niveau est conditionné par la fertilisation. Pour la légumineuse, les exportations sont moindres et la réponse aux engrais moins linéaire.

Lixiviation

Sous *Panicum* les pertes par lixiviation (19 à 19,4 kg/ha/3 ans) et les teneurs en potassium des eaux de drainage (0,9 à 1 ppm) sont très faibles et constantes quelque soit le niveau de fertilisation (100 à 1700 kg/ha/3 ans).

Sous *Stylosanthes* les pertes par drainage (43 à 14 kg/ha/3 ans) et les teneurs dans les eaux (2,5 à 0,8 ppm) sont du même ordre de grandeur et diminuent régulièrement lorsque les apports passent de 1 à 20.

Les faibles teneurs en potassium observées dans les eaux de drainage restent semblables durant les trois années.

Ces pertes deviennent négligeables (1 à 6% des apports) dès que la plante est correctement alimentée en ce qui concerne les autres éléments essentiels. Cela laisse deviner l'importance de l'équilibre des éléments nutritifs apportés non seulement en fonction du stock du sol (*Jadin [1972]*) mais surtout des besoins de la plante.

Le potassium, cation monovalent, est considéré comme un élément mobile. S'il est si peu lixivié dans cet essai, c'est en raison de la très forte demande par les plantes, du fractionnement et du mode de répartition des engrais en dehors des périodes les plus humides ainsi que de la forte carence du sol en cet élément.

Balance

Elle ne devient positive que pour les doses d'apport les plus élevées dépassant 300 à 500 kg/ha/an. Car la demande des cultures fourragères en cet élément est très importante. L'analyse du sol ne montre pas de changement significatif du K total mais une chute du K échangeable. Sous *Panicum* par exemple le stock du sol sur 40 cm en août 1972 diminuait de 301 à 116 et 78 kg/ha pour les doses de fertilisation croissante. Il semble que sous l'effet de la demande par les plantes une partie du K total du sol évolue en K échangeable utilisée aussitôt par les plantes (*Hainnaux et al. [1973]*). Cependant, on peut se poser la question de l'origine du K total (stock 0-40 K total = 1200 à 1400 kg/ha) dans ce sol ferrallitique très désaturé composé exclusivement de kaolinite, goéthite, quartz et matières organiques.

Tableau 4. Balance du potassium (kg/ha/3 ans)

	Niveau de fertilisation	Apports			Pertes				Balance
		Pluie	Engrais	Total	Exportation	Lixiviation	Ruissellement	Total	
<i>Panicum maximum</i>	1	17	84	101	478	19,0	0,8	498	-397
	2	17	851	868	1071	19,1	0,2	1090	-222
	3	17	1661	1678	1623	19,4	0,2	1643	+ 35
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	1	17	42	59	340	43,5	1,8	385	-326
	2	17	416	433	481	24,6	2,1	508	- 75
	3	17	830	847	598	14,0	4,7	617	+230

3.4.4. Le calcium (tableaux 5 et 7)

Exportation

Les teneurs en calcium sont dissemblables selon les plantes. Elles sont trois fois plus élevées chez la légumineuse (1,30%) que chez la graminée (0,40%); chez cette dernière, la fertilisation entraîne une légère élévation des teneurs.

Quantitativement *Stylosanthes* exporte de grosses quantités de calcium bien supérieures à celles constatées chez *Panicum* où le taux de récupération des engrais est particulièrement faible.

Lixiviation

Sous *Panicum* les pertes de calcium ont cru de 123 à 659 kg/ha/3 ans et les teneurs des eaux de drainage de 5,9 à 34,5 ppm de calcium pour des apports croissant de 1 à 9. Les teneurs augmentent rapidement au cours du temps sauf pour la dose la plus faible. Sous *Stylosanthes* les pertes sont encore plus élevées (182 à 438 kg/ha/3 ans) pour les

doses 1 et 2 mais plafonnent ensuite, les apports étant plus faibles (546 contre 1022 kg/ha/3 ans) que sous la graminée et les exportations plus élevées. Les teneurs croissent de 10 à 22 ppm avec les doses de fertilisation et augmentent rapidement avec le temps sauf pour la dose 1.

L'augmentation rapide (10 à 20 puis 54 ppm entre 1970 et 1972) des teneurs en calcium des eaux de drainage dans le cas de la dose 3, quelque soit la plante testée, montre que les apports de chaux dépassant largement les exportations par la plante ne sont pas retenus par le sol pourtant fortement désaturé. La lixiviation de 65 à 75% du calcium (cation bivalent) apporté en 6 à 8 fractions par an alors qu'on ne perd que 1 à 2% du potassium (cation monovalent) montre bien que, dans les conditions de l'expérience, à savoir les sols ferrallitiques désaturés de la zone tropicale humide, la place tenue par les besoins des plantes dans la détermination de la fertilisation l'emporte souvent sur celle du sol.

Cette lixiviation du calcium, importante malgré la forte production végétale et un fractionnement soigné en 5 à 8 apports par an, pose à moyen terme le problème des amendements, du maintien d'un pH favorable aux cultures et d'un équilibre Ca/K au sein des cations échangeables; en tous cas on ne peut plus envisager une fumure de fond de calcium dans les conditions climatiques tropicales humides.

Balance

La balance est généralement négative. Or, en août 1972, le stock de calcium du sol tant échangeable (425 à 640 kg/ha sur 40 cm) que total (980 à 1400 kg/ha) est nettement plus faible sous les parcelles recevant le moins d'engrais (dose 1). Il faut peut-être plus de temps et plus de répétitions pour que cela apparaisse à l'analyse du sol. La perte de 380 à 650 kg/ha de calcium sous *Stylosanthes* ne se traduit pas non plus par une diminution sensible du stock du sol (plus élevé que sous la graminée).

Tableau 5. Balance du calcium (kg/ha/3 ans)

	Niveau de fertilisation	Apports			Pertes				Balance
		Pluie	Engrais	Total	Exportation	Lixiviation	Ruissellement	Total	
<i>Panicum maximum</i>	1	90	69	159	144	123	1,7	269	—110
	2	90	672	762	205*	215*	0,2	420	+342*
	3	90	912	1002	392	659	0,5	1052	—50
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	1	90	54	144	379	182	3,6	565	—421
	2	90	336	426	631	438	4,1	1073	—647
	3	90	456	546	521	402	3,8	927	—381

* Le niveau des exportations et lixiviations est relativement plus faible que ce à quoi on pouvait s'attendre: problème d'équilibre cationique probablement.

3.4.5. Le magnésium (tableaux 6 et 7)

Exportation

Très comparable pour les deux espèces fourragères les teneurs en magnésium des tiges et feuilles sont relativement faibles (0,40%). Les effets des traitements ne sont guère décelables.

Les variations des quantités exportées s'expliquent par les différences de rendement en matière sèche. Les exportations sont pratiquement toujours supérieures aux apports.

Lixiviation

Sous *Panicum* les pertes en magnésium augmentent de 19 à 107 kg/ha/3 ans et les teneurs de 1 à 5,6 ppm lorsque les apports passent de 50 à 250 kg/ha/3 ans. A la dose 1 les teneurs évoluent peu d'une année à l'autre, mais à la plus forte dose d'apport (3) les teneurs augmentent rapidement (de 1,6 à 5,8 à 8,6 ppm de 1970 à 1972).

Sous *Stylosanthes* les pertes (29 à 81 kg/ha/3 ans) et les teneurs en magnésium (1,6 à 4,4) croissent aussi avec les apports (50 à 140 kg/ha/3 ans). Les teneurs augmentent en 1972 et particulièrement pour la dose 3 qui passe de 1,1 à 3,4 puis 12,3 ppm de 1970 à 1972.

Il apparaît donc que les pertes sont relativement plus élevées sous *Stylosanthes* (55 à 60%) que sous *Panicum* (20 à 43%). De même que sous bananeraie (*Godefroy, Muller et Roose [1970]*) les pertes par lixiviation en magnésium tout en étant très élevées le sont moins qu'en calcium car les apports sont plus faibles ($\pm 50\%$) et restent inférieurs aux exportations.

Balance

La balance entre les apports et les pertes est toujours négative (100 à 200 kg/ha/3 ans) ce qui a dû jouer comme facteur limitant à la production potentielle du *Panicum* (dose 3).

En août 1972, le stock de magnésium échangeable (60 à 115 kg/ha) du sol sur 40 cm tend à diminuer systématiquement lorsque les apports augmentent: les variations sont moins nettes pour le stock de magnésium total (830 à 1000 kg/ha/40 cm).

Tableau 6. Balance du magnésium (kg/ha/3 ans)

	Niveau de fertilisation	Apports			Pertes				Balance
		Pluie	Engrais	Total	Exportation	Lixiviation	Ruissellement	Total	
<i>Panicum maximum</i>	1	21	29	50	135	19,2	0,6	155	-105
	2	21	232	253	216	43,7	0,2	260	-7
	3	21	232	253	327	107,6	0,2	435	-182
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	1	21	29	50	141	28,6	1,4	171	-121
	2	21	116	137	180	76,0	1,5	258	-121
	3	21	116	137	159	80,7	2,0	242	-105

4. Discussion sur les pertes par lixiviation

4.1. L'importance des pertes par lixiviation dépend:

a) de la nature de la plante:

- de l'intensité de sa demande en chacun des éléments et son évolution au cours du cycle végétal et pluvial;
- de sa capacité d'interception par les racines puis de stockage et de redistribution des éléments à l'intérieur de chaque plant;
- du potentiel de production et d'exportation;
- de sa densité et de son enracinement.

Ainsi la lixiviation est plus élevée sous *Stylosanthes*, car ses besoins sont moindres que ceux du *Panicum*: cette légumineuse ne répond pas à la fertilisation proposée.

b) *des engrais*:

- leur quantité, leur équilibre en fonction des caractéristiques du sol et des besoins de la plante;
- leur nature (NO_3^{--} est plus facilement lixivié que NH_4^+ : *Blondel [1971]* et la nature des ions associés;
- leur mode de fractionnement en fonction des dangers de drainage.

c) *du climat*:

- de la hauteur des précipitations et surtout de leur répartition inégale qui augmente les chances que le stock d'eau du sol dépasse sa capacité au champ.

d) *du sol*:

- de sa capacité d'échange des cations et de son taux de saturation (donc teneur en colloïdes organiques et minéraux) (relativement peu important puisque malgré le sol désaturé on constate une forte perte de Ca + Mg);
- de sa capacité d'insolubilisation (phosphore) ou de rétrogradation (faible pour la kaolinite);
- de sa capacité d'immobilisation temporaire par la microfaune (*Blondel [1971]*) et de la vitesse du «turn over».

Il est donc possible de limiter les dangers de perte par lixiviation

- en plantant tôt et dense de façon à créer une forte demande de minéraux par la plante et de retarder le début du drainage par augmentation de l'ETR,
- en favorisant le développement d'un système racinaire dense et profond (labour et cultures associées),
- en choisissant des formes d'engrais peu mobiles et en les fractionnant et les équilibrant en fonction des besoins de la culture.

4.2. *Comparaison avec d'autres stations tropicales*

En région tropicale sèche (Bambey, P= 850 mm, Dv= 200 mm) sur sol ferrugineux tropical sableux (*Dior*), *Tourte et al. [1964]* et *Blondel [1971]* observent des pertes en azote minéral faibles sous culture annuelle (2 à 15 kg/ha/an) sans engrais et modestes (20%) en présence de fortes doses d'engrais (300 et 600 kg/ha/an de N). Ils soulignent le rôle de la végétation et de la microflore du sol pour limiter la lixiviation de l'azote. Les pertes sont aussi nettement plus faibles (10 à 18 kg/ha/an) si les apports d'azote sont du type ammoniacal plutôt que nitrique (65 à 108 kg/ha/an). Il faut noter cependant que la densité du mil avec engrais dans les lysimètres de sol reconstitué (40 cm de profondeur) était trente fois supérieure à celle qu'on observe couramment en plein champ!

En région tropicale humide (Azaguié, P= 1850 mm, Dv= 800 mm) sur sol ferrallitique très désaturé remanié, *Godefroy, Muller et Roose [1970]* ont constaté que sous bananiers fertilisés et irrigués les pertes en phosphore sont négligeables (voir tableau 7), mais les pertes en chaux et magnésie encore plus élevées (65 à 75% des apports) que les pertes en potasse et azote (55% des apports).

Les pertes sous bananiers sont donc importantes, parce que les exportations par les bananes sont inférieures à celles des fourrages et aussi à cause des apports très élevés nécessités par le mauvais fonctionnement de l'enracinement du bananier (problème de nématodes).

Les pertes par lixiviation sous culture fourragère à Adiopodoumé sont moins élevées qu'à Azaguié, à cause d'un déficit grave des précipitations et du drainage (± 500 mm), d'un fractionnement plus poussé de tous les éléments et surtout des exportations nettement plus importantes. Cependant, le sens des résultats est confirmé, à savoir, pertes très faibles de phosphore, mais lixiviation en Ca et Mg encore plus élevée qu'en N et K pourtant réputés mobiles et malgré un faible taux de saturation de la capacité d'échange du sol. Ils soulignent encore mieux qu'à Azaguié l'influence des exportations des plantes sur le niveau de lixiviation car tous les éléments sont également fractionnés.

4.3. Dangers d'acidification du sol

De nombreux auteurs (*Tourte et al. [1964]*, *Charreau et Fauck [1971]*, *Boyer [1970]*, etc.) ont signalé l'acidification des sols sous culture annuelle fertilisée. Or, il est reconnu que bon nombre de plantes cultivées ont une zone de pH optimale pour la production.

L'analyse des tableaux 5 à 7 montre que des apports de 330 kg/ha/an de Ca et 80 kg de Mg ne suffisent pas à rendre la balance positive. Par ailleurs, la lixiviation de Ca, Mg et SO_4^{--} (étudiée parallèlement dans cet essai) augmente rapidement (mais moins que proportionnellement) avec la dose des apports (même fractionnés) malgré la désaturation partielle du complexe absorbant du sol.

Nous pensons que les ions $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ sont chassés du complexe absorbant par l'acidité naturelle des engrais (nitrification de l'ammoniaque, sulfates) et par l'apport simultané de fortes doses de K^+ et NH_4^+ . Le calcium et le magnésium sont alors abondamment lixiviés. Par la suite, K^+ et NH_4^+ sont absorbés progressivement par les plantes et remplacés sur le complexe par H^+ ce qui s'accompagne d'une baisse de 0,5 à 1 unité pH en trois ans (*Talineau, Hainaux et al. [1973]*).

En tous cas les problèmes des amendements calciques et magnésiens et du maintien du pH du sol en région tropicale humide ne sont pas simples. Il faudra étudier le rôle des anions accompagnant les éléments nutritifs des engrais et celui de l'accroissement des matières organiques du sol par l'incorporation dans la rotation de cultures à forte restitution sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol.

Conclusions

L'étude du bilan des éléments minéraux majeurs sous culture fourragère en milieu tropical humide aboutit aux résultats suivants :

- le phosphore, relativement peu exporté par les plantes, n'est pas lixivié mais rapidement insolubilisé dans le sol,
- l'azote et la potasse sont immobilisés par une forte augmentation des exportations par la récolte fourragère,
- le calcium et le magnésium par contre sont lixiviés de façon importante par les eaux de drainage,

- le comportement des plantes étudiées est sensiblement différent: le niveau de production du *Stylosanthes* est beaucoup moins lié aux apports que celui du *Panicum* et on constate sous légumineuse des pertes en N-, K-, Ca-, Mg beaucoup plus élevées.

De ces résultats on pourrait tirer quelques conclusions:

- 1° Dans les sols pauvres, perméables et soumis à un fort drainage, l'analyse des besoins des végétaux et des pertes par drainage semble une méthode sûre et rapide pour aborder les problèmes de fertilisation. En effet, la balance entre les apports et les pertes d'éléments nutritifs majeurs a fait apparaître, en fonction des traitements, des déficits et des excédents que ne reflète pas nettement le stock du sol au bout de 30 mois.
- 2° Seul le phosphore pourrait être appliqué en fumure de fond pluriannuelle; encore faut-il craindre qu'il ne devienne peu assimilable par les plants du fait d'une solide fixation par le fer et l'aluminium du sol. Quant au fractionnement des autres éléments nutritifs, bénéfique pour un certain nombre de plantes à croissance rapide, mais par contre sans intérêt économique dans le cas de l'hévéa et du palmier à huile, il nous semble que ces faits pourraient être interprétés de façon satisfaisante en tenant compte de l'importance du réseau racinaire des plantes, de ses besoins et de sa vitesse d'absorption, de stockage et de redistribution des éléments nutritifs majeurs. La comparaison du *Panicum* à enracinement puissant et croissance rapide et du *Stylosanthes*, légumineuse à enracinement pivotant et croissance lente mais soutenue en est un bon exemple.
- 3° Les modalités de lutte contre l'acidification des sols tropicaux sous culture intensive restent à mettre au point. En effet, le calcium et le magnésium se fixent difficilement tant sur la plante que sur le sol pourtant désaturé. Il serait intéressant à ce sujet de tester dans des essais de longue durée l'action d'engrais moins acidifiant et l'inclusion dans la rotation de cultures à fortes restitutions organiques.
- 4° Enfin, ces résultats permettent d'envisager avec optimisme le problème de la pollution des eaux souterraines par l'usage de doses massives d'engrais azotés puisqu'on peut réduire leur lixiviation en équilibrant les apports avec les exportations et les immobilisations par les plantes.

Bibliographie

1. Aubert G. et Segalen P.: Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. 4 (4), 97-112 (1966).
2. Bernhard-Reversat F.: Le cycle du potassium en forêt tropicale humide. Comm. au 10^e Coll. de l'Inst. Intern. de la Potasse, Abidjan, décembre (1973).
3. Blondel D.: Contribution à l'étude du lessivage de l'azote en sol sableux (dior) au Sénégal. Agron. Trop. 26, (6-7), 687-696 (1971).
4. Boyer J.: Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. Paris, ORSTOM, 175 p., multigr., tabl., fig., 526 réf., 1970.
5. Charreau C. et Fauck R.: Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa. Agron. Trop. 25 (2), 151-191 (1970).
6. Dabin B.: Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 1, 27-42, (1963).
7. Godefroy J., Muller M. et Roose E.J.: Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire. Fruits 25 (6), 403-423, 5 fig., 13 tabl., 11 réf. (1970).

8. *Gosse G.* et *Eklin M.*: Données agroclimatologiques recueillies à la station ORSTOM d'Adiopodoumé, 1948-1972. Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 22 p., (1973).
9. *Hainnaux G.*, *Talineau J. C.*, *Fillonneau C.*, *Bonzon B.* et *Picard D.*: Evolution du potassium sous culture fourragère en Centre Côte d'Ivoire. Comm. au X^e Coll. de l'Inst. Int. Potasse, Abidjan, décembre (1973).
10. *Jadin P.*: Etude de la fertilisation minérale des cacaoyers en Côte d'Ivoire à partir du diagnostic «Sol». *Café, Cacao, Thé* 16 (3), 204-218, 2 fig., 19 tabl. (1972).
11. *Picard D.*, *Fillonneau C.*, *Bonzon B.*, *Hainnaux G.*, *Sicot M.* et *Talineau J. C.*: Comportement de quelques plantes fourragères en Côte d'Ivoire en fonction de différents modes d'exploitation. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.* 19, 3-14, (1973).
12. *Roose E. J.* et *Henry des Tureaux P.*: Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place. *Agron. Trop.* 25 (12), 1079-1087 (1970).
13. *Roose E. J.* et *Talineau J. C.*: Etude du bilan hydrique et de la lixiviation de quelques éléments chimiques sous cultures fourragères sur la station expérimentale du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. Rapport ORSTOM, Abidjan, 24 p., multigr., (1970).
14. *Roose E. J.*: Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. - Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. ORSTOM, Adiopodoumé, 125 p., multigr., tabl., fig., bibliogr. (Thèse fac. des Sciences, Abidjan, 1973, n° 20).
15. *Talineau J. C.* et *Roose E. J.*: Réserve hydrique du sol et comparaison de son utilisation par une graminée et une légumineuse fourragère tropicale. ORSTOM, Abidjan, 19 p., multigr., 3 tabl., 7 fig., bibliogr. (Communication au Congrès de Vienne du 3 au 7 septembre 1973).
16. *Talineau J. C.* et *Hainnaux G.*: Evolution des propriétés physiques et chimiques du sol sous cultures fourragères. Résultats de la station de Bouaké. Rapport provisoire ORSTOM, Abidjan (sous presse), (1973).
17. *Tourte R.*, *Vidal P.*, *Jacquinet L.*, *Faucher J.* et *Nicou R.*: Bilan d'une rotation quadriennale sur sols de régénération au Sénégal. *Agron. Trop.* 19 (12), 1033-1072 (1964).

Influence of fertilisation level on nutrient balance of two forage plants grown on a sandy soil of lower Ivory Coast

E. J. Roose and *J.-C. Talineau*, Maîtres de Recherche, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Centre d'Adiopodoumé, Laboratoire de Pédologie et d'Agronomie/Ivory Coast

Summary

The authors give data from a triennial trial about water and nutrient balance (fertilisers, rainfall, runoff, leaching, exportation) under two fodder plants which react differently to three fertiliser doses on a deep, desaturated, permeable and sandy ferrallitic soil in humid tropical forest area. On an average, rainfall did not exceed 1600 mm (deficit of 500 mm on the normal average in this area), runoff 1% and vertical drainage 40% (634 mm).

Drainage and lixiviation were reduced because of fodder production and deficit rainfall. Phosphorus is quickly precipitated in the soil; nitrogen (losses of 2 to 35% of fertilisers) and potassium (1 to 6%) are fixed by exportation; only calcium and magnesium (40 to 75%) are strongly leached.

Thus, even under very hard drainage conditions, it is possible to limit leaching of nutrients in splitting and equilibrating fertilisers and needs of plants. Drainage water pollution by intensive use of N-P-K fertilisers is not a problem. However the soil acidification under intensive cultivation is not easy to avoid because calcium and magnesium are leached even if exportation exceed fertilisers.

Le cycle du potassium en forêt tropicale humide

Mme France Bernhard-Reversat, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Laboratoire de Physiologie Végétale, Centre d'Adiopodoumé/Côte d'Ivoire

Résumé

Dans les forêts tropicales, le recyclage des éléments minéraux prend une grande importance du fait de la biomasse élevée, qui met en circulation dans la végétation une grande partie des réserves du sol. L'étude du cycle du potassium est faite dans le cadre d'une étude des éléments majeurs en forêt tropicale de basse Côte d'Ivoire.

Le stockage dans la végétation est représenté essentiellement par le bois des troncs et grosses branches, dont la teneur en potassium est très faible (0,05 à 0,2% de la matière sèche).

Dans le sol, la quantité de potassium échangeable est faible, et très variable dans le temps. La teneur diminue très rapidement depuis la surface jusqu'à 50 cm de profondeur. Elle varie en fonction de la situation topographique du site, étant plus élevée dans les talweg que sur les plateaux. La quantité moyenne présente dans l'horizon 0-50 cm est de 80 à 160 kg/ha.

L'apport au sol de potassium se fait d'une part par la chute de litière et d'autre part par le pluviolessivage. La teneur en potassium des feuilles varie en fonction du site, et l'apport annuel constitué par l'ensemble de la litière (feuilles, fruits et bois) représente 26 à 80 kg/ha selon la station. La libération du potassium de la litière au cours de sa décomposition est très rapide: 70 à 80% est libéré pendant les deux premières semaines.

Le pluviolessivage représente une voie de circulation du potassium très importante, la quantité ainsi apportée au sol annuellement étant plus de deux fois supérieure à l'apport par la litière (60 à 170 kg/ha/an selon le site).

Les eaux de percolation recueillies à 40 cm de profondeur montrent une teneur en potassium inférieure à la teneur des eaux de pluviolessivage. Dans les forêts étudiées l'horizon 0-40 cm contient 60 à 80% des petites racines et une absorption importante a lieu à ce niveau. L'analyse d'une eau de source donne une teneur en potassium extrêmement faible, ce qui laisse supposer que l'exportation de cet élément en dehors de l'écosystème est négligeable.

En conclusion, la quantité de potassium recyclée annuellement est élevée comparée aux stocks dans la végétation et le sol. L'écosystème forestier est efficace pour la rétention du potassium. Le site influence beaucoup l'importance des quantités mises en circulation.

Le recyclage des éléments minéraux dans les forêts tropicales prend une grande importance du fait de la biomasse élevée qui contient une grande partie des éléments minéraux de l'écosystème.

L'étude du cycle du potassium est faite dans le cadre d'une étude des cycles des éléments majeurs dans trois sites forestiers en Côte d'Ivoire. Dans la forêt du Banco, située sur des sables continentaux, le sol est ferrallitique sableux; on y a choisi deux sites, l'un sur le plateau, l'autre dans un talweg. Dans la forêt de Yapo, située sur des

schistes, le sol est ferrallitique sablo-argileux; on y a retenu un site en position de plateau.

Le climat est de type subéquatorial avec une pluviosité variant entre 1600 et 2000 mm par an, répartie généralement en deux saisons des pluies, dont la principale se situe en juin et juillet.

La végétation est constituée par la forêt sempervirente humide. Les associations végétales sont différentes dans les deux forêts mais ont un large fond d'espèces communes (*Mangenot [1955]*).

1. Immobilisation dans la végétation

La quantité d'éléments immobilisés dans la végétation est en cours de détermination dans nos stations. Cependant on sait que l'essentiel du stock est représenté par les troncs et les grosses branches. Des analyses faites sur le bois d'une dizaine d'espèces parmi les plus fréquentes ont montré une teneur en potassium très faible variant de 0,05 à 0,2% du poids sec (moyenne 0,13%). Les teneurs en magnésium sont du même ordre, mais les teneurs en calcium sont nettement plus élevées. Avec une biomasse de bois d'environ 350 t/ha au Banco et 300 à Yapo on peut estimer que la quantité de potassium est de 350 à 450 kg/ha.

Des valeurs du même ordre ont été trouvées dans d'autres forêts tropicales humides: 445 kg/ha à Porto-Rico (*Ovington et Olson [1970]*), 305 kg/ha au Zaïre (*Bartholomew et al. [1953]*), 423 kg/ha au Ghana (*Greenland et Kowal [1960]*), les quantités correspondant à la totalité de la végétation allant de 500 à 660 kg/ha. Cependant il semble que l'accumulation de potassium dans la végétation puisse être plus importante dans des situations particulières: *Golley et al. [1969]* donnent les valeurs de 1336 kg/ha dans une forêt prémontagnarde à Panama et de 1087 kg/ha dans une forêt humide de plaine, à Panama.

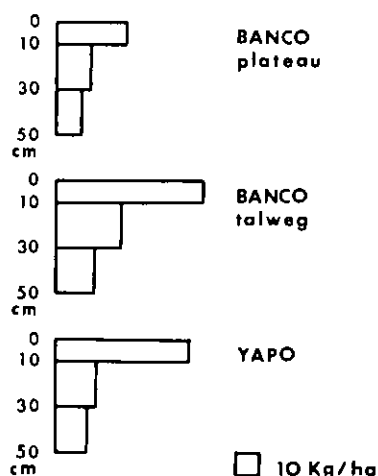


Fig. 1. Potassium échangeable du sol dans l'horizon 0-50 cm.

2. Les réserves du sol

Les sols de la forêt du Banco sont pauvres en cations échangeables. La teneur du sol en potassium échangeable est un peu plus élevée dans les horizons supérieurs du talweg mais au-dessous de 50 cm les teneurs sont les mêmes dans les deux stations. Le sol de la forêt de Yapo montre une plus grande richesse en potassium, calcium et magnésium que celui de la forêt du Banco sur tout le profil.

Compte tenu de la variabilité des teneurs, la figure 1 montre les valeurs approximatives du stock de potassium échangeable dans les trois sites. La réserve est plus grande dans le talweg du Banco (157 kg/ha) qu'à Yapo où le sol est gravillonnaire (113 kg/ha). C'est le sol du plateau du Banco qui montre la plus faible réserve (83 kg/ha).

Il faut cependant noter que ces chiffres ne donnent qu'une image incomplète des réserves réelles, puisqu'une partie du potassium est sous forme labile facilement mobilisable (*Masozera et Bouyer [1972]*). Le stock de potassium total dans le même horizon s'élève à environ 2000 kg/ha au Banco, et 6000 kg/ha à Yapo.

3. L'apport au sol par la litière

Les moyennes annuelles des analyses mensuelles montrent que la composition chimique de la litière arrivant au sol varie beaucoup en fonction du site (tableau 1). La teneur en potassium est plus élevée dans le talweg du Banco que dans les deux autres stations. Cette différence s'observe également si on considère les feuilles d'une seule espèce, et les moyennes observées pour *Dacryodes klaineana*, qui est l'espèce commune la plus abondante, sont de 0,13% au Banco sur le plateau, 0,53% dans le talweg, et 0,36% à Yapo. Le site influence également les teneurs en calcium et en magnésium mais dans une moindre mesure (*Bernhard [1970]*).

Tableau 1. L'apport par la litière

		Banco plateau	Banco talweg	Yapo
Teneur de la litière de feuilles, %	K	0,22	0,91	0,28
	Ca	0,56	0,95	1,32
	Mg	0,46	0,41	0,29
Apport par la litière totale, kg/ha/an	K	28	80	26
	Ca	60	85	105
	Mg	50	35	22

Il en résulte que l'apport annuel en potassium par la litière totale (feuilles, fleurs, fruits et bois) est environ trois fois plus élevé dans le talweg du Banco que dans les deux autres stations.

La composition chimique de la litière ne subissant pas de variations saisonnières importantes, l'apport de potassium au cours de l'année suit l'apport de litière, dont la plus grande partie tombe entre novembre et avril (*Bernhard [1970]*).

Les valeurs de l'apport annuel de potassium par la litière dans d'autres forêts tropicales humides sont de l'ordre de 10 à 15 kg/ha (*Cornforth [1970]*, Trinidad, *Kling et Rodrigues [1968]*, en Amazonie, *Muller [1972]*, en Amazonie), ou de 50 à 90 kg/ha

(*Bartholomew et al. [1953]*, au Zaïre, *Laudelout et Meyer [1954]*, au Zaïre, *Nye [1961]*, au Ghana). Les valeurs que nous trouvons sont, pour le talweg, comparables à celles des forêts africaines.

Sur des lots de litière fraîche placés sur le terrain et prélevés au cours de la décomposition on a étudié le départ des éléments minéraux (*Bernhard-Reversat [1972]*). Après deux semaines 70 à 80% du potassium ont disparu, 80 à 90% après 4 semaines; alors que seulement 20 à 40% du calcium et 30 à 55% du magnésium ont disparu après 4 semaines.

4. Apport au sol par les pluies et le pluviollessivage

La teneur de l'eau de pluie en potassium correspond environ à un apport de 6 kg/ha/an (*Roose [1973]*). Par contre, l'eau de pluie recueillie sous forêt contient une grande quantité de potassium, bien supérieure aux quantités de calcium et de magnésium (tableau 2).

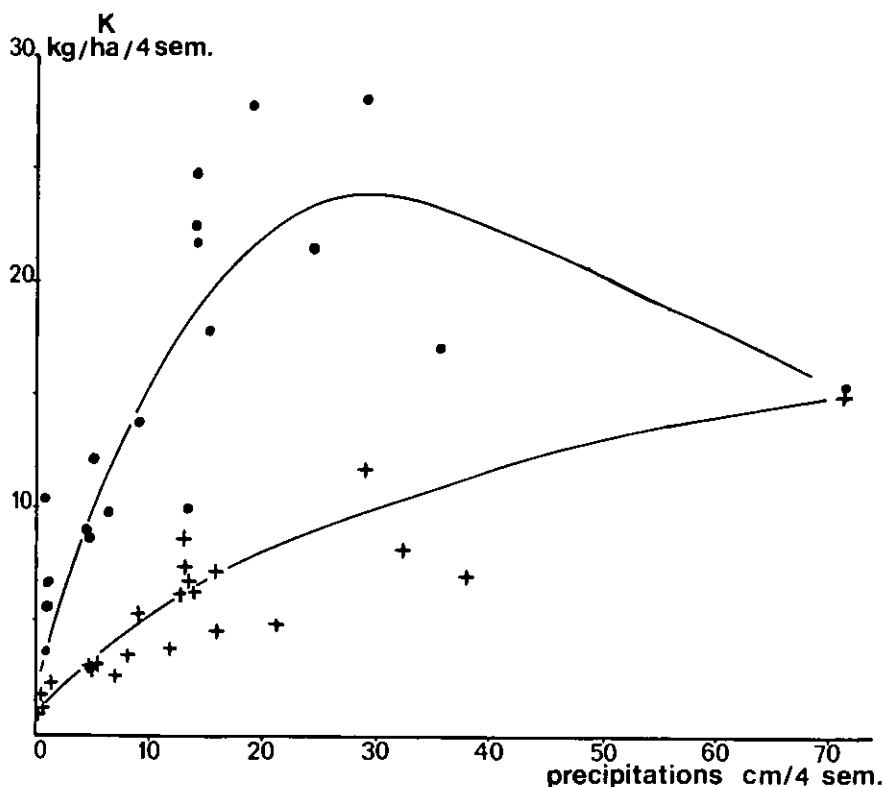


Fig. 2. Relation entre l'apport de potassium par les eaux de pluviollessivage et les précipitations. (Banco: plateau: +; talweg: ●).

Tableau 2. Apport par les eaux de pluie recueillies sous forêt

	Banco plateau	Banco talweg	Yapo
Teneur K, ppm	4,0	12,2	5,9
K, kg/ha/an	65	175	86
Ca, kg/ha/an	40	46	34
Mg, kg/ha/an	41	48	25

Pour le potassium, la teneur moyenne des eaux de pluviollessivage est proportionnelle à celle des feuilles dont une estimation est donnée par la litière. Cette relation n'existe pas pour le calcium.

Dans chaque station il existe une relation positive entre la quantité de pluie par unité de temps (4 semaines) et la quantité de potassium apportée pendant cette période, relation assez nette pour les périodes de pluviosité faible ou moyenne, plus lâche pour les fortes pluviosités (fig. 2). Cependant dans le talweg du Banco au-delà de 200 à 250 mm de pluie la relation devient nulle et peut être négative. Dans cette station où une grande quantité de potassium est absorbée par la végétation il peut y avoir pendant les périodes de grande pluviosité (juin-juillet) un déficit passager dû d'une part au manque d'apport par la litière et d'autre part à un lessivage du potassium du sol vers des horizons moins accessibles.

L'apport annuel de potassium au sol par le pluviollessivage est très important puisqu'il représente 2 à 3 fois l'apport par la litière. La répartition au cours de l'année suit approximativement celle des pluies mais le maximum a été observé en avril-mai, avant le maximum de précipitations (juin). *Nye (1961)*, au Ghana, trouve un apport encore plus élevé, de 219 kg/ha/an.

5. Circulation dans le sol

Dans chaque station, 2 lysimètres ont été mis en place à 40 cm de profondeur afin d'étudier la composition chimique des eaux de percolation recueillies. Pour paillier le faible nombre de répétitions les eaux sont comparées aux eaux de pluviomètres situés à proximité immédiate. L'horizon 0-40 cm contient 60 à 80% (en poids) des racines fines recensées dans le profil 0-130 cm.

Les analyses faites toutes les 4 semaines montrent que la teneur en potassium des eaux de percolation est presque toujours inférieure à celle des eaux arrivant sur le sol avec un rapport des teneurs de 0,5 à 0,8 (tableau 3). Au contraire, ce rapport est plus grand que 1 pour le calcium et le magnésium. Il semble donc que la réabsorption du potassium par les racines soit très efficace dans l'horizon 0-40 cm. Le magnésium vient ensuite et le calcium est le cation le moins bien retenu. Le tableau 3 montre également que le calcium et le magnésium se comportent différemment en fonction du site et sont mieux retenus dans le sol du plateau au Banco. Aucune différence n'est mise en évidence en ce qui concerne le potassium.

La variabilité du rapport des teneurs en potassium est très élevée pour les faibles pluviosités mais diminue pour les fortes pluies, le rapport tendant vers 1 (fig. 3).

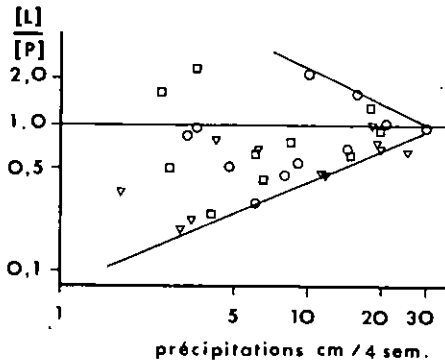


Fig. 3. Rapport des concentrations en potassium dans les eaux de lysimètres (L) et de pluviomètres (P) en fonction des précipitations. (Banco: plateau: □; talweg: ○; Yapo: ▽).

Tableau 3. Rapports de la teneur des eaux de lysimètres sur la teneur des eaux de pluviomètres (moyennes pour 1 an)

Station	Banco, plateau	Banco, talweg	Yapo	Analyse de variance
K	0,58	0,83	0,56	N.S.
Ca	2,3	4,4	3,2	S.*
Mg.....	1,1	2,2	2,0	S.**

Comparaison des stations: N.S.: non-significatif; S*: significatif au seuil de 5%; S**: significatif au seuil de 1%.

Dans la forêt du Banco on a pu prélever, en aval de la station de talweg, de l'eau de source pour l'analyser. Cette eau, qui représente une partie des sorties de l'écosystème, est pauvre en éléments minéraux, les moyennes obtenues étant: 0,46 ppm de potassium, 1,77 ppm de calcium et 0,89 ppm de magnésium. Là encore, la teneur en calcium est la plus élevée alors qu'une très faible quantité de potassium est perdu par cette voie.

MacColl [1970], en forêt humide de Costa-Rica, a mesuré les teneurs des eaux de pluviolessivage, percolation et cours d'eau. Ses résultats, qui portent sur une semaine, montrent également que la rétention des cations par l'écosystème est décroissante dans l'ordre K, Mg, Ca.

6. Bilan et conclusions

Le cycle du potassium en forêt tropicale se distingue des cycles des autres éléments majeurs par plusieurs caractères.

Le premier fait à souligner est la masse importante de potassium mis en circulation par rapport à la masse des réserves: pour environ 400 kg/ha dans le bois, et 100 à 150 kg/ha sous forme échangeable dans le sol, le flux annuel de la végétation au sol est de 93 kg/ha sur le plateau au Banco, 255 kg/ha dans le talweg de cette forêt et 112 kg/ha à Yapo, valeurs auxquelles il faudrait ajouter l'apport par les racines mortes, et par les eaux de ruissellement le long des troncs.

Le deuxième point important est l'efficacité de l'écosystème pour la rétention de cet élément, aboutissant à de faibles pertes. Elle est due pour une part à la libération rapide du potassium de la litière, qui permet à la plus grande partie apportée par cette voie d'être réutilisée avant qu'intervienne la grande saison des pluies, période au cours de laquelle on observe un drainage de l'eau vers la nappe (Huttel [1971]). D'autre part, l'efficacité du système racinaire superficiel vis-à-vis du potassium, dont le mécanisme reste à étudier, est un facteur essentiel de l'économie de l'écosystème.

Le dernier point mis en évidence est l'influence du site et, en particulier, en ce qui concerne la forêt sur sable (Banco) l'influence de la topographie: la différence entre le plateau et le talweg est beaucoup plus importante que ne le laisserait supposer les teneurs des sols en potassium, la quantité de potassium mis en circulation annuellement étant de 2,7 fois plus élevée dans le talweg.

Auteurs cités

- Bartholomew W. V., Meyer J. et Laudelout H.*: Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) region. Publ. INEAC, sér. Sc. 57 (1953).
- Bernhard F.*: Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. Oecol. Plant. 5, 247-266 (1970).
- Bernhard-Reversat F.*: Décomposition de la litière de feuilles en forêt ombrophile de basse Côte d'Ivoire. Oecol. Plant. 7, 279-300 (1972).
- Cornforth I. S.*: Leaf fall in a tropical rain forest. J. Appl. Ecol. 7, 603-608 (1970).
- Golley F. B., MacGinnis J. T. et Clements R. G.*: La biomasa y la estructura mineral de algunos bosques de Darien, Panama. Turrialba 21, 189-196 (1971).
- Golley F. B., MacGinnis J. T., Clements R. G., Child G. I. et Duever, M. J.*: The structure of tropical forest in Panama and Colombia. Bio Science 19, 693-696 (1969).
- Greenland D. J. et Kowal J. L. M.*: Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. Plant and Soil 12, 154-174 (1960).
- Huttel C.*: Estimation du bilan hydrique dans une forêt sempervirente de Côte d'Ivoire. Coll. FAO/IAEA, Vienne, déc. 1971, 439-452.
- Klinge H. et Rodrigues W. A.*: Litter production in an area of amazonian terra firme forest. Part D, Mineral nutrient content of the litter. Amazoniana 1, 303-310 (1968).
- MacColl J. G.*: Properties of natural waters in a tropical wet forest of Costa Rica. Bio Science 20, 1096-1100 (1970).
- Mangenot G.*: Etude sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire. Etudes Ebourniennes, IFAN 4, 5-61 (1955).
- Masozera C. et Bouyer S.*: Potassium et calcium labiles dans quelques types de sols tropicaux. Coll. FAO/IAEA, Vienne, déc. 1971.
- Muller P.*: Die Biomasse des Ökosystems im zentralamazonischen Regenwald. Mitt. Biogeogr. Abt. d. geogr. Inst. d. Saarland. des. 3 (1972).
- Nye P. H.*: Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. Plant and Soil 13, 333-346 (1961).
- Ovington J. D. et Olson J. S.*: Biomass and chemical content of El Verde lower montane rain forest plants. In: A tropical rain forest, ODUM, H.T. ed., Div. Techn. Inform. US Atom. Energy Commission. H-2, H53-H77, 1970.
- Roose E. J. et Talineau J.-C.*: Influence du niveau de fertilisation sur le bilan des éléments nutritifs majeurs de deux plantes fourragères cultivées sur un sol sableux de basse Côte d'Ivoire. Comm. Xe Coll. Inst. Int. Potasse, Abidjan (1973).

Potassium cycle in the humid tropical forest

Mrs. France Bernhard-Reversat, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Laboratoire de Physiologie Végétale, Centre d'Adiopodoumé/Ivory Coast

Summary

In tropical forests recycling of nutrients is of great importance due to a high biomass, which puts into circulation in the vegetation an important part of the soil's reserves. The study of potassium cycle is made in the frame of a study on major nutrients in the tropical forests of lower Ivory Coast. The stockage in vegetation is represented essentially by the wood of the trunks and of the large branches, the potassium content of which being very low (0.05 to 0.2% of dry matter).

In the soil the quantity of exchangeable potassium is low, and very variable in time. The content diminishes very rapidly from the surface till a depth of 50 cm. It varies according to topographical conditions of the site, being higher in the talwegs than on the plateaus. The medium quantity present in the horizon of 0 to 50 cm is 80 to 160 kg/ha.

The supply of potassium to the soil takes place by the falling of litter on one side, and on the other by throughfall waters. The potassium content of the leaves varies according to the site, and the annual contribution made by total litter (leaves, fruits, and wood) represents 26 to 80 kg/ha according to the site. Potassium release from the litter during its decomposition is very fast: 70 to 80% is released during the first two weeks.

Throughfall is a very important way of potassium circulation, since the quantity contributed to the soil annually by this way is twice as high as the contribution made by the litter (60 to 170 kg/ha according to the site).

The percolating water collected at a depth of 40 cm shows a lower potassium content than that of throughfall water. In the forests examined the horizon of 0 to 40 cm contains 60 to 80% of the rootlets, an important absorption taking place at this level. The analysis of water from sources gives an extremely low potassium level, which allows to assume that the withdrawal of this element outside of the ecosystem is negligible.

In conclusion it can be stated that the quantity of potassium recycled annually is high in comparison with the stocks in the vegetation and in the soil. The ecosystem of the forests is efficient for potassium retention. The site affects greatly the importance of the quantities put into circulation.

Report of the Co-ordinator of the 2nd Session

Prof. Dr. *K. Mengel*, Director of the Büntehof Agricultural Research Station, Hannover/Fed. Rep. of Germany

Scientific research means to some extent to trace back the vast amount of observations and analytical data on more general lines and laws. This holds also for agricultural research and particularly for plant physiology related to crop production. Session II of this Colloquium was dedicated to more physiological problems and it is my task to evaluate the papers presented during this session with regard to such general lines and laws.

Prof. *Tanaka* gave us an example how physiological, nutritional and morphological factors contribute to the yield level and yield ceiling of rice. One more general conclusion coming out of his paper is the question of limiting factors. This is a most important question for all people engaged in crop production. However, often this question cannot be answered easily. Concerning rice Prof. *Tanaka* assumes that during the rainy season in the Far East, light intensity is the limiting factor, which probably is a main point, but it should be kept in mind that under cloudy weather conditions also other physiological factors are affected such as transpiration, translocation, respiration and processes related to phytohormones.

In order to raise the yield ceiling of rice Prof. *Tanaka* proposes to increase the sink, which means in practical terms to increase the number of grains per panicle or plant. No doubt this is primarily a question of breeding, but breeding needs feeding as we have learned in the last decade.

The data of Mr. *Martin-Prével* clearly showed that potassium increased the photosynthetic rate, which means that it favours in some way the physiological source; whether it influences also directly processes of the physiological sink, is a question, which merits further attention.

In this respect the experimental results of Mr. *Ng Siew Kee* and also of Mr. *du Plessix and co-workers* are of interest showing that there exists a positive interaction between the application of ethrel or analogous chemicals and the K status of plants. Application of ethrel means *cum grano salis*, increasing the sink, because the flow period is extended. An increased sink needs a more efficient source, which probably is favoured by K.

Source sink relationships are not characterised by constant turnover rates, but are embedded in a plant's life cycle, which also is of substantial importance for nutrient uptake particularly for the uptake of potassium. I fully agree with Dr. *Tinker's* statement that 'nutrition is a dynamic process'.

The new concept he presented concerning nutrient diffusion and flow rates in the soil towards plant roots actually represents a progress in understanding soil plant relationships.

As pointed out by Prof. *Tinker* and also by Mr. *Lacoeuilhe*, uptake rates of potassium depend on growth rate and no doubt on root metabolism. The poor P and K content e.g. of rice plants growing under reducing conditions as mentioned by Prof. *Tanaka* possibly go back on a disturbed root metabolism due to toxic substances of the reducing conditions in the root medium.

Growth rate favours uptake rate of potassium, this particularly holds for the vegetative growth stage. Vegetative growth means in biochemical terms: protein synthesis. The positive interaction between potassium and nitrogen with regard to yield formation, mentioned by Mr. *Ollagnier*, can be explained by the fact that nitrogen increases the cell division rates which concomitantly means an increase of the physiological sink for K. Climatic conditions enabling high growth rates requires for this reason high rates of nitrogen and potassium. This is particularly true for some tropical grasses (maize, sugar cane, sorghum) due to their high CO₂-assimilation rates.

The supply of younger tissues with potassium is not only achieved by the potassium uptake of the roots but also by the redistribution of K from older leaves to younger ones. As Mr. *Bouychou* demonstrated for *hevea* and Mr. *Braud* for cotton the K contents of leaves or petioles, respectively decline with age. The question is of interest whether a too high K depletion of these older plant organs affects metabolic processes, such as CO₂-assimilation, which contribute to yield formation.

As shown by Mr. *du Plessix and co-workers* the K content of leaves is related to the yield and the observations of Mr. *Dubernard* are on a similar line.

A lack of K in leaves is to some degree substituted by other cation species such as Mg and Ca, which obviously can substitute for the cationic properties of K, but not for its more specific biochemical effects. It appears that the higher Ca and Mg contents in plant tissues in relation to a poor K supply, as evidenced by Mr. *Ng Siew Kee* and by Mr. *du Plessix and co-workers*, is rather a substitution effect than an antagonism in the proper sense of this term.

Last not least I should like to refer to Mr. *Lacoeuilhe's* paper, which in my opinion stressed an important aspect: the problem to meet the plant's demand for K⁺ according to its physiological requirement under unfavourable soil conditions and high rainfall, typical for tropical regions. The problem will be increasingly severe with higher yield targets since under this condition high supply rates of K are needed according to Prof. *Tinker's* concept. Mr. *Lacoeuilhe's* proposition to use split applications no doubt means a valuable approach concerning this problem.

3e Séance de travail
3rd Working session

Le potassium et la fertilisation des cultures tropicales

The role of potassium in the manuring of tropical crops

Président de la séance
Chairman of the session

Prof. D. K. Acquaye
Dean Faculty of Agriculture, University of Ghana,
Legon/Nigeria

Coordonnateur
Co-ordinator

Prof. Dr. I. Arnon
Former Director of the Agricultural Research
Station, The National and University Institute of
Agriculture, Bet Dagan/Israel; Member of the
Scientific Board of the International Potash Insti-
tute

La fertilisation potassique en relation avec les autres facteurs de production

L. Richard, Ing. agr., Dr ing., Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE),
Paris/France

Résumé

L'intensification des systèmes de production traditionnels des régions soudanaises et soudano-guinéennes devient une réalité notamment sous l'action des cultures de rente. Cette intensification nécessite une nutrition minérale accrue des cultures, le potassium jusqu'à présent peu utilisé devient indispensable pour permettre aux diverses améliorations de manifester leur plein effet et pour maintenir la fertilité des sols.

Cette fertilisation doit s'adapter aux caractéristiques pédologiques et climatiques du milieu. Dans les sols à faible capacité d'échange on apportera le potassium à chaque culture, ses arrière-effets sont notables mais insuffisants pour permettre un espacement des fumures potassiques. Cette fertilisation annuelle est d'autant plus nécessaire que les sols sont plus perméables et les précipitations intenses, toutefois, le rythme des apports de potassium pourrait être modifié si l'on tient compte d'un passage possible sous forme organique.

Les matières végétales enfouies, qu'elles proviennent des récoltes ou de prélèvements extérieurs, jouent un rôle de premier ordre dans la nutrition potassique des cultures, il est même possible qu'elles représentent la forme de réserve la plus abondante et la plus disponible lorsque la capacité d'échange des sols est très réduite.

Dans l'économie rurale africaine actuelle tributaire de frais de transport élevés et soumise aux variations des cours du marché international toutes les solutions permettant une économie dans l'emploi des engrais sans limiter leur efficacité doivent être recherchées.

1. Fertilisation potassique et intensité d'exploitation

L'Afrique tropicale offre un excellent exemple d'évolution des systèmes de production. Traditionnellement, il y a seulement quelques décades, chaque communauté produisait selon ses besoins sans intervention de facteurs extérieurs, tels qu'énergie et fertilisants. Un équilibre s'était établi à un niveau souvent médiocre mais permettant cependant de maintenir la fertilité des sols. L'ouverture de l'Afrique au monde extérieur et l'apparition de nouveaux besoins conduisent à une intensification de la production; les cultures d'exportation y jouent un rôle essentiel, en rompant un cycle d'autoconsommation elles permettent en effet l'introduction progressive de facteurs extérieurs dont la fertilisation minérale qui concourt à la définition d'un nouvel équilibre entre production et restitution. Le coton est certainement une des cultures ayant le plus contribué à la mutation de l'agriculture des zones soudanaises et soudano-guinéennes, nous essayerons à travers cette culture d'illustrer l'évolution qualitative des formules d'engrais et de montrer le rôle que le potassium commence à jouer dans la production et le maintien de la fertilité des sols.

Dans le tableau n° 1 nous mettons en comparaison, à sept années d'intervalle, la composition des formules d'engrais et une estimation des rendements auxquels elles conduisent. Nous voyons immédiatement l'importance prise par le potassium ces dernières années, cause, et conséquence également, de l'accroissement des rendements et de la stabilisation des cultures. Cette évolution parallèle de la production et de la fertilisation potassique illustre les connaissances acquises en physiologie végétale et en agronomie car, si le potassium n'est pas un élément de constitution, il intervient cependant dans de nombreux phénomènes physiologiques: photosynthèse, protéogénèse, lipogénèse (*Chaminade [4]*) qui conditionnent la croissance et le développement du végétal. D'une manière sans doute un peu simple nous pouvons schématiser le rôle prépondérant du potassium dans la croissance du végétal en observant les quantités d'éléments immobilisées à l'hectare par une culture cotonnière; avec 213 kg/ha (K_2O) à 120 jours, le potassium devance nettement les autres éléments (tableau 2). Reprenant une expression de *Gaucher [9]*, reconnaissons que, si l'azote peut être considérée comme le pivot de la fumure, le potassium en est l'élément-clé. Devant l'importance que prendra le potassium dans la fertilisation des cultures tropicales au cours de leur intensification, il est nécessaire que les agronomes précisent ses effets et surtout ses interactions avec les autres facteurs de production. Dans cet

Tableau 1. Comparaison des formules d'engrais proposées en vulgarisation (1966-1973)

	1966					1973					
	Eléments en kg/ha				Augmentation de production en kg/ha (moyenne essais fertilisation 1965)	Eléments en kg/ha				Augmentation de production (estimation d'après essais 1971 et 1972)	
	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O		B ₂ O ₃
Afrique de l'Ouest											
Côte d'Ivoire	20	45	23	-	293	50	28	10	28	2,0	400
Dahomey (Nord-Centre)	16	54	18	-	480	45	37	8	23	1,5	450
Dahomey (sud)						34	27	7	40	1,5	700
Togo (Nord-Centre)						45	37	8	23	1,5	800
Togo (sud)						34	27	7	40	1,5	650
Haute-Volta	20	67	23	-	304	45	37	8	23	1,5	520
Niger (sols ferrug.)						45	37	8	23	1,5	-
Niger (sols alluv.)						45					200
Mali	20	67	23	-	489	45	37	8	23	1,5	530
Sénégal						34	27	7	40	1,5	450
Afrique Centrale											
Cameroun	20	19	23	-	240	49	22	6	17	1,2	300
RCA	42	38	23	-	368	23	20	5	15	1,1	-
Tchad	40	-	46	-	438	23	20	5	15	1,1	500
Madagascar											
Nord-Ouest	135				1000	135					1000

exposé, nous insisterons surtout sur la notion d'interaction beaucoup plus riche d'enseignement et plus proche du réel que l'étude de l'effet propre à un facteur isolé. La complexité des relations du potassium avec les autres facteurs de production nous obligera cependant à limiter l'étude aux interactions simples de même que le statisticien se voit souvent contraint à dissocier une expérience multifactorielle en plans distincts.

Ces interactions seront étudiées à partir de quelques cas concrets abordés par l'Institut de Recherches du Coton et des Textiles en coopération avec les services de recherches agronomiques de divers Etats d'Afrique tropicale:

- relations avec le climat,
- relations avec les autres éléments de la nutrition minérale,
- relations avec la fertilisation organique.

Il est bien évident que ces trois cas ne représentent qu'un aspect limité de l'incidence du milieu et des techniques agricoles sur la fertilisation potassique mais il illustrent cependant l'étroite interdépendance de ces divers facteurs.

2. Relations climat-fertilisation potassique

Il est bien connu que les alternances de dessiccation et d'humidification du sol accroissent la rétrogradation du potassium, si cette action du milieu est particulièrement sensible dans les sols riches en illite et montmorillonite, par contre, dans les sols africains où la kaolinite prédomine, les phénomènes de rétrogradation dus aux variations de l'état hydrique du sol ne doivent pas être sensibles au niveau des techniques agricoles. Toutefois, il peut y avoir d'autres incidences climatiques qui conduisent le cultivateur à modifier sensiblement la fumure potassique d'une culture; nous prendrons pour exemple l'importance des pluies sur la nutrition potassique du cotonnier au Togo sur les terres de barre du sud.*

2.1. Incidence du premier cycle de pluies sur la fertilisation potassique du cotonnier cultivé en deuxième cycle sur les terres de barre du Togo

2.1.1. Le milieu

Le climat est du type guinéen à deux saisons des pluies permettant deux cultures annuelles qui sont dans le cas qui nous occupe maïs d'avril à juin et coton de juillet à décembre.

Tableau 2. Eléments immobilisés par une culture cotonnière (kg/ha) (L. Richard [14])

Nb jours après levée	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
30.....	2,4	0,2	0,4	3,5	1,7	0,4
50.....	10,4	0,8	1,8	10,9	5,7	1,1
70.....	39,7	4,0	8,0	46,8	27,2	4,3
90.....	74,7	9,0	16,5	97,8	51,4	8,4
110.....	139,2	22,6	34,8	200,0	92,7	16,9
120.....	146,9	27,1	40,5	213,0	92,5	17,4

* Etude réalisée à Kouvé-Tabligbo par M. Narcisse Dossou.

Les sols dénommés localement terre de barre sont des sols à sesquioxydes faiblement ferrallitiques, rouges, argilo-sableux profonds.

2.1.2. *Variations climatiques et comportement des cultures au cours des années 1970, 1971 et 1972*

Au tableau 3 figurent pour chacune des trois années les données recueillies sur les parcelles-témoin, sans engrais, d'un essai de fertilisation:

- pluviométrie du premier cycle
- rendement maïs
- pluviométrie du deuxième cycle
- rendement coton
- analyses foliaires du cotonnier: teneurs en N, P et K.

L'examen de ce tableau conduit aux remarques suivantes:

- relation positive entre la pluviométrie du premier cycle et le rendement du maïs
- relation négative entre le rendement du cotonnier et la pluviométrie du premier cycle ou le rendement du maïs
- relation positive entre le rendement du cotonnier et la nutrition potassique caractérisée par la composition foliaire. Il y a également une relation positive avec les teneurs en phosphore.

En 1970 et en 1972, les teneurs en K des feuilles du cotonnier suffisent à expliquer la médiocrité des rendements en coton-graine (*Braud [1]*), les teneurs en phosphore sont également très déficientes.

Deux causes peuvent être retenues pour expliquer la mauvaise nutrition phosphopotassique:

- 1° lessivage des éléments fertilisants par les pluies du premier cycle,
- 2° immobilisation de ces éléments par la culture de maïs favorisée par la pluviométrie des années 1970 et 1972.

Ces deux hypothèses ont été testées dès l'année 1972.

Tableau 3. Variations climatiques et comportement des cultures au cours des années 1970, 1971 et 1972 - Kouvé - Tabligbo - Togo

Années	Pluviométrie 1 ^{er} cycle mars-juin en mm	Rendement maïs kg/ha	Pluviométrie 2 ^e cycle juillet-déc. en mm	Rendement coton kg/ha	Analyses foliaires coton		
					N % mat. sèche limbe	P % mat. sèche limbe	K % mat. sèche petiole
1970.....	513	3156	464	861	3,52	0,08	1,64
1971.....	375	1135	441	1134	4,54	0,24	3,04
1972.....	526	2459	362	1062	4,54	0,18	2,28

2.1.3. Incidences respectives de la pluviométrie et de la mobilisation des éléments fertilisants par la culture du premier cycle sur la nutrition potassique du cotonnier

2.1.3.1. Dispositif expérimental

Premier cycle de culture :

– Objets mis en essai :

- 1^o parcelle non cultivée
- 2^o maïs sans fumure azotée
- 3^o maïs avec 50 kg/ha urée
- 4^o maïs avec 100 kg/ha urée.

Ces quatre objets avaient pour but de conduire à des exportations ou immobilisations variables en P et K.

Deuxième cycle de culture :

- Culture uniforme de coton avec fertilisation minérale :
N = 32 kg/ha, P₂O₅ = 45 kg/ha, K₂O = 60 kg/ha, S = 11 kg/ha.

Le rôle de cette culture était de matérialiser les divers niveaux de fertilité du sol suivant les quatre objets implantés en premier cycle.

Des analyses de sol ont été réalisées avant le maïs, entre le maïs et le coton et après le coton à deux niveaux 0–20 et 20–40 cm.

Un diagnostic foliaire a été pratiqué sur le cotonnier.

2.1.3.2. Résultats expérimentaux

– Rendements

Aucune variation de rendements ne s'est manifestée sur maïs et sur coton (tableau 4). Si l'on compare entre eux les rendements en coton des quatre objets, on constate que le fait de supprimer les immobilisations (objet 1) n'a aucune incidence sur la production du cotonnier. La composition foliaire du cotonnier, tableau 5, reflète l'uniform-

Tableau 4. Rendements en kg/ha

Objets	Maïs 1 ^{er} cycle	Coton 2 ^e cycle
1. Pas de culture maïs	–	1589
2. N = 0 sur maïs, kg/ha	3199	1601
3. N = 22 sur maïs, kg/ha	3006	1671
4. N = 44 sur maïs, kg/ha	2976	1699

Tableau 5. Composition foliaire du cotonnier

Objets	N % matière sèche limbe	P % matière sèche limbe	K % matière sèche pétiole
1.	4,64	0,26	1,76
2.	4,76	0,24	1,64
3.	4,36	0,24	1,60
4.	4,46	0,24	1,68

mité de sa réaction aux quatre traitements du premier cycle, on observe une déficience moyenne en phosphore et forte en potassium malgré l'apport de 60 kg/ha de K₂O au moment du semis.

– Analyse du sol

Dans le tableau 6 figure la composition du sol de l'essai, bien caractéristique d'un sol ferrallitique lessivé, pH acide et très faible teneur en potassium total.

Les quatre objets 1, 2, 3 et 4 ayant eu un comportement identique et l'analyse statistique ne révélant pas de différences entre leurs teneurs en potassium pour chaque date de prélèvement, nous donnons dans le tableau 7 les teneurs moyennes en potassium échangeable de chacun des deux horizons échantillonnés 0-20 et 20-40 cm.

2.1.3.3. Interprétation des résultats

Nous avons vu que les immobilisations par la culture de maïs n'avaient pas une incidence notable sur le rendement et la nutrition potassique du cotonnier; la teneur en K du pétiole de l'objet 1 (sans maïs) est de 1,76 et celles des objets 2, 3 et 4 après une récolte de maïs de 3 t/ha de 1,64, 1,60 et 1,68. Les variations de rendement du cotonnier, observées surtout en 1970 et 1971, ne sont pas liées à celles du maïs; il y a variations parallèles sans qu'il y ait relation de cause à effet. L'incidence des pluies sur la richesse en potassium de la solution du sol nous paraît beaucoup plus vraisemblable et les données du tableau 7 viennent à l'appui de cette hypothèse. Nous y voyons en effet une diminution progressive et forte du potassium échangeable entre le 16 mars et le 25 novembre, près de la moitié du potassium échangeable de cet horizon a disparu. Dans l'horizon 20-40 nous notons au contraire un enrichissement, il y aurait donc, en cours de culture, du 16 mars au 25 novembre un lessivage important du potassium assimilable de l'horizon 0-20 qui ne se retrouve que partiellement dans l'horizon sous-jacent. Cette migration du potassium est confirmée par l'analyse statistique qui révèle une interaction hautement significative entre les deux horizons

Tableau 6. Analyse du sol avant la culture du maïs

Horizon	SG Sable grossier	SF Sable fin	LG Limon grossier	LF Limon fin	A Argile	Matière organique	SG+SF	LG+LF	pH eau	pH KCl	K total g p. 1000	P total ppm
0-20	36,5	33,5	8,5	6,0	13,0	2,5	70,0	14,5	5,8	5,1	0,14	202
20-40	34,5	34,0	18,5	6,7	5,0	1,3	68,5	25,2	5,8	5,2	0,22	210

Tableau 7. Evolution du potassium échangeable (méq./100 g)

Horizon	Avant maïs		Avant épandage engrais coton	
	16 mars		29 juin	
			Après coton	
			25 novembre	
0-20	0,21	0,13	0,11	
20-40	0,07	0,06	0,10	

et les deux dates (29 juin–25 novembre) pour les teneurs en potassium. Il est certain que l'enracinement du cotonnier va au-delà des 20 premiers centimètres mais la partie active du système racinaire est cependant superficielle et de toute manière, au 25 novembre, les deux horizons ont des teneurs nettement déficientes avec respectivement 0,11 et 0,10 méq./100 g.

Ce lessivage observé et contrôlé au cours de la période de culture et qui aboutit à une situation carencielle permet de retenir et d'expliquer avec suffisamment d'assurance la relation pluviométrie premier cycle – rendement coton, exposée au paragraphe 2.1.1.: une pluviométrie excessive durant les mois qui précèdent la culture du coton entraîne le potassium assimilable qui devient le principal facteur limitant de la production.

Cette incidence des pluies est liée évidemment à la faible capacité d'échange du sol, les échanges entre solution et complexe absorbant sont en effet très rapides et les déficiences potassiques ne devraient être que passagères après une forte précipitation, ceci nous conduit à poser le problème des réserves potassiques rapidement utilisables dans les sols tropicaux dont la capacité d'échange n'excède pas quelques milliéquivalents pour 100 g de terre. Nous verrons ultérieurement que la matière organique, humifiée ou non, joue un rôle considérable dans ce domaine.

3. Relation du potassium avec les autres éléments de la nutrition minérale

3.1. Interdépendance des éléments de la nutrition minérale

L'interdépendance des éléments de la nutrition minérale est reconnue depuis longtemps, *Liebig*, dès 1843, proposa la loi du minimum «Le poids de la récolte dépend uniquement du constituant nutritif le plus faiblement représenté». Cette loi, malgré son imprécision, représente non seulement la première loi d'action d'un élément, mais implique en outre, dans une certaine mesure, une interdépendance des seuils des éléments de la nutrition. En 1909 *E. A. Mitscherlich* proposa une formule décrivant les courbes d'action établies expérimentalement: $Y = A (1 - e^{-cx})$

Y = croissance

A = croissance maximale accessible pour le milieu considéré

c = constante d'action propre à l'élément étudié

x = apport de l'élément x dans le milieu.

Les critiques, souvent très fécondes, de la formule de *Mitscherlich* portèrent principalement sur le terme c, constante d'action d'un élément. Pour *Mitscherlich*, cette constante ne dépend que de l'élément étudié, elle peut être déterminée une fois pour toutes. La constante d'action dépend en fait de la composition du milieu. *Lavollay*, *Laborey* et *Neumann* [11], étudiant la nutrition minérale d'*Aspergillus niger*, établissent en 1941 qu'il existe une nette interdépendance entre la proportion convenable du magnésium et la teneur du milieu en éléments minéraux. Il existe notamment entre magnésium et phosphore une relation linéaire, magnésium = k phosphore. Personnellement, poursuivant ces travaux sur *Aspergillus niger*, nous avons pu, par des voies expérimentales différentes, étendre cette relation linéaire à trois éléments (*Richard* [13]):

$$\frac{K}{a} = \frac{Mg}{b} = \frac{Zn}{c}$$

Relation qui s'énonce ainsi:

Pour une concentration donnée de l'un des éléments, il faut au minimum apporter les deux autres suivant des concentrations correspondant à la relation proposée pour obtenir la récolte maximale compatible avec le milieu.

Adaptant à l'agronomie sous le nom de «Méthode des Coupes» la méthodologie mise au point avec *Aspergillus niger* nous avons pu montrer que ces relations linéaires étaient valables pour les éléments majeurs de la nutrition minérale des végétaux supérieurs, et Braud [2], travaillant en milieu artificiel, a établi la relation suivante pour le cotonnier:

$$\frac{NO_3^-}{16} = \frac{PO_4H_2^-}{1} = \frac{SO_4^{--}}{1} = \frac{K^+}{5} = \frac{Ca^{++}}{10} = \frac{Mg^{++}}{5}$$

Ces données de la physiologie ont des conséquences pratiques immédiates en agronomie:

- la composition des formules d'engrais doit être établie en fonction de la dose utilisée, pour tenir compte des éléments déjà présents dans le sol,
- l'ensemble des éléments fertilisants d'un sol doit être envisagé pour estimer sa fertilité vis-à-vis d'un seul élément.

3.2. Composition des formules d'engrais suivant la dose

En introduction nous avons présenté l'évolution des formules d'engrais au cours des dix dernières années en culture cotonnière avec l'apparition récente du potassium dans ces formules. Certains, insuffisamment informés, se sont étonnés de cette innovation alors que les déficiences potassiques sont encore sporadiques, hors certaines zones particulières, estimant qu'il était peut-être superflu d'accroître les charges des cultivateurs pour un élément dont la nécessité n'était pas toujours évidente.

Indépendamment de l'appauvrissement des sols par les exportations, sur lequel nous reviendrons, le bref rappel théorique précédent nous montre qu'il serait illusoire d'intensifier la fertilisation sans tenir compte du potassium qui pourrait devenir facteur limitant même si la richesse des sols en cet élément ne se trouvait pas modifiée.

3.3. Diagnostic de la fertilité d'un sol en un élément

Les agronomes étudiant la fertilité d'un sol se sont souvent fixé pour but la détermination d'un seuil pour chaque élément en deçà duquel sa présence dans la fertilisation a un effet positif sur les cultures. Le résultat peut être facilement acquis en un point donné, mais la généralisation n'a pas souvent été couronnée de succès, diverses raisons ont été invoquées:

- nécessité d'adapter le mode d'extraction de l'élément considéré au sol étudié,
- interaction entre éléments dans le sol, la disponibilité de l'un d'entre eux étant fonction du niveau des autres,

- d'autres facteurs plus particuliers peuvent intervenir notamment pour le potassium tels qu'humidité du sol ou capacité d'échange des racines variable suivant les cultures.

Toutes ces raisons sont parfaitement valables pour expliquer la difficulté de préciser un seuil critique pour chaque élément ou plus simplement de dire si tel sol est riche en potassium ou pauvre en phosphore; toutefois nous voudrions insister sur la notion de facteur limitant au niveau de la nutrition minérale des végétaux que nous évoquons actuellement en l'illustrant par un résultat expérimental obtenu sur coton en Côte d'Ivoire.* L'étude des déficiences minérales a été entreprise depuis plusieurs années comme dans les autres Etats africains producteurs de coton par la méthode soustractive; par cette méthode, on compare les rendements obtenus avec une formule complète NSPK à ceux obtenus avec des formules desquelles on soustrait un des quatre éléments. Ces essais, conduits sous forme pluriannuelle, permettent de suivre l'évolution des déficiences. Au tableau 8 figure l'évolution des rendements des objets -K estimés en pour-cent des rendements des objets NSPK dans deux essais implantés à Yamoussoukro et Niakaramandougou; on y observe très nettement l'apparition d'une déficience potassique.

Dans le tableau 9 sont résumés les caractéristiques des deux sols que nous allons examiner du point de vue des trois éléments NPK de la nutrition minérale.

Le sol de Yamoussoukro est trois fois plus riche en N et K que le sol de Niakaramandougou, alors que les teneurs en P_2O_5 Olsen sont sensiblement équivalentes. Si l'on observe uniquement les teneurs en K de ces sols on peut être étonné de voir se développer une déficience potassique à Yamoussoukro plus rapide et plus sévère qu'à Niakaramandougou (tableau 8). Au tableau 10, nous voyons même que les teneurs en K de la dernière année de coton à Yamoussoukro sont encore supérieures à celles de la mise en culture à Niakaramandougou, où aucun effet de la fumure ne se manifestait. Il est clair, dans cet exemple, qu'aucune comparaison de la richesse potassique des deux sols en présence ne peut être faite sans tenir compte de leur richesse en azote. Dans le premier cas le potentiel de production est beaucoup plus élevé que dans le deuxième en raison d'une forte teneur en matière organique riche en azote; le potassium y devient très vite facteur limitant lorsqu'on exploite ses réserves par une culture continue imposant une fertilisation potassique pour que se manifeste les possibilités du sol.

Ce souci de poser un diagnostic global de la fertilité d'un sol n'est pas nouveau, rappelons que les travaux de *Dabin* en Côte d'Ivoire [6] en 1961 et, plus récemment, ses recommandations pour estimer les teneurs en P_2O_5 Olsen suivant les teneurs en azote [7].

Tableau 8. Evolution des rendements des parcelles sans fumure potassique (Deat [8])

	Rendement des objets -K en % des objets NSPK				
	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	4 ^e année	5 ^e année
Yamoussoukro	96	94	82	58	
Niakaramandougou	96	92	85	84	77

* Expérimentation réalisée par C. Bouchy et M. Deat.

Tableau 9. Caractéristiques des sols de Niakaramandougou et Yamoussoukro d'après Latham [12] et M. Déat [8]

Classification Groupe Sous-groupe Famille Série	Yamoussoukro		Niakaramandougou	
	ferrallitique remanie modal granite		ferrallitique typique remanie granite	
	moyennement profond et gravillonnaire		peu profond, appauvri, faiblement rajeuni	
	0-25	25-50	0-25	25-50
Refus %	24,2	40,4	18,2	25,0
Argile	16,8	19,5	10,4	14,2
Limon fin	8,5	5,6	5,1	5,3
Limon grossier	4,0	3,5	4,4	4,8
Sable fin	18,5	18,0	20,3	17,5
Sable grossier	49,0	52,0	59,6	59,2
C 10 ⁻³	33,07	10,80	9,50	6,12
N 10 ⁻³	2,73	0,99	0,55	0,41
pH eau	5,9	5,7	6,6	6,1
Cations échang. méq.				
Ca	7,02	2,14	2,90	1,22
Mg	3,75	1,75	1,48	0,92
K	0,63	0,29	0,15	0,12
Na	0,21	0,10	0,03	0,07
Cap. échange	15,53	6,05	5,27	4,58
P ₂ O ₅ total 10 ⁻³	0,42	0,45	0,36	0,24
P ₂ O ₅ assim. Olsen	0,05	0,04	0,06	0,10
Ca total en méq.	8,10	2,60	4,40	2,50
Mg total en méq.	3,50	2,24	0,80	1,90
K total en méq.	1,59	0,90	1,10	1,40
Inst. struct.	0,12	0,94	0,24	1,17
S. bases échang. en méq.	11,51	4,26	4,56	2,33
Taux satur. en %	91,8	70,4	86,5	50,8
C/N	12,11	10,87	17,18	15,07

Tableau 10. Teneur en potassium échangeable en méq./100 g des sols des essais (Déat [8])

	A la mise en place		Après 4 ou 5 ans de culture			
	0-25	25-50	Objet NSPK		Objet -K	
			0-25	25-50	0-25	25-50
Yamoussoukro	0,63	0,29	0,45	0,30	0,25	0,20
Niakaramandougou	0,15	0,12	0,25	0,22	0,11	0,10

4. Relation du potassium avec la fertilisation organique

4.1. Divers modes de fertilisation organique

Nous considérons comme fertilisation organique tout apport au sol comportant des produits humifiâbles: fumier de ferme, pailles et engrais verts. Les épandages de terres de parc ou d'excréments animaux doivent être considérés comme fertilisants minéraux. Les relations du potassium avec les fumures organiques peuvent être complexes, car l'humus modifie profondément la capacité d'échange d'un sol et améliore aussi ses caractéristiques hydriques, deux facteurs qui contrôlent la dynamique du potassium et le rythme de l'alimentation des végétaux; les effets indirects viennent se surajouter aux effets directs du potassium apporté par les fumures elles-mêmes. A partir de deux exemples provenant toujours de l'expérimentation cotonnière nous allons tenter d'apporter notre contribution à la connaissance de ces relations.

4.1.1. Le potassium et le fumier de ferme

4.1.1.1. Fertilisation organique au Mali

La fertilisation organique a été une préoccupation des *Services Agricoles du Mali* depuis plus de dix années. Cette préoccupation a été partagée par la *Station de N'Tarla-M'Pesoba* qui, en 1965, a mis en place un essai pluriannuel en rotation comparant les effets du fumier, de la fertilisation minérale et de leur association*. Après huit années d'expérimentation accompagnée d'analyses de terre et de matières végétales il est possible d'orienter les recommandations aux cultivateurs pour le maintien de la fertilité des terres en culture.

4.1.1.2. Expérimentation pluriannuelle en rotation à N'Tarla

- Sol provenant de la dégradation de grès cambriens, fortement lessivés avec présence de concrétions ferrugineuses.
- Trois essais en série avec rotation quadriennale:
 - coton
 - sorgho
 - arachide
 - sorgho
- essai 1: mise en culture avec coton en 1965
- essai 2: mise en culture avec coton en 1967
- essai 3: mise en culture avec coton en 1966.
- Traitements mis en essai
 - A: témoin
 - B: fumier 15 t/ha sur coton
 - C: engrais
 - sur coton } 100 kg/ha sulfate d'ammoniaque
 - } 150 kg/ha triple superphosphate
 - uniquement } 50 kg/ha urée à 45 jours depuis 1971
 - D: fumier + engrais (B + C)

* Expérimentation réalisée par C. Gaborel et F. Mauré.

- Les rendements obtenus pour chaque culture figurent au tableau 11, mais nous comparerons uniquement les effets moyens de chaque mode de fertilisation sur le coton pour chacune des deux rotations (tableau 12). Les arrière-effets sur les autres productions sont également intéressants mais d'un point de vue différent de celui qui nous occupe dans ces observations. Chaque essai comportant annuellement quatre répétitions, les rendements moyens annoncés correspondent donc à 12 rendements parcellaires.

4.1.1.3. Observations sur les rendements

Entre la première et la deuxième rotation, les productions du témoin et de l'objet engrais ont diminué sensiblement alors que les parcelles recevant du fumier ont maintenu leurs productions à peu près au même niveau.

L'interaction entre fumier et engrais est négative. C'est-à-dire que l'accroissement de production lorsque l'on associe les deux fumures (fumier + engrais) est inférieure à la somme des accroissements provoqués par chacune des deux fumures prises isolément :

Première rotation :

Fumier + engrais - témoin = 1300 kg/ha

Fumier - témoin = 1077 kg/ha

Engrais - témoin = 964 kg/ha

Interaction 1300 inférieure à 1077 + 964

Deuxième rotation :

Fumier + engrais - témoin = 1285 kg/ha

Fumier - témoin = 1157 kg/ha

Engrais - témoin = 767 kg/ha

Interaction 1285 inférieure à 1157 + 767

L'interaction négative signifie en effet que l'une et l'autre fumure agissent sur une même fonction, la nutrition minérale du cotonnier, et que si l'une assure une nutrition proche de l'optimum, l'effet de l'autre, lorsqu'elle s'ajoute à la première, est très limitée. C'est la loi des rendements moins que proportionnels bien connue en agronomie.

Cette observation sur la nature de l'interaction est très importante, elle va nous permettre d'orienter les recherches pour expliquer la chute de production d'une rotation à l'autre avec l'engrais. Cette recherche ne devra pas se limiter aux effets éventuels du fumier sur l'état humique du sol mais envisager également la nutrition minérale du cotonnier.

4.1.1.4. Effet des fumures sur l'état humique du sol

En 1970, des échantillons de terre ont été prélevés sur les essais 1, 2 et 3. L'analyse en a été réalisée par le laboratoire de l'ORSTOM à Bondy, et nous donnons au tableau 13 les valeurs de l'indice IS (instabilité structurale) dont les variations, pour un sol donné, traduisent des différences dans son état humique.

On ne reconnaît aucune différence dans la stabilité structurale suivant le mode de fertilisation. Dans tous les cas, l'instabilité est très forte et l'état humique sûrement très médiocre. Le fumier n'aurait eu aucune action sur l'état physique du sol.

Tableau 11. Rendements en kg/ha des cultures de l'essai pluriannuel de N'Tarla M'Pesoba (Mali)

	Année	Rotation	Cultures	Témoin	Fumier	Engrais	Fumier + engrais	
Essai 1	1965	première rotation	coton	998	1944	1944	2375	
	1966		sorgho	532	1178	1415	1458	
	1967		arachide	1009	1387	1259	1542	
	1968		sorgho	78	92	63	149	
	1969	deuxième rotation	coton	1318	2629	2334	2746	
	1970		sorgho	243	928	540	913	
	1971		arachide	1219	1875	1647	1840	
	1972		sorgho	308	889	1005	1273	
	Essai 2	1967	première rotation	coton	1221	2401	2103	2587
		1968		sorgho	258	690	595	891
1969		arachide		1734	2108	2429	2487	
1970		sorgho		426	610	775	1344	
1971		deuxième rotation	coton	820	1480	1300	1663	
1972			sorgho	617	1761	1389	1848	
Essai 3		1966	première rotation	coton	1738	2844	2803	2895
		1967		sorgho	598	1492	1412	1667
	1968	arachide		1083	1697	1706	1699	
	1969	sorgho		678	1170	1581	2222	
	1970	deuxième rotation	coton	1218	2718	2024	2803	
	1971		sorgho	877	2654	1794	3401	
	1972		arachide	1589	2190	1998	2187	

Tableau 12. Rendements moyens en coton-graine (kg/ha) - essai pluriannuel de N'Tarla M'Pesoba

	Témoin	Fumier	Engrais	Fumier + engrais
Première rotation	1319	2396	2283	2619
Deuxième rotation	1119	2276	1886	2404

Tableau 13. Indice Is (Instabilité structurale) - Essai pluriannuel N'Tarla M'Pesoba (1970).

	Année épandage fumier	Témoin	Fumier	Engrais	Fumier + engrais
Essai 1	1965-1969	1,6	1,5	1,6	1,7
Essai 2	1967	1,7	1,6	1,6	1,7
Essai 3	1966	2,0	1,9	2,0	2,1

4.1.1.5. Effet de fumure sur la nutrition minérale du cotonnier

- Bilan minéral des divers modes de fertilisation :

Eléments apportés par 15 t de fumier frais soit 11,5 t de matière sèche d'après le tableau 14 donnant la composition du fumier de N'Tarla-M'Pesoba

N = 190 kg/ha
 P_2O_5 = 100 kg/ha
 K_2O = 506 kg/ha
 CaO = 207 kg/ha
 MgO = 115 kg/ha
 S = 22 kg/ha

Eléments apportés à l'hectare par la fumure minérale

N = 43 kg/ha
 P_2O_5 = 67 kg/ha
 K_2O = néant
 S = 23 kg/ha

On voit immédiatement les différences considérables des apports d'éléments fertilisants entre le fumier et les engrais minéraux. Les différences sont sans doute suffisantes pour expliquer l'infériorité de ceux-ci au cours de la seconde rotation. Par le diagnostic foliaire, nous examinerons successivement les nutriments azotée, phosphatée et potassique du cotonnier en 1971 pour voir si l'un de ces trois éléments est devenu insuffisant après plusieurs années de culture.

- Résultats des analyses foliaires

Nous indiquons, dans le tableau 15, les résultats des analyses foliaires réalisées en 1971. Rappelons que le fumier avait été enfoui au moment du labour précédant le semis et que l'objet engrais avait reçu 50 kg/ha d'urée au 42^e jour de végétation.

Tableau 14. Composition du fumier de N'Tarla M'Pesoba

Composition % matière sèche	1970	1972	Moyenne
N total	1,40	1,90	1,65
P_2O_5	0,90	0,85	0,87
K_2O	5,80	3,00	4,40
CaO		1,80	1,80
MgO		1,00	1,00
S	0,19		0,19
Humidité au moment de l'épandage	22,5	24,0	23%

Tableau 15. Analyses foliaires réalisées en 1971 sur les cotonniers de l'essai pluriannuel de N'Tarla M'Pesoba

Objets	Dosages limbes				Dosage pétioles		N°	Poids
	N % m.s.	S % m.s.	P % m.s.	B ppm	K % m.s.	Ca % m.s.		
T	4,20	0,28	0,18	11,5	4,00	1,28	2,8	10,5
F	4,14	0,28	0,34	8,5	6,28	1,12	4,0	16,8
E	4,28	0,42	0,30	15,5	3,56	1,28	3,2	17,2
E + F	4,84	0,43	0,38	15,5	5,80	1,00	4,0	23,1

– Nutrition azotée

L'analyse de l'azote total dans les limbes des feuilles prélevées sur le premier nœud des branches fructifères ne dénote aucune déficience, le fumier (4,14%) serait même inférieur aux engrais (4,28%). Une analyse plus précise, faisant intervenir les teneurs en azote minérale des pétioles des feuilles terminales à différentes périodes de la croissance du cotonnier, montre que la minéralisation du fumier épandu avant le semis intervient trop tard pour assurer une bonne nutrition azotée du cotonnier.

La supériorité du fumier sur l'engrais au cours de la deuxième rotation ne peut donc s'expliquer du point de vue azote.

– Nutrition phosphatée

L'observation des teneurs en phosphore des feuilles du cotonnier montre que les deux modes de fertilisation, engrais et fumier, assurent une égale correction de la déficience phosphatée qui se manifeste sur le témoin.

– Nutrition potassique

C'est de toute évidence avec la nutrition potassique qu'apparaît la supériorité du fumier au cours de la deuxième rotation, les teneurs en K du pétiole variant presque du simple au double entre les deux modes de fertilisation :

Fumier = 6,28%, Engrais = 3,56%

Cette observation rejoint celle de *Hoagland* [10]. Etudiant l'effet de la matière organique sur la disponibilité du potassium, il conclut que les effets observés avec du fumier aurait pu être obtenus avec sel de potassium en quantité équivalente à celle présente dans la fumure organique. Toutefois, dans un domaine aussi complexe, une certaine réserve doit être respectée, des effets indirects de la matière organique ne peuvent être totalement négligés. *Chaminade* et *Blanchet* [5] ont notamment montré, avec des solutions nutritives coulantes, que la teneur en potassium des plants augmente d'environ 10% par addition de 5 à 10 mg d'humate calcique par litre de solution.

4.1.2. Le potassium et les apports de paille

Nous avons présenté au paragraphe 2 l'effet probable de la pluie sur la disponibilité du potassium dans les terres de barre du Togo, où cet élément devient rapidement le premier facteur limitant la production en l'absence de fertilisation. Dans un milieu parfaitement identique au Dahomey des points de vue climatique, pédologique et agricole une expérimentation a été commencée en 1970 pour suivre les effets d'apport au sol des tiges de maïs cultivé en premier cycle et de pailles de graminées prélevées à l'extérieur de l'essai.*

4.1.2.1. Dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite sur les deux cycles de culture : maïs d'avril à juillet et coton de juillet à décembre ; elle comprend trois objets principaux :

1° Sol nu. Les cultures de maïs et de coton ne recevant aucun apport organique.

* Expérimentation réalisée par *M. Däschner*, *P. Fagla* et *E. Kouveglo*.

2° Paillage avec les tiges de maïs du premier cycle disposées entre les rangs de cotonniers. Estimation de la matière sèche: 2 t/ha.

3° Objet identique à 2 avec en plus apport de pailles de graminées de 10 t/ha environ.

Ces trois objets principaux sont subdivisés en deux sous-objets a et b se différenciant par la fertilisation minérale apportée aux deux cultures de maïs et de coton. Dans le tableau 16, les divers traitements sont récapitulés accompagnés d'une estimation des apports de potasse auxquels ils conduisent.

4.1.2.2. Variations de rendement

Les rendements obtenus dans cette expérimentation figurent au tableau 17. En l'absence de fertilisation la dégradation de la fertilité a été très rapide dans cet essai; le sous-objet 1b, dont seul le premier coton a reçu une fumure minérale modeste, voit sa production coton passer de 816 kg/ha en 1970 à 140 kg/ha en 1972, le sol est donc proche de la stérilité. Devant cette évolution, l'effet des paillages n'en est que plus remarquable, il paraît d'ailleurs proportionnel aux quantités de matière végétale apportées et se manifeste dès la première année d'application:

1970: effet observé sur objet 2 = 93 kg/ha de coton-graine

effet observé sur objet 3 = 492 kg/ha de coton-graine

1971: effet observé sur objet 2 = 173 kg/ha de coton-graine

effet observé sur objet 3 = 953 kg/ha de coton-graine

1972: effet observé sur objet 2 = 58 kg/ha de coton-graine

effet observé sur objet 3 = 1009 kg/ha de coton-graine

Tableau 17. Rendements en kg/ha - Essai pluriannuel Aplahoué

Année	Objets principaux	Objets secondaires	
		a	b
1970	1. maïs, premier cycle		
	coton, deuxième cycle	1241	816
	2. maïs	1229	909
	3. maïs		
	coton	1421	1308
1971	1. maïs		1718
	coton		190
	2. maïs		1843
	coton		363
	3. maïs		2739
	coton		1143
1972	1. maïs	1397	765
	coton	661	140
	2. maïs	1669	706
	coton	912	198
	3. maïs	1935	1510
	coton	1325	1149

Tableau 16. Dispositif expérimental - Essai pluriannuel Aplahoué - Estimation des apports de potasse (K₂O/ha)

Année	Objets principaux	Estimation K ₂ O	Objets secondaires = fertilisation min.									Total K ₂ O	
			a			b			b			a	b
			sur maïs			sur coton			sur coton				
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
1970	1. Sol nu	-	25	36	30	45	30	33	20	60	60	60	
	2. Tige maïs: 2 t/ha	40	25	36	30	45	30	33	20	60	100	100	
	3. Tige maïs: 2 t/ha												
	paille graminée: 10 t/ha	240	25	36	30	45	30	33	20	60	300	300	
1971	1. Sol nu	-										-	
	2. Tige maïs: 2 t/ha	40										40	
	3. Tige maïs: 2 t/ha												
	paille graminée: 10 t/ha	240										240	
1972	1. Sol nu	-	25	36	30						30	-	
	2. Tige maïs: 2 t/ha	40	25	36	30						70	40	
	3. Tige maïs: 2 t/ha												
	paille graminée: 10 t/ha	240	25	36	30						270	240	

L'arrière-effet des paillages est également sensible sur le maïs qui leur succède l'année suivante:

1971: arrière-effet paillage 1970 sur objet 2 = 125 kg/ha maïs
 arrière-effet paillage 1970 sur objet 3 = 1021 kg/ha maïs

1972: arrière-effet paillage 1970 et 1971 sur objet 2 = 272 kg/ha maïs
 arrière-effet paillage 1970 et 1971 sur objet 3 = 664 kg/ha maïs

L'effet direct de la fertilisation minérale ne peut être estimée dans ce dispositif expérimental, seul l'arrière-effet des engrais appliqués au maïs en 1972 peut être observé sur le coton qui lui succède.

1972: arrière-effet engrais maïs sur coton objet 1 = 521 kg/ha coton-graine
 arrière-effet engrais maïs sur coton objet 2 = 714 kg/ha coton-graine
 arrière-effet engrais maïs sur coton objet 3 = 176 kg/ha coton-graine

L'arrière-effet est d'ailleurs assez faible en présence d'un apport important de matière végétale; cette interaction négative rappelle celle déjà observée à M'Pesoba au Mali entre fumier de ferme et engrais minéraux qui s'expliquait par une action conjointe de ces deux modes de fertilisation sur la nutrition minérale du cotonnier suivant la loi des rendements moins que proportionnels.

Cette similitude de réaction nous incite donc à rechercher quelle peut être l'incidence des apports de pailles et de tiges de maïs sur la nutrition minérale; là encore le diagnostic foliaire se présente comme un mode d'investigation de grande valeur.

Dans le tableau 18 sont réunies les données des analyses foliaires réalisées sur coton en 1972. Les trois traitements 1, 2 et 3 conduisent à des teneurs très voisines en N, P et S, pour ce dernier élément les sous-traitements a et b se distinguent par l'arrière-effet du soufre du sulfate d'ammoniaque apporté sur maïs. Il ne faut donc pas rechercher un éventuel effet positif des apports de matière végétale sur la nutrition de la plante en N, P ou S, mais si l'on examine les teneurs en K, la situation est totalement différente, la relation est alors évidente.

Les teneurs en potassium accompagnées des indices de nutrition (*Braud [1]*) correspondants ont été isolés dans le tableau 19. Ces indices représentent les teneurs en potassium en pour-cent du niveau critique, variable suivant diverses caractéristiques de la plante. En 1971, nous avons déjà noté une relation identique entre les apports de matière végétale au sol et la nutrition potassique du cotonnier (tableau 20).

Tableau 18. Analyse foliaire du cotonnier – Essai pluriannuel Aplahoué 1972

Objets principaux	Objets secondaires	Teneur % matière sèche			Pétioles	
		Limbes N	S	P	Mg	K
1. Sol nu	a) Fert. min. maïs NPSK	3,76	0,65	0,22	0,76	1,20
	b) Sans fert. min.	4,04	0,38	0,20	1,24	0,60
2. Tiges maïs	a) Fert. min. maïs NPS	4,40	0,67	0,24	0,72	1,44
	b) Sans fert. min.	4,28	0,38	0,20	0,84	1,16
3. Tiges maïs pailles graminées	a) Fert. min. maïs NPS	4,64	0,68	0,28	0,64	3,84
	b) Sans fert. min.	4,58	0,55	0,22	0,52	3,28

Les relations pour l'année 1972, entre les apports de potasse, les indices de nutrition du cotonnier et les rendements en coton-graine, figurent au tableau 21 et sont illustrées par la figure 1. On y note, d'une part, une relation linéaire étroite entre les apports de potassium et les indices de nutrition et, d'autre part, une relation courbe entre ces apports et les rendements; le rendement maximal paraissant devoir être atteint au voisinage de la valeur 100 de l'indice de nutrition.

Ces relations parfaitement cohérentes nous permettent de retenir les apports de potassium au sol comme raison essentielle de l'effet très positif des épandages de matière végétale. Cette expérimentation réalisée au Dahomey sur terre de barre très sensible aux déficiences potassiques a permis de mettre en évidence l'intérêt de la restitution des résidus de récolte pour le maintien de la fertilité potassique des sols,

Tableau 19. Diagnostic foliaire de la nutrition potassique du cotonnier - Essai pluriannuel Aplahoué 1972

Objets principaux	Objets secondaires	K % matière sèche pétiole	Indice nutrition (Braud [1])
1. Sol nu	a) Fert. min. maïs	1,20	24%
	b) Sans fert. min. maïs	0,60	12%
2. Tiges maïs	a) Fert. min. maïs	1,44	34%
	b) Sans fert. min. maïs	1,16	23%
3. Tiges maïs + pailles graminées	a) Fert. min. maïs	3,84	94%
	b) Sans fert. min. maïs	3,28	70%

Tableau 20. Diagnostic foliaire de la nutrition potassique du cotonnier - Essai pluriannuel Aplahoué 1971

Objets principaux	K % matière sèche pétiole	Indice nutrition (Braud [1])
1. Sol nu	0,98	26%
2. Tige maïs	1,38	41%
3. Tige maïs + pailles graminées	2,41	75%

Tableau 21. Relations entre apports de potassium au sol, indices de nutrition et rendement

Objets	K ₂ O kg/ha	Indice nutrition cotonnier	Rendement coton kg/ha
1b	0	12	140
1a	30	24	661
2b	40	23	198
2a	70	34	912
3b	240	70	1149
3a	270	94	1325

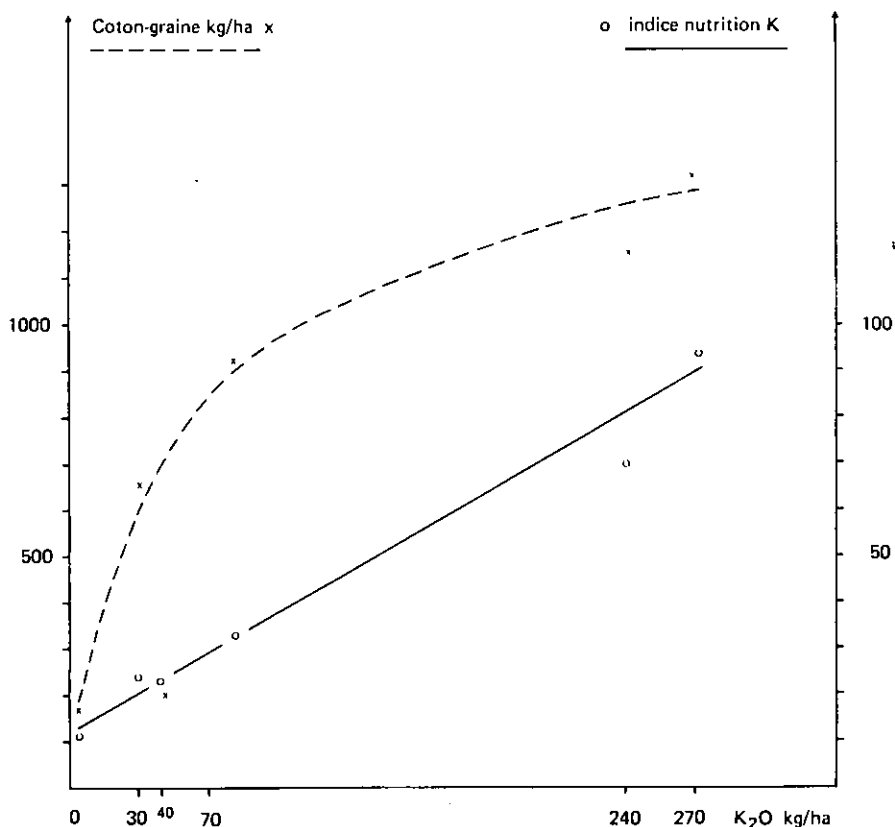


Figure 1: Relations apports de K_2O – indice nutrition – rendement.

même si dans la majorité des cas cette restitution n'a pas les effets immédiats manifestés à Aplahoué. Quant au paillage par prélèvement en dehors des sols fertilisés, nous y apporterons des réserves, valables également pour la pratique du fumier, car il y a un risque certain d'appauvrir des superficies plus vastes que celles dont on veut maintenir la fertilité si l'on ne veille pas au bilan potassique des terres où l'on récolte ces pailles.

5. Discussion et conclusions

5.1. Schéma général de l'économie en potassium d'un système de production

Le potassium se trouve dans le sol sous des formes variées plus ou moins libres, dans les roches-mères, dans les argiles à l'état rétrogradé, adsorbé par le complexe argilo-humique. Dans les matières organiques et dans la solution du sol. Ces formes ne sont d'ailleurs pas indépendantes entre elles et de nombreuses réactions d'équilibre

définissent leurs relations. Si l'on veut avoir un tableau complet de l'économie en potassium d'un système de production il faut en outre compléter cet aspect purement pédologique par les données climatiques et agricoles propres au système envisagé. Cet ensemble peut sans doute être illustré par un schéma que nous proposons dans la figure 2, intégrant les facteurs pédologiques climatiques et agricoles.

Ce schéma très général prendra évidemment un aspect particulier propre à chaque système; suivant les caractéristiques des trois composantes que nous venons de retenir, ce sera, dans un cas, les phénomènes de lessivage qui domineront cette économie, ou bien dans d'autres cas, les phénomènes de rétrogradation ou même d'altération de la roche-mère, ce qui est possible en milieu tropical.

Dans chaque situation l'économie générale du potassium devra être présente à l'esprit de l'agronome pour discuter et interpréter une expérimentation, d'une part pour vérifier la cohérence entre les observations et les caractéristiques du milieu et, d'autre part, pour étendre ou adapter les résultats acquis aux milieux agricoles susceptibles de les valoriser.

5.2. Discussion des résultats acquis au Togo, au Dahomey et au Mali

Les terres de barre du Togo et du Dahomey diffèrent beaucoup de celles de la station de N'Tarla-M'Pesoba au Mali par leur origine et leur évolution donnant deux milieux de culture bien distincts, notamment du point de vue perméabilité. Les terres de barre, par leur texture sableuse profonde, sont beaucoup plus sensibles au lessivage que les sols de M'Pesoba, dont l'horizon sous-jacent est argileux hydromorphe, limitant le drainage vertical. Ces sols ont cependant en commun la faible capacité d'échange de leur complexe argilo-humique voisin de quelques milliéquivalents pour 100 g de

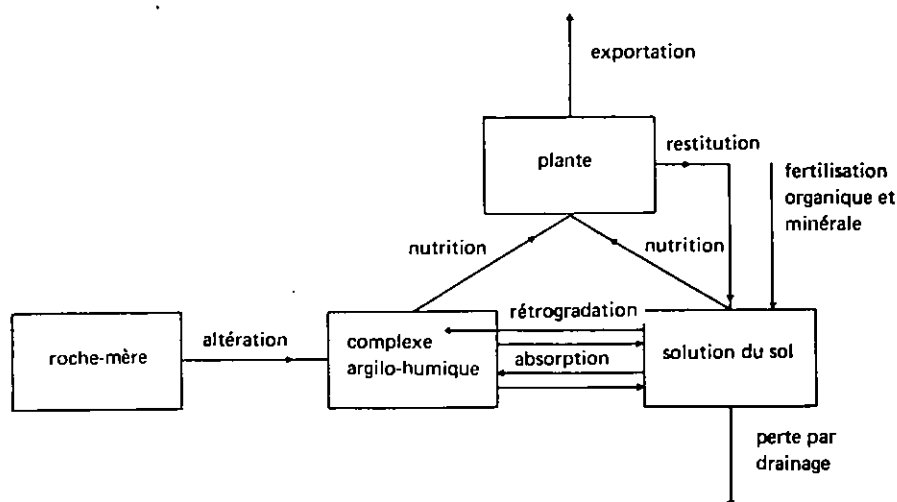


Figure 2: Schéma général de l'économie en potassium d'un système de production.

terre. Les résultats agronomiques observés correspondent-ils bien à ces situations pédologiques? Nous pouvons répondre affirmativement. Sur terre de barre la forte perméabilité et la faible capacité d'échange expliquent les variations de la déficience potassique d'une année à l'autre suivant l'importance des précipitations. Dans cette situation, il est normal que les matières organiques, résidus de récolte ou pailis, prennent une grande valeur, peut-être même supérieure à celle des engrais minéraux car la libération progressive du potassium, qui dépend de la minéralisation par voie microbienne de la matière organique, assure une alimentation régulière de la plante cultivée et limite les pertes par drainage. A N'Tarla-M'Pesoba les risques de perte par drainage vertical sont limités, ce qui explique l'absence de fluctuations ou de crises brutales dans la nutrition potassique, la déficience apparaît progressivement après 6 ou 7 années d'exploitation. Cette évolution, fréquente dans la zone climatique soudanienne, paraît liée à celle de la richesse organique des sols; il est en effet assez frappant de rencontrer la déficience potassique sur les terres les plus anciennement cultivées présentant des besoins importants en azote et en bore, éléments directement liés à la matière organique. S'il y avait une roche-mère riche en potassium ou un complexe argilo-humique à forte capacité d'échange et bien saturé, il est certain que le rôle des matières organiques serait moindre dans la nutrition potassique des plantes cultivées. L'action du fumier et l'interprétation qui s'en déduit n'a sans doute pas d'intérêt pratique direct quant à une vulgarisation possible de ce mode de fertilisation, car ses contraintes sont trop sévères, mais elles nous indiquent néanmoins le sens et les modalités qui doivent être retenus pour une fertilisation potassique rationnelle des cultures.

5.3. *Conclusions pratiques*

Au début de cet exposé, nous avons précisé que nous le limiterions à l'étude de quelques types d'interactions entre le potassium et les autres facteurs de production pour illustrer celles-ci et montrer quelle pouvait être l'attitude de l'agronome face à la fertilisation potassique. Il n'est donc pas dans notre intention de proposer des conclusions générales, mais de dégager des recherches que nous venons de présenter, quelques recommandations pratiques.

L'intensification des systèmes de production traditionnels des régions soudanaises et soudano-guinéennes devient une réalité notamment sous l'action des cultures de rente. Cette intensification nécessite une nutrition minérale accrue des cultures, le potassium jusqu'à présent peu utilisé devient indispensable pour permettre aux diverses améliorations de manifester leur plein effet et pour maintenir la fertilité des sols.

Cette fertilisation doit s'adapter aux caractéristiques pédologiques et climatiques du milieu. Dans les sols à faible capacité d'échange on apportera le potassium à chaque culture, ses arrière-effets sont notables mais insuffisants pour permettre un espacement des fumures potassiques. Cette fertilisation annuelle est d'autant plus nécessaire que les sols sont plus perméables et les précipitations intenses, toutefois le rythme des apports de potassium pourrait être modifié si l'on tient compte d'un passage possible sous forme organique.

Les matières végétales enfouies, qu'elles proviennent des récoltes ou de prélèvements extérieurs, jouent un rôle de premier ordre dans la nutrition potassique des cultures,

il est même possible qu'elles représentent la forme de réserve la plus abondante et la plus disponible lorsque la capacité d'échange des sols est très réduite.

Dans l'économie rurale africaine actuelle, tributaire de frais de transport élevés et soumise aux variations des cours du marché international, toutes les solutions permettant une économie dans l'emploi des engrais *sans limiter leur efficacité* doivent être recherchées. Ce souci d'économie et les possibilités offertes par l'enfouissement de matière végétale, véritable volant de la fertilisation potassique nous incitent à plusieurs recommandations :

- Limiter les exportations et enfouir aussi complètement que possible les résidus de récolte en évitant le brûlis.
- Rechercher les plantes améliorantes plus aptes que d'autres à mobiliser le potassium du sol par une forte capacité d'échange des racines et leur développement en profondeur.
- Réserver la fumure potassique aux plantes cultivées les plus susceptibles de l'assimiler rapidement pour la restituer aux autres cultures sous forme d'enfouissement total ou de résidus de récolte, nous pensons notamment aux jachères à graminées. Des propositions dans ce sens ont déjà été formulées au Tchad pour remédier aux fortes déficiences potassiques des sables du Logone et du Chari (Koro) (*Braud [3]*).

Cette étude, limitée à quelques aspects des relations de la fertilisation potassique avec les autres facteurs de la production, permet d'établir que si cette fertilisation est nécessaire pour intensifier la production elle devra cependant s'adapter aux conditions pédologiques, climatiques et agricoles du milieu en recherchant les solutions les plus économiques; des voies originales paraissent offertes à cette recherche.

Références bibliographiques

1. *Braud M.*: Le diagnostic foliaire et la nutrition potassique du cotonnier. Communication 10^e colloque IIP, Abidjan (1973).
2. *Braud M.*: Journées d'agronomie IRCT 1966. Institut de Recherches du Coton et des Textiles, Paris.
3. *Braud M.*: Rapport Mission Tchad. Document interne IRCT, Paris 1972.
4. *Chaminade R.*: Le potassium et la matière organique. Symposium du potassium Berne, pp. 203 à 214 (1955).
5. *Chaminade R.* et *Blanchet R.*: Non publié, cité en 4.
6. *Dabin B.*: Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. Bull. Assoc. Et. Sol., août (1961).
7. *Dabin B.*: Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. Cotons et Fibres Tropicales. *XXV*, n^{os} 2 et 3 (1970).
8. *Déat M.*: Etude du redressement de la fertilité sur des terres à coton carencées en potasse. Communication 10^e colloque IIP, Abidjan (1973).
9. *Gaucher G.*: Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Dunod, Paris 1968.
10. *Houglund D. R.* et *Martin J. C.*: Availability of potassium to crops in relation to replaceable and non-replaceable potassium and to effects of cropping and organic matter. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. *15*, 272 (1950).
11. *Lavollay J.*, *Laborey F.* et *Neumann J.*: Coefficient d'action du magnésium vis-à-vis d'*Aspergillus niger*. Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences, Paris. Séance du 17 mars (1941).
12. *Latham M.*: Contribution à l'étude de l'influence du facteur sol sur le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. ORSTOM, Côte d'Ivoire 1969.
13. *Richard L.*: Les études de nutrition minérale chez les végétaux. Contribution à leur méthodologie. IRCT, Paris 1964.
14. *Richard L.*: Rapport de mission au Nicaragua. Document interne IRCT, 1972.

Potassium Fertilization in Relation to other Production Factors

L. Richard, Ing. agr., Dr ing., Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE), Paris/France

Extended Summary

1. Potash manuring and cultivation intensity

With the development of cash crops and the intensifying of traditional production systems in the Sudan and Sudano-Guinea regions, it is necessary to have a better inorganic nutrition of the crops. Potassium becomes a requisite in order to enable the various improvements to exhibit their full effect and to maintain soil fertility.

Table 1 (see French version) indicates the evolution of the fertilizer formulae recommended in extension work for cotton in 1966 and 1973; as a cause and a result of yields increment and of crops fixation, K is playing an important role. With 213 kg/ha K_2O at 120 days it is the nutrient which in weight is the most in demand for a cotton crop (table 2, see French version). The author studies from some actual cases the single interactions between K and various production factors: climate, the other nutrients of the mineral nutrition, organic manure.

2. Climate and potash manuring relationship

The importance of the 1st rainfall cycle bears an influence on the potash nutrition of cotton plant grown in the 2nd cycle on sesquioxide slightly ferralitic soils, red, sandy clay and deep, the «barre soils» of southern Togo. Table 3 (see French version) shows for 1970, 71 and 72 the climatic variations and per year the maize (1st cycle) and seed cotton (2nd cycle) yields on plots without fertilizer together with foliar analysis of cotton plant. One notices a negative relation between cotton plant yield and rainfall in the 1st cycle of the maize yield and a positive relation between cotton plant yield and the nutrition with P and K.

The respective incidences of the rainfall and the nutrient element absorption by the crop of the 1st cycle on the potash nutrition of cotton plant are studied in the 2nd trial. No yield variation appears on maize receiving various rates of N nor on cotton after maize or fallow (table 4, see French version). The foliar composition of cotton plant (table 5, see French version) reflects the uniformity of its reaction to 4 treatments of the cycle, the P deficiency is moderate, K deficiency is strong in spite of application of 60 kg/ha K_2O at sowing time of cotton. The yield variations of cotton plant observed in the 1st trial does not seem linked to maize yields but to rainfall incidences on the K content of soil solution. Table 6 (see French version) gives the soil characteristics before trial and table 7 (see French version) the evolution of exchangeable K for 2 horizons during a year. Exchangeable K decrease very strongly in the superficial horizon where is located the active part of the root system of the cotton plant. An excessive rainfall during the 1st cycle brings about a leaching of K, hence a deficiency state and yields decreasing strongly. This incidence of rainfall is obviously linked to a low exchange capacity of the soil.

3. The relation between potassium and other elements in mineral nutrition

The effects of the different elements in nutrition are interdependent. For a given concentration of one element it is necessary to supply the others in accordance with a well-defined linear relationship in order to obtain the maximum possible yield compatible with the environment. Such physiological principles have practical agricultural consequences.

Fertilizer recommendations should be established in accordance with crop requirements and taking account of the nutrient content of the soil. It could be fruitless to intensify fertilization without considering potassium supply which could become limiting even though there be no change in soil potassium. The development of potassium deficiency in two quite distinct cases in the Ivory Coast is proposed as an example. At Yamoussoukro, despite exchangeable K values three times those at Miokaramandougou, potassium deficiency appeared more rapidly because of the richness of the soil in nitrogen which demanded for a higher K level than that existing in the soil.

4. Relationship between potassium and organic manuring

The relations of K with organic manures can be complex, for humus modifies deeply the exchange capacity of a soil and improves its physical characteristics (hydic). The organic fertility has been studied at N'Tarla - M'Pesoba/Mali on a soil strongly leached deriving from cambrian sandstones in

pluriannual trials in rotation comparing the effects of farm yard manure, of NP mineral dressing and of their mixture applied on cotton. The yields for various crops are shown in table 11 and the average effects of each treatment on cotton for each one of the 2 rotations in table 12 (see French version). Between the 1st and the 2nd rotation yields of control and NP plots decrease obviously whilst those of plots with farm yard manure remain almost at the same level, moreover the interaction between farm yard manure and fertilizers is negative.

The author studies then the effects of F. Y. manure on the humic state of the soil and on the mineral nutrition of cotton plant. According to table 13 (see French version) there exists in the analysis no difference whatever in the structural stability of soils in relation with their manuring. In all cases the instability is very strong and the humic state weak. The mineral balance studies of various treatment shows on the contrary great differences in the application of nutrients between F. Y. manure and NP fertilizers which are sufficient enough to explain the inferiority of NP in the course of the 2nd rotation. The foliar analysis (table 15, see French version) shows no deficiency at all in N or in P of the fertilized plots while it becomes obvious that the superiority of plots with F. Y. manure on those with NP fertilizers is due to a better potash nutrition.

At Aplahone/Dahomey, an experiment started in 1970 on above mentioned soil «terre de barre», studies the effects of supply to the soil of maize stalks grown in the 1st cycle (2 t/ha) and of gramineae straw taken from outside of the trial (10 t/ha). The plots corresponding to control plot and to the 2 above mentioned treatments are subdivided and receive or not a mineral dressing on maize and cotton, the 2 crops of the year. In table 16 (see French version) are shown the various treatments and the estimate of K supplies. Yields are indicated in table 17 (see French version), in the absence of dressing they are dwindling very quickly. The effect and the residual effect of organic matter supplies are clear and proportional to quantities used. The direct effect of mineral dressing can not be estimated in this experiment only the residual effect can be noticed on cotton in 1972, which is important especially in the absence of plant material supply.

The foliar analysis made on cotton in 1972 (table 18, see French version) shows beside a residual effect of S applied in the form of ammonium sulphate on maize an obvious relationship between the positive effect of organic matter supplies and the improvement of the potash nutrition. Table 19 (see French version) gives for 1972 the petiole K contents and also the nutrition indexes representing K contents in % of the critical level which is variable according to the different characteristics of the plant. In 1971, an identical relationship between the organic matter supplies to the soil and the potash nutrition of the cotton was already shown (table 20, see French version). Relations for 1972 between K supplies, nutrition indexes of cotton plant and seed cotton yields are displayed in table 21 (see French version) and are embodied in graph 1 (see French version). There exists on the one hand a tight linear relation between K supplies and nutrition indexes and on the other hand a curved relation between those supplies and yields. These relations very clearly indicate that the main reason of the strong positive effect of applications of plant materials is the K supply to the soil after a progressive release.

5. Discussion of results

The behaviour of a crop in response to potassium fertilizer cannot be validly interpreted without reference to the whole potassium economy of the system which is made up of three aspects: pedological, climatic and agricultural (Fig. 2, see French version). According to circumstances one or other of these factors will control the potassium effectively supplied to the plant: modification of the parent material, fixation, absorption, loss in drainage, restitution etc.

In the examples of intensification covered in this study, poverty in the clay-humus complex is a common factor in the experiments on 'terre de barre' in Togo and Dahomey and in the soils of M'Pesoba in Mali; nevertheless these two situations are differentiated by the extreme permeability observed in the former situation. On 'terre de barre' losses in drainage during the year lead to potassium deficiency, while in Mali it appears to be due to slow breakdown of organic matter.

6. Practical conclusions

In soils with low exchange capacity it is necessary to supply K at each cropping, the residual effects are considerable but insufficient. This repeated dressing is the more necessary that soils are more permeable and rainfalls intense; however the K supply rate can be modified when one takes into account the eventual K supplies in organic form (crop residues, fallows with gramineae).

Problems of Experimental Design in Tropical Regions

P. Walker*, Federal Department of Agricultural Research, Ibadan/Nigeria

Summary

Although any statistical design can be used in tropical agricultural work, the increasing emphasis on out-station trials means that simplicity and robustness of design are still of great importance. The author describes past experience with the commoner types of design, including systematic spacing designs. Some of the practical difficulties of plot technique in tropical experimentation are also described, particularly in relation to work on pest control and sowing dates. An example is given of the design changes needed to increase the number of levels of a factor from 2 to 4 in a cocoa fertiliser experiment.

1. General

The development of computers and programmes capable of rapidly analysing any arrangement of treatments in blocks, giving adjusted treatment means and the standard errors of any required contrasts, has led to a widening of the types of design usable in field experiments over the past ten or fifteen years, at least to those with access to a computer. The usual desiderata of equal block sizes and equal replication of treatments (except possibly extra replication of 'control' treatments) are not now necessary for an analysis of variance to be easily computed. While this has been a great advantage to tree crop research where treatments have often to be fitted to unbalanced arrangements of existing trees (see, e.g. Pearce [1], Goodchild [2]), it would be a mistake to imagine that the criteria of good design no longer have relevance. For one thing, it is impossible to recover inter-block information on treatment contrasts if the layout is too wildly unbalanced, and this information can be important: for another, it is much simpler to draw conclusions from a balanced experiment where treatment means are uncorrelated or only slightly correlated. One must not forget, either, the optimality of equal replication of treatments or factor levels.

Design is, therefore, still of paramount importance. Also, given adequate supervision, there is no reason why any designs developed for use in temperate countries should not also be employed in the tropics, as they have been at larger research stations where management is good. For agronomic research at least, though, there is a growing realisation that increased coverage in space and time is essential, and that long-

* Seconded on technical assistance by the U.K. Overseas Development Administration.

established central research stations are perhaps not representative enough for this purpose. The original requirement stipulated by Fisher [3], that every experiment must provide an adequate estimate of its own error, is now often sacrificed in the interests of greater geographical coverage. The FAO Freedom from Hunger campaigns are well-known examples of this; often there will be only one or two replicates of a simple block design at any one site, replication being over years and sites. A few degrees of freedom for estimating the error variance at each site can usually be obtained, either from a high-order interaction or from the duplication of one or more treatments, as a preliminary check on the individual sites before results are combined. We must be prepared to lose perhaps 20% of the trials for one reason or another, but it is still preferable to obtain a mass of information of this type than to conduct a much smaller number of immaculate experiments at a restricted number of sites.

It follows from the increased emphasis on out-station trials that simplicity of design is the first consideration, with the randomised block as the norm from which departures have to be justified. This is not so much to guard against mistakes in laying out plots and applying treatments – these operations will usually be done by extension staff anyway – as to make sure that the design is reasonably robust against the sorts of mishaps that occur when trials are not under day-to-day scrutiny. A few missing plots are not fatal, but it is not uncommon for whole treatments to be missing ('no-weeding' treatments in a herbicide trial, for instance) and this completely dissipates any advantage sought from the use of, say, incomplete blocks, but presents no difficulty in the case of a simple randomised block design.

It must be remembered also that in general we are looking for improvements of an entirely different order of magnitude in tropical work than in countries with more advanced agricultures. An improvement of 1% in yield is worth pursuing in the latter, and this would need more precise tools than the greater gains we can still expect throughout tropical Africa.

I now turn to consideration of some of the more common experimental designs and my experience of their practicality and desirability for tropical work. This is against a background of four years spent in providing an advisory statistical service in England for tropical agricultural research workers on a world-wide scale, in the course of which many hundreds of experiments, routine and not so routine, were analysed, mostly by computer. This cannot of course claim to be a representative sample of the designs actually in use, as only the more complex ones will have been thought worth a wait of up to six weeks while the results were sent to England instead of being analysed *in situ*. More than half the designs analysed at Rothamsted were in fact of the lattice or lattice square type, used for dealing with varieties numbering from 25 to 121; however, there was a fair number of simpler designs, where the drawback to hand analysis lay in the fact that many response variables had been recorded – several components of yield, for instance, or results of leaf and soil analyses on each plot.

Latin Squares

These, and similar designs with two-way control of variation in the field, e.g. lattice squares, I have rarely found to give greater accuracy than is obtainable by one-way blocking, except in certain special situations where one can be fairly certain of

trends in two orthogonal directions – in growing swamp rice on the flood plain of a watercourse, for example. They also have a use in pest-control work, as ensuring a more even exposure of the different treatments to infection or attack. In general, however, I prefer the use of compact randomized blocks, particularly when there are more than 8 treatments. Similarly, lattice blocks are easier to handle than lattice squares: it must be remembered that block designs (i.e. with one way elimination of variation) allow great flexibility in the shape of blocks and the avoidance of such natural obstacles as anthills, rock outcrops or trees, which are quite likely to be found on outstation sites. With the Latin Square, on the other hand, the rows and columns must follow the randomisation plan exactly. For crops grown on ridges it may also be difficult to arrange for the squarer plots which are desirable in this type of design.

Lattice Designs

These constituted, as I said earlier, the largest single class of designs sent for computer analysis; the majority were cotton variety or strain trials but most other tropical arable crops of interest were also represented on occasion. From an examination of the efficiency relative to randomised blocks (4, section 9.4) it appeared that the greatest gains (efficiencies up to 180%) were obtained with the analysis of such measurements as disease incidence. The gains on straight yield analyses were a good deal less impressive, averaging to about 10%, and in a good third of the experiments the lattice showed a *loss* of efficiency compared to simple blocks.

More recently cotton breeders in Tanzania and Northern Nigeria have tried deliberately varying the conditions under which whole replicates of a lattice design are grown. For example, in a complete 7×7 lattice (eight replications) four of the replications might be planted at the recommended date and four a month later, which is the normal time for the local farmers; or a 2×2 factorial in sowing dates and spraying treatments might be similarly superimposed. Next to nothing will be learnt about the main effect of these 'super treatments', of course, but this does not matter, as the real object is to find out something about their interactions with the varieties under test. It is hoped thus to find varieties which are robust against departures from the optimum cultivational procedure.

There is certainly no objection to this procedure applied to randomised blocks – indeed, it could with advantage be employed more often than it is in variety trials – but it may present difficulties in the full lattice analysis, and it is in any case desirable to analyse separately as a simple lattice each quarter of the whole design (in the case of a superimposed 2×2 factorial) and test for homogeneity of the errors before examining the interactions. If the 'super treatments' produce too great an effect on mean yields it will rarely be possible to pool the separate parts and we would then have to rely primarily on the four separate analyses. It should be possible to carry out the pooling provided planting dates, spraying methods, and so on are varied only *slightly*. This proviso applies to the application of the same strategy in randomised block designs; or indeed to any situation where treatments produce too large an effect, because we can be fairly certain in such cases that the assumptions of the analysis of variance are not true.

Split-Plot Designs

These are another direction of generalisation of the randomised block design, and present no special technical problems; I would say, however, that they are perhaps the most often misused of all. There are only two justifications for the use of split plots (which are in effect factorial designs where one main effect is confounded): either (a) one factor is of little interest compared to the other, or (b) one factor (an irrigation treatment, for instance, or one involving mechanisation) may require large plots, so that it is possible to obtain information simultaneously on other factors which can be applied to smaller areas. It too frequently happens that neither of these criteria applies, but splitting the plots is taken as the easy way out when it is desired to modify a long term trial, or when a last minute factor has to be added to an already designed experiment. I had for analysis last year a three year long experiment where various forms of phosphatic fertiliser were applied in the first year to main plots; these were then split for the second year application and split again for the third year application. Presumably this was an investigation into the residual effects of the various forms, in which case it was not very efficient; the most precisely determined effects are the direct effects in the third year, and it was hardly necessary to do three years work to estimate those. A full factorial, with the first and second year residuals on an equal footing with the direct effects, would have been preferable.

Even more caution is needed with variants of the split-plot design such as the plaid square (or split-block) design, where ease of field operations should not cause one to forget that both main effects are now being relegated to secondary status and only the interaction will be estimated at all accurately; such situations do occur, but they are rare.

Factorial Designs

Little needs to be said here on this topic: 'factorial' is only a description of the treatment structure in an experiment, and such experiments will still be laid out in complete or incomplete blocks or squares. It is important to exercise care in the choice of factors and – a related question – the scales on which these are measured. It is not vital that factor levels be exactly equally spaced (though it may matter if there is confounding), but in general there should be a fairly even coverage of the range of values of interest, at least in the initial stages of an investigation. A very common example of this occurs in spacing or population experiments, where the intra row spacing (r_1), the inter-row spacing (r_2) and the number of plants per acre (N) are related, so that a choice of any two of them fixes the third. In this situation one has to decide which are the two most fundamental and plan the experiment round them; it is usual for N to be most important and, some way behind, a measure of rectangularity such as r_1/r_2 . If r_2 is fixed by the necessity of growing the crop on ridges, it would make more sense to aim at an even coverage for N rather than for r_1 . A similar situation arose in an irrigation experiment with which I was concerned, where the original choice of factors

A: frequency of irrigation, and

B: depth of irrigation

gave a very skew set of values for what was the most important treatment parameter, the total amount of water used.

One deplorable practice which I have often encountered in the past is that of forcing a factorial experiment into the framework of a lattice design, without taking account of the fact that lattices are constructed by analogy with the corresponding factorials. I have even met this with a 3×3 factorial, the treatments being written down as 1 to 9 in a non-standard order and a 3^2 lattice design used. No great harm would be done if the lattice were balanced, though even here one might expect that more information might be needed on main effects than on interactions; but if a simple or triple lattice were used it would require some skill to even extract the main effects.

Long Term Experiments

The principles of design, layout and analysis have been expounded in papers by *Patterson* [5, 6, 7] and *Yates* [8, 9]; here I will merely stress the need to allow for the introduction of new treatments or for changing the number of levels of a factor when originally designing such experiments. My own experience of these juggernauts is that they are extremely difficult to modify once they have been under way for a few years. I do not refer to the technical difficulties of introducing new factors, but rather to such questions as whether to replace the original variety by a newer improved variety, or whether to incorporate other new agronomic practices. Almost always caution wins the day, and we are left after twenty years or so with an experiment bearing little relation to present-day conditions. There is mention of this point in the discussion to *Patterson* [7] and, while there are obviously two sides to the argument in European conditions, the situation is very different in the tropics where conditions change so much more rapidly. Work is at present going on in Nigeria, for instance, on the recent developed IRRI rice varieties; if these are successful (and if they are acceptable to the consumers) much previous work there on rice agronomy will be rendered obsolete. Again, it is forecast [9] that the population of Nigeria will have doubled by the end of the century, in which case natural fallows will be of historical interest only in many parts of the country.

My own feeling on long term experiments of this type is that we should aim to obtain useful results in a somewhat shorter time than has been customary, say in eight to ten years. Some trials which recently finished at several centres in Northern Nigeria are excellent examples of what can be achieved in such a short time; these experiments lasted for eight years (two preliminary, six experimental) and tested five forms of phosphatic fertiliser, applied every three years, on a two course rotation of groundnuts and sorghum, giving valuable information on the direct and residual effects of the different forms. There is of course always the option of continuing these experiments for a further six years. I should add that even in such a relatively simple design (64 plots) certain of the fertilisers had to be omitted from analysis at some sites because they did not arrive in time to be applied in every year.

Apart from the yields of the crops concerned, it is necessary to monitor the effect of the various rotations upon the soil by regular sampling, if we are to understand the reasons for the maintenance (or deterioration) of fertility, and to suggest possible remedies in the form of alterations to treatments.

Trials on tree crops share many features with long term arable experiments, although here the same treatments are usually applied continuously to the same plots and there is not the complication caused by having yields of several different crops to analyse.

When, say, an insecticide trial of three years duration is completed, it will often be sufficient to allow a year or two of rest, after which the same trees can be used again to test a completely different set of treatments. Where a rest period is impracticable, methods are available to ensure that any residual effects of the old treatments can be allowed for in the analysis, or even balanced over the new treatments in the manner of a Graeco-Latin square. For example *Freeman [11]* has described methods of superimposing new treatments on Latin squares of sizes from 6×6 to 8×8 , the most commonly used sizes in practice.

Such designs are in any case to be preferred to a rest period if there is any suspicion that residual effects persist, as there would be if the old treatments had been fertilisers, for example, which could have permanently altered the physiology of the trees. With annual crops there is also the option of 'corrective' manuring, based on soil analysis and designed to restore all plots to the same status before a fresh experiment is started; but this is not applicable to perennial crops, where the biological organism continues from year to year.

For *factorial* tree crop experiments intended to run for a number of years, it is most desirable to lay out the design initially as a factorial of higher order than needed (perhaps as a fractional factorial), leaving some factor letters free for later treatments. The 2^n or $2^n \times 4^n$ designs allow more flexibility than the 3^n designs, because factors which prove of special interest can easily be increased to four levels if necessary. *Pearce [12, Fig. XXXI]* has an example of the gradual changes in the treatments applied to what was originally a uniformity trial, which exemplifies the important points: (a) if the trial is particularly simple to start with, say two treatments only, one may arrange to have four of eight plots of each treatment per block, and (b) the number of blocks should ideally be 2, 4, 8... An example is given later of the complications caused where there were 6 replicates of a complete factorial and it was required to superimpose an additional factor.

Systematic Designs

These were described by *Nelder [13]* for spacing experiments, their great advantage compared to orthodox designs being that no discards are needed. *Bleasdale [14]* has given practical details of the laying out of these designs, which have had a considerable vogue in the past few years. I believe that their most useful application on the tropics is likely to be for densely spaced vegetable or transplanted crops (for which they were originally developed) or else for tree crops, where an orthodox design is probably excluded by the large area required; *Freeman [15]* has described an example on cocoa. My experience of these designs with crops such as maize and cotton, grown at populations of 20 000 to 60 000 plants per hectare, has been disappointing, mainly because the large sizes of 'fan' required makes it difficult to find a suitably homogeneous area – much trouble has been encountered in ensuring equal drainage over the whole experiment, for example. Perhaps the best plan for such crops is to include a less wide range of spacings as a sub-treatment within the plots of, say, a fertiliser experiment, using the parallel row design described by *Bleasdale [14]*. With crops grown on ridges the 'fan' type of design is not practicable in any case.

Successful systematic designs on vegetables, with two fertilisers as factors, have recently been reported by *Cleaver et al.* [16], and the same remarks can be expected to apply here too, although as far as I know the idea has not yet been tried in tropical work.

2. Field Plot Technique

I turn next to some practical problems met with in translating a design from a randomisation plan into plots in the field. This is a subject which is still very much neglected in print; although much useful information is to be found in *Harvey* [17] and *Le Clerg et al.* [18] and individual topics are dealt with in, for example, *Berry et al.* [19] on the recording of data, there is room for a comprehensive textbook on the whole subject. Workers in the tropics share these problems with workers in temperate regions; there are, however, additional difficulties, viz.,

- (1) The widespread use of ridging as a safeguard against erosion means that there is less freedom in the choice of plot shape and discards.
- (2) Experimental operations are more often carried out manually, which has the advantage of greater accuracy (potentially, at least) in application of treatments, etc., but does mean that field work will be more time-consuming. It will not necessarily be more expensive, however.
- (3) The standard of field staff is generally far lower; the use of almost innumerate casual labourers means that much stricter checks are needed at every stage to avoid gross errors, or even downright fabrication of results.

Under (3), a little numeracy can be a dangerous thing, as evidenced by an experiment in an out-station in Western Nigeria some time ago where a perfectly kept logbook turned up at the end of the season and yet it transpired after investigation that the trial had never been planted. The 'results' were most convincing, showing a large N effect and a small P effect, and it was only the incredibly small error which led to suspicion. This is an extreme case, but I am sure that most of those present could recall similar occurrences from their own experience.

However, it is not my present purpose to go into such details, where common sense and deep distrust are the safest rules, but rather to touch on certain problems which occur with particular types of treatments or crops.

Choice of Plots and Blocks

Although the empirical rule relating plot size to variability which was proposed by *Smith* [20] has been found useful for analysing the results of uniformity trials, one is more likely when laying out an experiment to be guided by the practical limitations of land, money and labour, even when such a trial has been carried out. *Pearce* ([12], p. 48) remarks that we must always be suspicious of reports of 'best' plot sizes for particular crops, and the same is true for annual crops as well as the perennial crops to which he was referring. In fact, a uniformity trial only gives useful information for a yield trial on a particular crop grown in a particular field, and there is no guarantee that the results on a cereal (for example) will be applicable to a rootcrop (although they might be useful for a different cereal).

The main use of uniformity trials lies not so much in the determination of optimum plot sizes, if such can be said to exist, as in the fact that they offer a means of calibration for the plots which will eventually be chosen. An alternative – often the only possibility in experiments on farmers' plots – is to carry out soil analyses before the application of treatments, the results being used as covariates in the analysis of yields. On research stations there is the third choice of using the plot residuals (in the statistical sense) from the previous trial on the same field.

For perennial crops one is usually in the more fortunate position of having a built-in uniformity trial in the yields of the experimental plants before the treatments are applied; calibration by these yields, or by some such parameter as girth, is more or less standard practice with such crops.

Cox [21] discusses whether such preliminary measurements are best used to group plots into blocks or as a covariate after blocks have been made up from adjacent plots in the usual way; the conclusion is that the latter will usually give the greater accuracy. This is particularly so if the experiment is to continue for some time, when it is to be expected that environmental effects will gradually become more important. *Wessel [22, 23]* has recorded the slow reduction in the usefulness of pre-treatment yield as a covariate in cocoa over a period of six years.

I have even met with tree-crop experiments where *plots* have been formed on the basis of pre-treatment yields instead of the usual basis of proximity (discards were not of course necessary for the treatments envisaged). This is acceptable for an experiment of short duration, but likely to be less useful for a longer one. It is also probable – since trees would have to be individually harvested and recorded – that greater accuracy would be achieved by using single tree plots with the pre-treatment yield as a covariate.

As regards plot size, one has to strike a compromise between small plots which imply much wasted land if discards are needed, and larger plots which may result in inadequate replication. The smallest plots used for annual crops in my experience are the 12 stand plots (a 6 yard length of ridge) which are used for cotton breeding work at IAR Samaru, which is about the minimum possible where there is an expected stand loss of 5% to 10%; these have given perfectly satisfactory results. Where discards are necessary it would hardly be practical to have single ridge plots; the minimum net plot would be three or four ridges, with one discard ridge at either side. Given the desirability of ridges running along the plots, which greatly simplifies field operations, we are inevitably led to a minimum plot size of between $1/160$ and $1/80$ acre (0.0025 to 0.005 ha) at the spacings normally employed for tropical crops. This is for straight-forward yield trials with the usual types of treatment; for irrigation treatments larger plots would almost certainly be needed, as they would if regular plant sampling of a destructive nature were planned.

Incidentally, the general rule that discards are not necessary for variety trials has obvious exceptions, as where varieties are of different habits such as upright and spreading types of groundnuts, or dwarf and tall sorghum. Less often commented upon is the 'poaching' that can occur between varieties of such crops as sugarcane, where stands of some aggressive varieties can be observed to physically advance into neighbouring plots during the three or four years of normal cultivation.

It must also be remarked that block arrangements are often very unimaginary; it is not even common knowledge that all the blocks of an experiment need not be of the same shape. Particularly in experiments on pest control, a knowledge of the habits

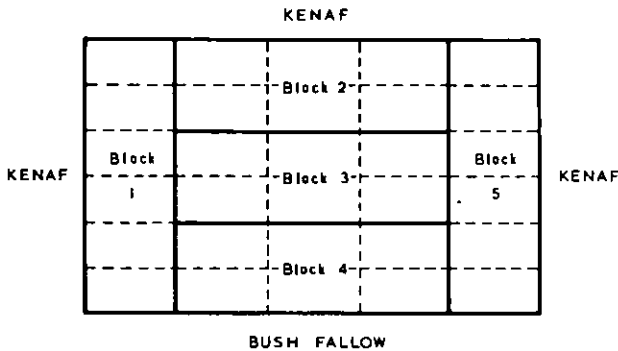


Fig. 1

of the pest will often suggest better arrangements of blocks than laying them out in parallel. The direction of the prevailing wind would be useful information in the case of an air-borne fungus, for instance. Figure 1 shows the block layout adopted when it was found that a cotton insecticide trial would have to be planted on a site almost surrounded by earlier planted kenaf (*H. cannabinus*), which is known to be an alternative host to some important insect pests of cotton.

Pest Control Experiments

If the pest to be controlled is fairly immobile, for example nematodes, bollworm in cotton, or most larvae, then no new problems arise compared to fertiliser experiments. The main purpose of discards, which would generally be larger than in a fertiliser trial, will be to eliminate any edge effects caused by spray drift, as well as the influence of plants on their differently treated neighbours.

Where the pest is a mobile insect, however, interference between neighbouring plots becomes crucial, not in the sense of treatment interference but because

- (1) A control plot surrounded by treated plots is afforded some measure of protection, and
- (2) Insects may be driven (if they survive spraying) from treated plots on to the nearest control plot.

These two tendencies act in opposite directions but it will be most unusual for them to exactly balance each other and we would expect a large untreated area in actual farming to be either more or less severely affected than a control plot in an experiment. The omission of the control treatment is not a solution as the same distortions can be expected to occur, though to a lesser extent, whenever neighbouring plots are treated with insecticides of widely differing efficiency.

A possible answer to (1) above is to adopt a layout with avenues of the unsprayed crop between blocks, with blocks arranged so that all plots have access to the unsprayed sections on at least two sides (Figure 2).

There is, however, no real answer to (2) in the context of field experiments, since it involves the question of preference, which is notoriously dependant upon the choice

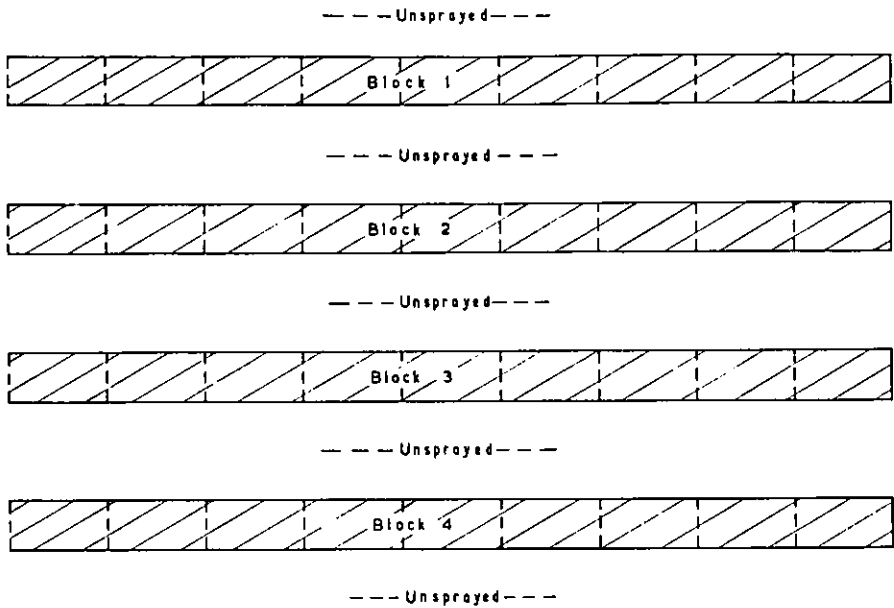


Fig. 2

offered. Even with sampling of populations in the plots, and associated laboratory tests of lethal dosage for the various insecticides and measurements of the residual effects on sampled plants at different times after spraying, there is no guarantee that results will be reproducible when a recommended spray is applied over a larger area. In fact, whereas we can safely expect that the small farmer would obtain the same average gain as a large plantation owner in the case of, say fertilisers, this is by no means certain for pest control measures, without knowledge of the insect populations involved.

Perhaps I am being unduly pessimistic on this question of insect control, and no doubt a well-run series of trials would pick out the best of the treatments; it remains true, though, that we must be very cautious in predicting the same degree of control if the best treatment is to be recommended for widespread use.

Control Treatments In General

There is much confusion over this term, which should strictly apply to a treatment close to local farmers' practice. In the tropics this will more often mean the 'nil' treatment than in temperate zones, but there are exceptions. In herbicide trials, for instance, the control would normally mean hand-weeding as necessary; the 'nil' treatment of neither hand-weeding nor herbicide could be included if thought of interest, but one must not be surprised if it gives no yield whatsoever.

In plant-breeding work it would be disingenuous to include an older low-yielding variety in a trial of new improved selections, even if the low-yielder is widely grown in the area, except where the demonstration aspect of the trial is important. It is

practise can have the effect of producing a significant F-test for treatments and thus permitting more detailed inspection of the selection means even when there are no significant differences between them, the large F value being entirely due to the presence of the control variety. As is well known, spurious significant differences between the selections can be obtained in this case. In all such cases, it is advisable to carry out first one F-test of all treatments against the control, and then another F-test of differences within the treatments. Only if the latter is significant are we justified in carrying out further tests on the treatment means.

Planting Date Experiments

There are two general difficulties associated with these experiments. The first is concerned with the management of the site when only a part of the treatments have been planted. It has to be decided in advance, for example, whether the empty plots are to be weeded and sprayed while awaiting planting, and whether plots are to be ridged and prepared once and for all or at each individual date. (It goes without saying that discards will need to be larger than usual.)

As so often, the ultimate purpose of the experiment must be decided before these questions can be answered. For a scientific investigation of planting date effect it would be necessary to give all plots normal protection whether planted or not, whereas, if the object is to provide the small farmer with useful practical information, it would be acceptable to copy the conditions in which the crop will be grown. Most planting date experiments fall into the first category; it will take much propaganda before the average African subsistence farmer will be dissuaded from planting his cereal or root-crop as soon as the rains have begun, leaving cash crops until a later (usually non-optimal) date.

If results from a number of planting date experiments are to be combined, it is hardly necessary to emphasise that calendar dates are not usually so important as a parameter such as the number of days after the rainy season has started.

The other common problem is that of insect interference between plots planted on different dates. The situation can arise where a pest which attacks the juvenile stage of the plant can multiply to a population of quite unnatural size by transferring to newly planted plots as they became available, so that there is a bias against the later plantings. If the pest can be identified and a measure devised of the damage it has done, this measure could be used as a covariate in determining the optimum planting date. Alternatively the device of *isolation blocks* can be used, where only a selection of planting dates (usually, but not necessarily, consecutive) is used at each of a number of locations on a station, each location being surrounded by other crops; normally there would be a few replicates of 3 or 4 planting dates at each location. *Anderson and Manning [24]* describe the analysis of an experiment of this type on cotton in Uganda, concluding that efficiency is greatly improved if the maximum safe number of planting dates is used at each location, and that differences between locations should not be too extreme.

Long-Term Experiments

Special difficulties arise here because of the possible juxtaposition of crops of very different types, which may have different planting dates and insect control measures,

etc. Perhaps these difficulties are exaggerated; planting dates will not differ as much as in an experiment including date of planting as a treatment, and the crops of a rotation would normally be of different types, such as cash crop, cereal, and root crop, with few common insect pests. It is also sometimes possible to arrange that all plots under one crop are grown in a single block. In Ibadan a long-term experiment is under way which has a basic 2-year rotation, but in which only one crop is growing at any time, only half the possible crop sequences being represented. In the situation where several crops are being grown in a single block, however, a large plot size is necessary (these may be very conveniently split for subsidiary treatments such as fertilisers) and larger discards than usual to allow for differential pest control.

There are also some purely administrative difficulties in connection with long-term trials. With crops grown on ridges, the normal practice of splitting the ridges at the start of a new season will result in a sideways movement of each plot by half the inter-ridge distance each year; this is not important with the large plots normally employed but it is imperative to keep detailed records so that these movements are not cumulative. The nett plot length can vary slightly also if two or more crops at slightly different spacings are to be grown in succession. Permanent markers for the corners of the gross plots are obviously desirable, as is the preparation of record books four or five years in advance.

3. *An Example of Changing Treatments in a Tree-Crop Experiment*

I conclude with a practical example of a problem mentioned earlier. An experiment at Tawau, Sabah, was planned in the first instance as 6 replicates of a 2^4 factorial design, with no confounding, the factors being N (sulphate of ammonia), P (superphosphate), K (potassium chloride) and M (dolomitic limestone). After five years it was required to investigate in more detail the response to P, which was clearly the most important factor and which could be expected to have a large residual effect. Ideally one would prefer to superimpose superphosphate as a completely new factor (S, say) at 4 levels, when it would be possible to estimate the effects of P and S independently, and if there had been 4 (or 8) replicates originally this would present no difficulty, leading to 1 (or 2) replicates of a $2^4 \times 4$ NPKMS design. With the 96 plots actually available, however, this would lead to a $1\frac{1}{2}$ replicate, and it is inevitable that interactions of P will be aliased with interactions of S in the odd half-replicate.

Alternatively one of the components of the S response could be identified completely with the residual effect of P. With the usual notation for a 4-level factor,

$$S' = s_3 + s_2 - s_1 - s_0$$

$$S'' = s_3 - s_2 - s_1 + s_0$$

$$S''' = s_3 - s_2 + s_1 - s_0$$

where lower-case letters refer to treatment means, S''' would normally be chosen for this identification. It does, however, contain the linear component of the response to S, and it would be difficult to be sure when the residual effect of P could be dropped from consideration.

With six replicates, a better method is available, giving a balanced identification of the three components S' , S'' and S''' with residual P; a different component was

identified with P in each of 3 replicates of a $2^3 \times 4$ NKMS design. This enables the effects of S and P, and their interactions with the other factors, to be estimated separately for as long as necessary after the change-over. NKMS'' was confounded in the first replicate, NKMS''' in the second and NKMS' in the third.

There is no need for S to be the same as one of the previous two-level factors for this layout to be practicable, although the analysis would be simplified if one could be sure that S did not interact with P. Where the two letters do represent the same treatment, as here, it is likewise of importance in the analysis to know the levels of S compared to those of P. I hope to report elsewhere on the methods of analysis in the various cases; meanwhile, Table 1 gives the full design, with the original treatment in the margin and the altered treatments for the replicates in the body of the table. Replicates are formed by pairing the previous blocks as convenient.

Table 1. Design for increasing one two-level factor in a 2^4 experiment to 4 levels

Replicate	1		2		3	
Block	1	2	3	4	5	6
<i>Previous treatment</i>						
Nil	S ₂	S ₀	S ₀	S ₁	S ₁	S ₂
n	ns ₀	ns ₂	ns ₁	ns ₀	ns ₂	ns ₁
p	S ₁	S ₃	S ₂	S ₃	S ₀	S ₃
np	ns ₃	ns ₁	ns ₃	ns ₂	ns ₃	ns ₀
k	ks ₀	ks ₂	ks ₁	ks ₀	ks ₂	ks ₁
nk	nks ₂	nks ₀	nks ₀	nks ₁	nks ₁	nks ₂
pk	ks ₃	ks ₁	ks ₃	ks ₂	ks ₃	ks ₀
npk	nks ₁	nks ₃	nks ₂	nks ₃	nks ₀	nks ₃
m	ms ₀	ms ₂	ms ₁	ms ₀	ms ₂	ms ₁
nm	nms ₂	nms ₀	nms ₀	nms ₁	nms ₁	nms ₂
pm	ms ₃	ms ₁	ms ₃	ms ₂	ms ₃	ms ₀
npm	nms ₁	nms ₃	nms ₂	nms ₃	nms ₀	nms ₃
km	kms ₂	kms ₀	kms ₀	kms ₁	kms ₁	kms ₂
nkm	nkms ₀	nkms ₂	nkms ₁	nkms ₀	nkms ₂	nkms ₁
pkm	kms ₁	kms ₃	kms ₂	kms ₃	kms ₀	kms ₃
npkm	nkms ₃	nkms ₁	nkms ₃	nkms ₂	nkms ₃	nkms ₀

Acknowledgements

My thanks are due to Dr. C. H. Obihara (Director, FDAR, Nigeria) and to Overseas Development Administration, London, for permission to present this paper, and to Mr. E. A. Wyrley-Birch (Department of Agriculture, Sabah), who originally proposed the change-over problem discussed in the last section.

References

1. Pearce, S. C.: *Biometrics* 20, 699-712 (1964).
2. Goodchild, N. A.: *Biometrics* 22, 629-631 (1966).
3. Fisher, R. A.: *The Design of Experiments*, Oliver and Boyd, 1935.
4. Cochran, W. G. and Cox, G. M.: *Experimental Designs*. Wiley 1957.
5. Patterson, H. D.: *J. Agric. Sci.* 43, 77-88 (1965).
6. Patterson, H. D.: *Biometrics* 15, 30-59 (1959).

7. *Patterson, H. D.*: J. R. Statist. Soc. (B) 26, 1-45 (1964).
8. *Yates, F.*: The Design of Rotation Experiments. Commonwealth Bureau Soil Sci., Tech. Commun. No. 46 (1949).
9. *Yates, F.*: Biometrics 10, 324-346 (1954).
10. *FAO*, Third World Food Congress: A Symposium, Rome (1963).
11. *Freeman, G. H.*: Biometrics 20, 713-729 (1964).
12. *Pearce, S. C.*: Field Experimentation with fruit trees and other perennial crops, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1953.
13. *Nelder, J. A.*: J. R. Statist. Soc. (B) 18, 283-307 (1962).
14. *Bleasdale, J. K. A.*: Experimental Agric. 3, 73-85 (1967).
15. *Freeman, G. H.*: Biometrics 20, 200-203 (1964).
16. *Cleaver, T. J., Greenwood, D. J. and Wood, J. T.*: J. Hort. Sci. 45, 457-469 (1970).
17. *Harvey, P. N.*: The Practice of Arable Crop Experimentation. Norfolk Agricultural Station, Sprowston, Norwich, 1952.
18. *Le Clerg, E. L., Leonard, W. H. and Clark, E. G.*: Field Plot Technique. Burgess Publishing Co., Minneapolis, 1966.
19. *Berry, G., Cleaver, T. J., Nelder, J. A. and Salter, P. J.*: Expl. Agric. 2, 69-79 (1966).
20. *Smith, H. Fairfield*: J. Agric. Sci. 28, 1-23 (1938).
21. *Cox, D. R.*: Planning of Experiments. Wiley, 1958.
22. *Wessel, M.*: Second Progress Report on CRIN-MANR fertiliser trials. Cocoa Research Institute of Nigeria Report, 1968.
23. *Wessel, M.*: Third Progress Report on CRIN-MANR fertiliser trials. Cocoa Research Institute of Nigeria Report, 1969.
24. *Anderson, R. L. and Manning, H. L.*: Biometrics 4, 171-180 (1948).

Problèmes relatifs aux dispositifs expérimentaux dans les régions tropicales

P. Walker, Federal Department of Agricultural Research, Ibadan/Nigéria

Version abrégée

Sous les tropiques, les techniques d'expérimentation en plein champ ne sont pas tout à fait identiques à celles utilisées dans les pays plus développés. Pour ces derniers il est rentable de rechercher des améliorations même peu importantes, ce qui demande souvent des dispositifs statistiques très sophistiqués, tandis qu'en Afrique tropicale on peut encore s'attendre à des gains beaucoup plus élevés; par conséquent, les moyens expérimentaux mis en œuvre peuvent être beaucoup plus simples.

On expose dans le présent travail des critiques concernant l'utilisation, sous les tropiques, des dispositifs «Split-plot», factoriels, à espacements systématiques et à réseaux; en particulier:

1. Les dispositifs en carré latin ou les dispositifs à réseaux n'ont que rarement donné une plus grande précision que les dispositifs simples des blocs à voie unique.
2. Les gains de précision obtenus par l'emploi des dispositifs à réseaux (comparés aux blocs aléatoires) ont été les plus élevés pour des variables telles que l'apparition de maladies et les attaques par des parasites et les insectes. Ces gains ont été beaucoup moins importants dans le domaine de l'analyse des récoltes et n'atteignaient que 10% en moyenne pour de nombreux sites dans différents pays.
3. Une flexibilité et une promptitude plus grande en vue de changer les pratiques agronomiques sont nécessaires dans l'organisation des essais à long terme. Sous les tropiques, les essais de rotation à long terme plus complexes, qui comparent des assolements qui sont différents par leur durée et leur succession des cultures, sont d'un intérêt avant tout théorique. Ils doivent être complétés par des essais à moyen terme (8 à 10 ans) de type plus simple, qui tiennent mieux compte de l'impraticabilité croissante de la «culture alternante» sous l'influence de la pression démographique. Des essais d'une durée d'un an, sur des terres nouvellement défrichées, ne donnent pas une image précise des besoins en engrais, etc., en conditions de culture plus intensive.

On examine les questions pratiques ayant trait aux dispositifs d'essai, particulièrement à la grandeur des parcelles (on en conclut que les limites pratiques sont plus importantes que la détermination de la surface «optimale» basée sur l'uniformité des essais), ainsi que les problèmes posés par interférence entre traitements au cours d'essais de date de plantation et de lutte antiparasitaire. Dans ce dernier cas, on ne peut s'attendre à une comparaison impartiale entre traitements si le ravageur contre lequel on lutte est mobile.

On donne un exemple de la modification d'un facteur à deux niveaux en un facteur à quatre niveaux, dans un essai de fertilisation 2^4 sur arbres, qui n'avait pas été établi avec le nombre désirable de répétitions (4 ou 8). A la place, il y eut 6 répétitions, et le dispositif modifié a permis d'évaluer l'effet résiduel du facteur précédemment à 2 niveaux aussi longtemps que nécessaire et ceci indépendamment du nouveau facteur à quatre niveaux. Ce genre de dispositif (un effet différent du nouveau facteur identifié avec l'ancien facteur dans chaque répétition) est préférable partout là où le nombre de répétitions du dispositif original n'a pas la valeur idéale de 2^n , ($n \geq 2$).

Analyse du sol et de la plante pour le contrôle de l'expérimentation

A. Loué, Ing. agr. INA, Services Agronomiques de la Société des Potasses et de l'Azote, Mulhouse/France

Résumé

La communication passe en revue l'utilisation de l'analyse du sol et de la plante dans le domaine de l'expérimentation des fertilisants.

Les analyses de sols interviennent avant la création de l'essai, en cours et en fin d'essai, pour mesurer les effets des traitements sur certaines caractéristiques du sol. Le document s'intéresse plus particulièrement à l'analyse du sol dans un but de diagnostic, c'est-à-dire au problème de l'étalonnage de méthodes analytiques à partir des résultats expérimentaux. Des exemples sont détaillés, relatifs à P_2O_5 et à K_2O (extraction de K au TPBNa et extraction biologique de type Stanford en particulier). L'analyse de la plante peut porter sur la plante entière au cours du cycle ou à la récolte (prélèvements, exportations, bilans), sur l'organe végétal utile (nutrition minérale et qualité). Ici aussi, le document envisage surtout les analyses dans un but de diagnostic, d'appréciation de la nutrition minérale de la plante en fonction des traitements et des résultats expérimentaux (diagnostic foliaire au sens élargi). Les deux méthodes doivent être utilisées conjointement dans un souci de valorisation de l'expérimentation et de rationalisation croissante de la fertilisation.

Introduction

L'expérimentation des engrais au champ conduit surtout à la mesure des rendements en fonction des traitements appliqués. Elle se complète souvent de mesures biométriques dans le but de procéder à une analyse plus fine des résultats (exemple 1) détermination des composantes du rendement d'une céréale selon: Rendement = nombre d'épis/m² × nombre de grains par épi × poids de 1000 grains × coefficient (exemple 2), influence des traitements sur le peuplement. Il s'y ajoute parfois des mesures de critères de qualité, d'appréciation simple. D'autre part, les résultats peuvent être soumis à une interprétation économique portant sur la rentabilité des fumures, grâce aux fonctions de production, aux surfaces de réponse et de profit. L'utilisation d'un ordinateur permet de traiter économiquement un grand nombre de résultats expérimentaux. Tout ce qui précède procède du souci de valoriser au maximum la charge que représente l'expérimentation.

L'agronome de la fertilisation, s'il se double d'un spécialiste de la science du sol ou de la nutrition minérale des plantes a l'ambition d'essayer de comprendre et d'expliquer les résultats. Pour ce faire il interrogera surtout le sol et la plante. Ainsi l'expérimentation moderne est-elle souvent accompagnée d'études sur les sols et la nutrition

minérale des plantes. L'expérimentation constitue d'ailleurs le support idéal pour de telles études en raison des modifications connues imposées expérimentalement au milieu.

La nécessité de l'expérimentation au champ est généralement reconnue mais nombre d'auteurs ont mis l'accent sur ses limites et ses difficultés dans la phase d'extrapolation des résultats. Les contrôles au niveau du sol et de la plante devraient précisément faciliter l'extrapolation et la rendre moins hasardeuse.

Les deux méthodes de contrôle ont cheminé de concert depuis plusieurs dizaines d'années; le plus souvent leur utilisation est conjointe. Le but de cet exposé est de dresser l'inventaire de leurs possibilités.

1. *L'analyse du sol et le contrôle de l'expérimentation*

Il est en premier lieu nécessaire de connaître la teneur du sol en éléments nutritifs (soit en état dit de réserve, soit mieux en état dit assimilable). Ensuite grâce surtout aux essais agronomiques et secondairement aux enquêtes sols/rendements, on cherche à établir la relation éventuelle entre teneurs du sol et absorption par la plante et rendements. Enfin, il convient d'y ajouter la recherche des concentrations les meilleures et des rapports entre les divers éléments fertilisants en vue de l'obtention des meilleurs rendements.

Comme l'a bien précisé Madame *Huguet*, la rationalisation de la fertilisation à partir des analyses de sols dépend de deux conditions à remplir par celles-ci: la sécurité des techniques de dosage et les progrès dans l'interprétation des résultats des analyses. La première condition est de nos jours le plus souvent remplie mais comme le souligne cet auteur «l'étalonnage des résultats analytiques vis-à-vis du comportement des plantes progresse lentement et ne couvre pas toutes les cultures» (Mme *Huguet* [15]). Le contrôle des sols des expérimentations vise précisément à améliorer cet étalonnage. Nous ne passerons pas en revue ici les méthodes de dosage des éléments les plus utiles aux plantes, mais nous examinerons les mesures susceptibles d'intervenir sur des essais.

Au cours de la vie d'un essai de fertilisation, l'analyse de sol peut intervenir 1^o avant l'implantation; 2^o en cours d'essai; 3^o en fin d'essai.

Des analyses déterminées peuvent également être faites sur des essais plus ou moins nombreux, particulièrement dans un but d'étalonnage de méthode.

1.1. *Analyse avant essai*

L'analyse du sol avant essai est une nécessité reconnue par tous sauf dans certains cas d'essais annuels sur des thèmes particuliers. Il convient en effet de connaître la carte d'identité du sol de l'essai avec le plus de «signes particuliers» possible: squelette du sol, analyse granulométrique, calcaire, matière organique, pH, N total, rapport C/N, P₂O₅ assimilable, bases échangeables (CaO, MgO, K₂O), capacité d'échange. Le sol de l'essai doit en effet être très représentatif des conditions de milieu dans lesquelles l'expérimentation doit intervenir. Ensuite cette condition étant remplie, l'échantillonnage des sols de l'essai doit être suffisamment poussé pour s'assurer de l'homogénéité requise par le thème de l'essai et le protocole expérimental. Certaines déterminations spéciales peuvent intervenir.

L'analyse chimique avant essai est indispensable au niveau de la parcelle si l'expérimentateur cherche à dégager ensuite la signification statistique des résultats analytiques en cours ou en fin d'essai.

Dans la pratique les analyses physiques et de représentativité du sol de l'essai se feront au niveau des blocs ou des répétitions et les analyses chimiques d'homogénéité et d'identité au départ de l'essai se feront au niveau de la parcelle.

1.2. Analyse en cours ou en fin d'essai

Sur les essais de fertilisation à moyen ou long terme il est nécessaire de suivre certaines caractéristiques du sol à des intervalles de temps adaptés.

1.2.1. Le pH

La mesure du pH peut être intéressante sur des essais de fertilisation de longue durée (Loué [20]) sur des essais comparatifs de formes d'engrais.

Elle est également indispensable sur les essais faisant intervenir les oligoéléments ou étudiant indirectement l'interaction amendements \times zinc par exemple (Mme Huguet [15]).

Ce contrôle est particulièrement important dans les essais sur amendements calcaires ou calco-magnésiens. Ainsi dans un essai $K \times Ca \times Mg$ de type $3 \times 3 \times 3$ poursuivi sur mais pendant six ans en France dans la région de Pau on a obtenu les résultats suivants pour l'effet chaux selon que les apports se faisaient en doses annuelles ou en doses bloquées tous les trois ans (Loué [20]).

Tableau 1. Evolution du pH à Pau Pont Long (Pyrénées)

Dose CaO kg/ha sur 6 ans	Essai doses annuelles			Dose CaO kg/ha sur 6 ans	Essai doses bloquées		
	0-20	20-40	40-60		0-20	20-40	40-60
500.....	4,49	4,42	4,44	1000	4,86	4,72	4,64
2025.....	4,74+++	4,48+	4,51+	2725	4,98	4,77	4,73
3550.....	5,09+++	4,61+++	4,53++	4450	5,25++	4,81	4,71
ppds 0,05	0,08	0,06	0,06		0,14	0,11	0,11
ppds 0,01	0,11	0,09	0,09		0,20	-	-

Dans le cas présent d'une terre de défriche mise en culture de maïs et à pH initial de 5,0, une acidification importante a suivi la mise en culture avec les faibles apports de chaux. Le pH initial ne semble pas s'être élevé en six ans avec les apports supérieurs de chaux.

1.2.2. Azote

La détermination de l'azote total sur les essais de fertilisation minérale ne donne généralement pas de résultats utilisables. Mais des études ont été conduites sur des essais comportant apports azotés et restitutions organiques (Morel [22]). Le dosage de N nitrique et N ammoniacal ne semble pratiqué que sur certains thèmes d'essais.

1.2.3. Acide phosphorique

En France l'acide phosphorique assimilable se détermine soit par la méthode de Dyer (extraction à l'acide citrique à 2%) soit par la méthode de Joret-Hébert pour les sols

calcaires (extraction à l'oxalate d'ammonium à 0,2%). Les critiques formulées à l'encontre de ces méthodes portent sur la valeur d'appréciation de la capacité de sols de types différents à alimenter les cultures en phosphore en l'absence de résultats expérimentaux suffisants (problème abordé ci-après en 13). Par contre sur un même essai l'extraction selon la méthode adaptée au type de sol permet l'étude de l'évolution de P_2O_5 extrait selon cette méthode en fonction des traitements.

Les applications en expérimentation sont nombreuses telles que :

- Bilan P_2O_5 du sol en fonction des doses appliquées.
- Profil de distribution de P_2O_5 avec la profondeur selon les modes d'apport en particulier en arboriculture et viticulture.
- Comparaison des formes d'engrais phosphatés.

L'examen sur un essai de l'appauvrissement ou enrichissement avec le temps et les traitements est l'exemple le plus simple mais non le moins parlant. Ainsi, à Pleyben en Bretagne sur un essai factoriel $3 P \times 3 K$ en liaison avec la Station agronomique de Quimper, on obtenait l'évolution suivante des teneurs en P_2O_5 assimilable (et K_2O échangeable) pour les effets principaux des traitements.

Tableau 2. Evolution de P_2O_5 et K_2O à Pleyben (Bretagne)

P_2O_5 /‰	Févr. 1961	Déc. 1963	Nov. 1965	Oct. 1967	K_2O /‰	Févr. 1961	Déc. 1963	Nov. 1965	Oct. 1967
P0	0,057	0,048	0,049	0,060	K0	0,107	0,055	0,063	0,068
P77	0,087	0,095	0,105	0,128	K94	0,197	0,086	0,148	0,161
P154	0,139	0,184	0,210	0,243	K188	0,215	0,167	0,259	0,292

La teneur en P_2O_5 des parcelles P0 a très peu varié depuis 1956 (0,06‰); celle des parcelles P1 s'est élevée progressivement pour atteindre 0,13‰ et celle des parcelles P2 est montée à 0,24‰. Les écarts P1-P0 et P2-P1 sont très hautement significatifs (pdds 0,01 = 0,021‰ P_2O_5 en octobre 1967). Il est évident que l'examen des résultats d'un essai (rendements) et celui de l'évolution du sol pour l'élément concerné constituent une base assez sûre de fixation du niveau de fertilisation.

1.2.4. Potassium

Ce qui vient d'être dit pour P_2O_5 s'applique à K_2O . La détermination classique porte, en France, sur le potassium échangeable extrait par l'acétate d'ammonium à pH 7. On sait que cette seule détermination (même complétée par le rapport potassium échangeable/capacité d'échange) ne permet pas de classer correctement tous les sols en fonction de leur réponse à K_2O . Le classement est par contre très amélioré s'il est réalisé par types de sols. Mais surtout cette détermination est très utile pour suivre un essai K ou factoriel incluant K, de moyenne ou longue durée.

Les exemples d'application sont nombreux et à peu près les mêmes que pour P_2O_5 :

- Evolution de K échangeable selon les doses, avec ou sans bilan.
- Evolution saisonnière.
- Profil de distribution de K_2O selon les doses, les formes, les types de sols, l'irrigation.

Exemple 1: Evolution de K échangeable selon les doses et le mode de répartition de la fumure potassique sur la rotation

Sur l'essai de Sancourt, dans le Nord de la France est étudiée la réponse de la fumure potassique à long terme et l'influence de la répartition de cette fumure au cours d'une rotation type (betteraves - blé - orge). Des échantillons de sol furent prélevés par parcelle à l'issue des 2^e, 3^e et 4^e rotations triennales. L'évolution de 1959 (avant essai) à 1972 est la suivante pour la potasse échangeable.

Tableau 3. Evolution de K₂O échangeable à Sancourt (Nord)

Kg/ha K ₂ O rotation		Mode de répartition			K ₂ O échangeable (% _{min})			
1959-1969	1970-1972	bett.	blé	orge	1959	1966	1969	1972
0	0	0	0	0	0,126	0,100	0,090	0,075
200	250	1/3	1/3	1/3	0,125	0,100	0,127 ⁺⁺	0,092
200	250	2/3	0	0	0,120	0,093	0,100	0,090
400	500	1/3	1/3	1/3	0,119	0,123 ⁺	0,138 ⁺⁺	0,125 ⁺⁺
400	500	1/3	1/3	1/3	0,126	0,128 ⁺⁺	0,145 ⁺⁺	0,112 ⁺⁺
400	500	2/3	0	0	0,124	0,105	0,107	0,100
		ppds 0,05			NS	0,020	0,027	0,026
		ppds 0,01			-	0,028	0,037	0,035

Bien que les analyses de 1972 aient été effectuées par un laboratoire différent des analyses antérieures, on peut constater la netteté des résultats: le traitement privatif K₀ poursuit son appauvrissement et surtout, au sein d'une même dose globale sur la rotation, on constate depuis 1959 que les apports fractionnés présentent des teneurs en K échangeable supérieures à celles des apports bloqués en tête de rotation. Il est évident que dans le cas de déterminations sur échantillons pris à des dates plus ou moins distantes, et plus encore dans le cas de laboratoires différents, il convient de placer dans les séries des échantillons de référence des prélèvements antérieurs. L'exemple pris, en dehors des conclusions agronomiques proprement dites, montre ce que l'on peut attendre de tels contrôles, compte tenu des difficultés d'échantillonnage et de la variabilité.

Exemple 2: Les études de bilan K₂O

Il est fait un usage très fréquent de cette méthode par les Services agronomiques de la SCPA tant sur le réseau d'essais régionaux que sur la Station d'Aspach en Alsace (Garaudeaux [10]). On constate en général dans ces contrôles qu'en cas de bilan nettement positif, on ne retrouve qu'une fraction plus ou moins grande de l'enrichissement au niveau K₂O échangeable (fixation) et au contraire qu'en cas de bilan négatif on ne retrouve pas la perte ou même que celle-ci est faible du fait de la libération (Hébert et Rémy [14]). Un exemple chiffré de bilan est donné plus loin. Les études les plus récentes se situent en fait dans le domaine de la recherche d'un diagnostic plus sûr.

1.3. L'analyse dans un but de diagnostic

La méthode consiste ici à soumettre des échantillons d'essais plus ou moins nombreux, réunis en un ensemble ou répartis en différentes classes selon les types de sols, à des analyses ou des tests nouveaux.

L'analyse du sol, mise en parallèle avec les résultats expérimentaux correspondants devrait permettre un meilleur étalonnage des résultats analytiques et donc une évolution des méthodes en vue d'un meilleur diagnostic. Il faut dire que les résultats analytiques nouveaux sont apairés, plus à des résultats de cultures en pots qu'à des résultats d'essais au champ. Ce dernier rapprochement semble cependant nécessaire et mérite quelque développement à propos d'exemples portant sur P et K.

1.3.1. P_2O_5 «assimilable» et résultats expérimentaux

Gachon a proposé un indice de fertilité phosphorique des sols défini à partir du phosphore labile et du pouvoir fixateur des sols à l'égard des ions phosphoriques (*Gachon [7]*):

$$I_L = L \times \frac{L}{L+F} \text{ ou } I_E = E \times \frac{E}{E+F}$$

où L représente le phosphore «labile», E, le phosphore «échangeable» et F le phosphore sous forme dissoute, nécessaire pour élever la concentration des extraits $CaCl_2$, 0,01 M au niveau de 2 mg de P/l, tous ces termes étant exprimés en ppm du sol. Cet auteur a montré que ces indices étaient étroitement liés au phosphore prélevé par le ray-grass cultivé en petits vases. Il a montré ensuite que cette méthode fournissait des éléments d'appréciation de la fertilité phosphorique corroborant assez étroitement les résultats des expérimentations culturales effectués dans la Massif Central (*Gachon [8]*), tandis que les méthodes chimiques traditionnelles conduisaient à des interprétations beaucoup plus délicates dépendant du type de sol.

Il a rapproché ses indices I_L et I_E des résultats expérimentaux obtenus à partir de 16 sols du Massif Central, de caractères variés.

Le tableau 4 rassemble les principaux résultats de cette étude. Les résultats expérimentaux sont les courbes de rendements obtenus en présence de doses croissantes de superphosphate soit au champ (le plus souvent sur orge de printemps), soit en vases de végétation avec le radis comme plante test, ainsi que le P total prélevé par le ray-grass en culture d'épuisement en petits vases. Les 16 sols du tableau ont été classés en fonction du P prélevé par le ray-grass.

Les indices de rendement relatif obtenus sur radis se classent à peu près dans le même ordre.

Le phosphore isotopiquement diluable se situe très bien dans l'ordre de classement adopté.

Enfin, les résultats analytiques classiques (P citrique, méthode Dyer, et P extrait par l'oxalate d'ammonium 0,2 N) non rapportés dans le tableau suivraient nettement moins bien l'ordre de classement. Après avoir formulé les réserves qu'il convient en raison du petit nombre de résultats expérimentaux, l'auteur conclut que les indices I_L et I_E permettent d'apprécier avec une meilleure précision les possibilités de fourniture de P aux cultures.

Tableau 4. Relation résultats analytiques/résultats expérimentaux

Résultats analytiques			Résultats expérimentaux								
P isotopiquement diluable		Pouvoir fixateur	Indices		P prélevé par ray-grass	Essais en vases sur radis		Essais au champ			
L	E	F	I _E	I _L		Ind.	Sign.	Cult.	Ind.	Sign.	
1	65	51	82	29	19	28	15	***	orge	83	*
2	92	70	88	47	31	33	11	***	—	80	**
3	84	71	127	34	26	35	33	***	—	100	—
4	85	44	75	45	16	37	36	***	blé	89, 91	** et *
5	86	69	135	34	23	39	34	***	orge	89	**
6	107	59	145	46	17	44	34	***	—	92	—
7	162	81	360	50	15	52	50	**	—	79	**
8	170	92	140	93	36	76	75	**	diver.	90-100	* et —
9	175	99	100	111	50	99	—	—	—	90-100	* et —
10	200	119	138	120	56	101	74	**	—	92-100	* et —
11	206	143	140	123	72	102	65	*	orge	88	—
12	198	106	50	158	72	104	83	*	diver.	89-92	—
13	200	94	25	178	75	110	91	—	orge	96	—
14	250	120	70	196	76	127	86	*	—	98	—
15	465	237	810	170	54	135	54	**	luzerne	77-89	** et *
16	665	368	900	284	107	172	90	—	orge	91	—

(Les indices indiquent les rendements du témoin P0% du rendement maximum.)

Signification: — = non significatif à P = 0,05

* = significatif à P = 0,05

** = hautement significatif à P = 0,01

*** = très hautement significatif.

Par la suite, dans le but de tester la méthode proposée sur une gamme plus large de conditions de sols et de climats, l'auteur l'a appliquée à un lot important d'échantillons prélevés en 1967/68 dans les champs d'essais pluriannuels de diverses stations.

Dans l'ensemble ces nouveaux résultats ont confirmé la valeur des indices de fertilité phosphorique I_E et I_L. Mais l'auteur propose d'adopter des normes d'interprétation plus sévères pour les cultures les plus exigeantes en disponibilités phosphoriques (*Gachon [9]*).

1.3.2. K₂O extrait au tétraphénylborate de sodium et résultats expérimentaux au champ

Après divers auteurs, *Cabibel* a étudié la libération du potassium par les sols au moyen du réactif NaCl-NaTPB. Son étude a porté sur 34 échantillons de sols différents quant à leur origine ou à l'entretien de leur niveau potassique, mais appartenant tous à des dispositifs expérimentaux de longue durée, dont la réponse aux apports de potasse était connue (*Cabibel [3]*).

Pour les échantillons de sols étudiés, la comparaison des quantités de K extraites en présence de NaCl-NaTPB, pour les divers temps de contact utilisés et des résultats expérimentaux a fait apparaître une assez bonne concordance entre les quantités de K extraites en une heure et la réponse à K₂O des cultures au champ. La comparaison sur un même essai de la parcelle K0 et d'une parcelle enrichie a aussi confirmé l'intérêt d'un temps d'extraction limité. *Cabibel* s'est efforcé de classer les sols étudiés en fonction du type de réponse et il a reconnu que cette classification était délicate. Il a distingué trois cas:

- 1° Sols où la réponse aux apports potassiques est positive pour des cultures peu exigeantes en K : ici K échangeable suffirait à distinguer le groupe.
- 2° Sols où la réponse aux apports potassiques est positive pour des cultures exigeantes en K et où la réponse est nulle pour des cultures peu exigeantes : sols à réserve en K mobilisable moyenne.
- 3° Sols où la réponse est nulle : sols à réserve en K mobilisable élevée.

L'auteur conclut que l'utilisation de NaTPB permet dans les sols étudiés de déplacer, dans les conditions expérimentales choisies, des quantités de K très supérieures à K échangeable. Il estime que les fractions les plus mobilisables sont aussi celles susceptibles d'être le plus facilement utilisées par la plante, les distances de diffusion pour le K étant alors les plus faibles et il conclut que «la fraction de K NaTPB libérée au temps de contact sol/solution d'extraction le plus court pourra constituer, quelles que soient les quantités de K libérées pour des temps de contact plus longs, un facteur d'appréciation des disponibilités en K du sol pour les cultures».

1.3.3. K extrait par microcultures Stanford et résultats expérimentaux au champ

Quémener a appliqué la méthode Stanford en la modifiant à l'étude de sols d'essais potassiques du réseau SCPA. Le principe de la méthode et son adaptation au potassium ont été décrits par *Quémener* et *Rolland* [23]. Certains résultats ont été publiés dans une note de *Garaudeaux* et *Quémener* [11].

Rappelons seulement ici la définition des mesures.

- *Potassium absorbé* (par les plantules d'orge au cours de la microculture) = K exporté par les parties aériennes de plantes placées en contact avec le sol étudié moins K exporté par les plantes cultivées sur sable.
- *Potassium échangeable* (contre solution d'acétate d'ammonium normale et neutre) avant et après la culture de Stanford.
- La variation de K échangeable au cours de la microculture ($DKe = K \text{ échangeable après culture moins } K \text{ échangeable avant culture}$).

Dans une étude non publiée *Quémener* [24] disposait de 49 sols d'essais, classés en quatre catégories, suivant leur réponse à la fumure potassique, déterminée sur l'ensemble des résultats de quatre années consécutives (1963 à 1966). Il a surtout utilisé les résultats concernant les céréales, le maïs et les prairies. Un problème délicat est de qualifier la réponse à K_2O de chaque champ d'essai. A cet égard, les réponses ont été exprimées en pour-cent du témoin K_0 plutôt qu'en valeur absolue. Il n'a pratiquement pas été tenu compte du degré de signification statistique des résultats expérimentaux.

L'interprétation des résultats Stanford en fonction de la réponse des essais est faite principalement à partir de deux graphiques.

La figure 1 rapporte la liaison entre K absorbé en microculture Stanford et K échangeable, les points étant aussi caractérisés par leur réponse à K_2O dans l'expérimentation au champ. Pour les faibles valeurs de K échangeable (inférieures à 80 ppm), le classement fourni par K absorbé en Stanford est en meilleur accord avec la nature des réponses. Mais on constate aussi que pour une absorption d'environ 200 ppm, la réponse expérimentale peut être très variable. Le K absorbé en Stanford ne pourra donc constituer à lui seul un diagnostic suffisant.

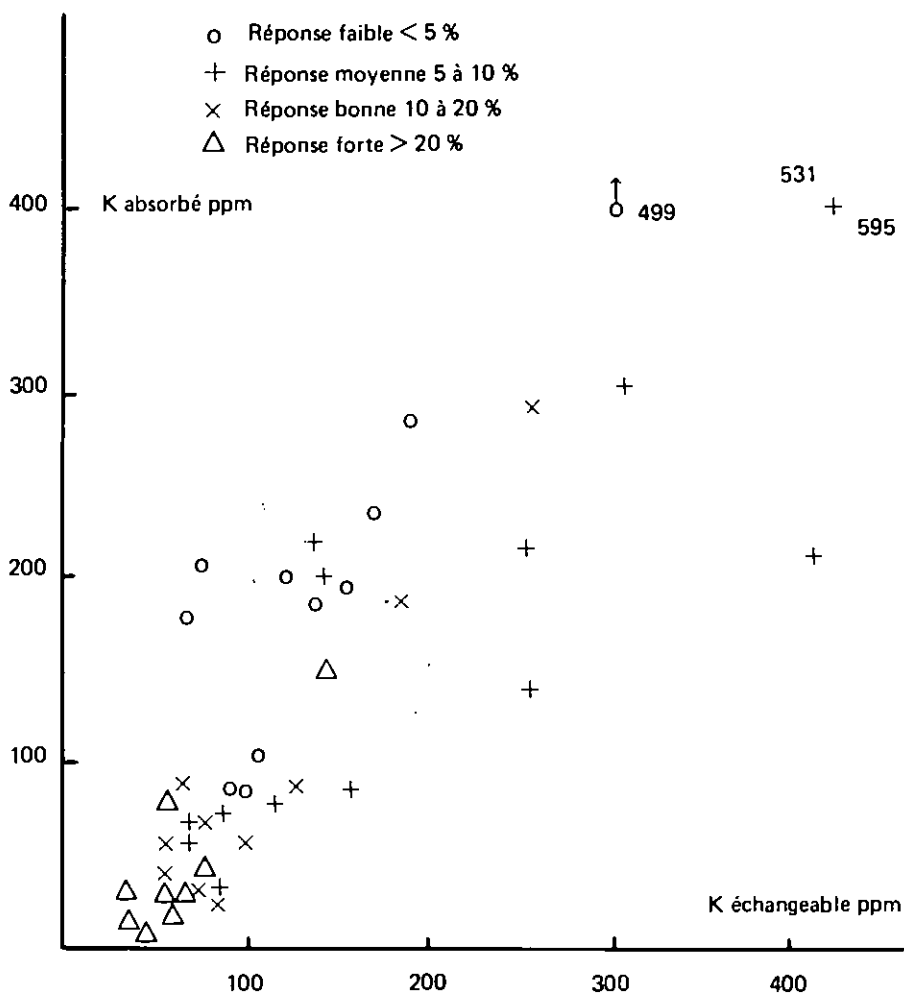


Fig. 1. Relation entre K absorbé en microculture Stanford, K échangeable et réponse à K_2O en essais.

La figure 2 rapporte la liaison entre K absorbé en Stanford et la variation de K échangeable au cours de la microculture. Cette représentation associe le prélèvement K effectué par les plantules et la variation du stock de potassium dit assimilable résultante.

Diminution de
K échangeable
au cours de la
microculture

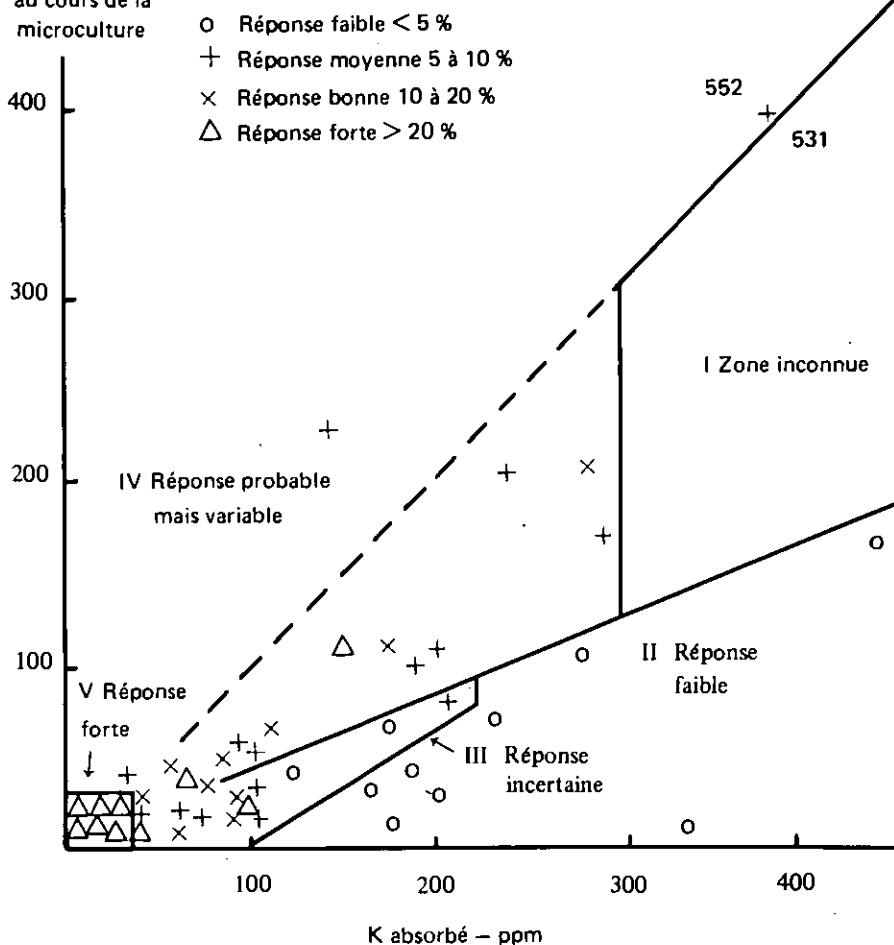


Fig. 2. Relation entre K absorbé en microculture Stanford, variation de K échangeable en Stanford et réponse à K_2O en essais.

Dans ce graphique l'auteur a essayé de distinguer cinq zones selon la réponse au champ :

zone I, inconnue – pas de champs d'essais

zone II, essais à réponses faibles ou nulles

zone III, essais à réponses faible, moyenne et bonne

zone IV, essais à réponses variables

zone V, restreinte, essais à forte réponse

Il estime que les sols se trouvent ainsi mieux classés que sur la seule base de K échangeable et que la délimitation des zones devrait se préciser peu à peu avec l'obtention de nouveaux couples de résultats.

La difficulté d'une telle recherche c'est surtout d'avoir un grand nombre de couples de résultats: microculture \times champs d'essais. C'est ensuite de bien caractériser la réponse au champ. Ces contraintes s'appliquent d'ailleurs à toutes les études de diagnostic.

Pour les essais K_2O qui sont presque toujours des essais permanents, il faudrait, dans la caractérisation de la réponse, introduire l'évolution de celle-ci avec le temps et le délai de réponse.

Dans le cas de l'étude Stanford, par exemple, *Quémener* a bien fait remarquer qu'un sol à disponibilités immédiates élevées (K échangeable et K absorbé en Stanford élevés) pouvait néanmoins répondre à la fumure potassique dans un délai plus ou moins long si ses disponibilités ne se renouvellaient que lentement (DKech. important).

Inversement un sol à disponibilités immédiates moyennes, mais à renouvellement rapide (DKech. faible) pourrait présenter des réponses au champ faibles et variables selon les cultures.

En ce qui concerne la caractérisation de la réponse à la potasse sur champs d'essais, une tentative assez élaborée fut faite en 1958 par *Strasman et al* [26] mais les indices de ces auteurs n'ont pas été repris par la suite.

En conclusion, les difficultés de l'interprétation, de l'étalonnage des analyses tiennent à un certain nombre de facteurs dont les principaux semblent être:

- 1° La nature du complexe colloïdal
- 2° La structure du sol et le régime hydrique qui affectent grandement la diffusion et les mouvements.
- 3° La quantité de terre explorée par les racines, qui constitue une des principales difficultés pour les cultures pérennes, et qui a milité plutôt en faveur des analyses végétales.
- 4° Les propres capacités d'absorption des systèmes radiculaires des végétaux selon leurs capacités d'échanges.

L'espoir d'une meilleure approche des relations plante-sol se fait jour depuis une dizaine d'années. Il concerne surtout la nutrition cationique. Grâce aux concepts de rapports d'activités cationiques dans des extraits de sols en équilibre, la liaison entre le sol et les teneurs des plantes en cations serait susceptible d'amélioration (*Bould* [2]).

Mais des progrès sont surtout à prévoir dans la mesure du potassium du sol réellement assimilable par les plantes par l'amélioration des méthodes d'approche dont il a été cité deux exemples ci-dessus.

2. Analyse de la plante dans le contrôle de l'expérimentation

Ce chapitre constitue un des aspects du problème plus général de l'utilisation des analyses végétales puisqu'il concerne en très majeure partie les constituants minéraux en liaison avec la nutrition minérale et les rendements de la plante.

Le perfectionnement des moyens analytiques a considérablement développé ces analyses depuis 20 ans. L'analyse des plantes, en particulier d'échantillons foliaires, fait depuis plusieurs années l'objet de colloques internationaux dont les communications publiées constituent la base documentaire la plus précieuse en cette matière: Paris 1954

[28], Paris 1956 [29], Montréal 1959 [30], Bruxelles 1962 [31], Montpellier 1964 [32], Séville 1968 [33], Budapest 1972 [34].

D'assez nombreux articles de synthèse sous l'angle méthodologique figurent dans ces colloques auxquels on ajoutera en particulier les interventions de *Mme Huguet* [15] et de *Ulrich et Hills* [27] et *Aldrich* [1].

En ce qui concerne le contrôle de l'expérimentation proprement dit, il existe une grande diversité d'interventions qui peuvent cependant se classer en grands groupes.

2.1. L'analyse de la plante entière

Elle ne peut intervenir pratiquement que lorsqu'il s'agit de plantes annuelles ne présentant pas un très grand développement. Des études limitées ont pu intervenir sur quelques cultures pérennes, sur des thèmes particuliers.

L'analyse de la plante entière peut se situer au moment de la récolte ou au cours du cycle.

2.1.1. L'analyse de la plante à la récolte

Cette méthode est très pratiquée lorsqu'on prélève des échantillons de coupes de fourrages, de pieds de maïs, de pailles de céréales au moment de la récolte sur des parcelles expérimentales.

Les résultats fournis par l'analyse de la plante entière, constituée d'organes divers, ne peuvent être que de nature statique. En effet, l'analyse du végétal à maturité n'exprime qu'une résultante et ne renseigne pas sur la nutrition au cours du développement. Au cours des semaines précédant la maturité, la plante est le siège de migrations, d'accumulations de certains éléments (exemple: décroissance de la quantité globale de potassium dans la plante maïs).

Il est fait grand usage par les Services agronomiques de la SCPA de la méthode des analyses à la récolte pour établir avec précision les exportations, sinon les exigences, exactes des diverses cultures à divers niveaux de rendements et dans des conditions de fertilisation, de sols et de climats, variables (*Loué* [16]).

La méthode sert aussi à l'établissement de bilans, relativement précis dans le cas des essais.

Le tableau 5 rapporte un exemple de bilan précis sur un essai factoriel $4 N \times 2 P \times 4 K$, dispositif en confounding à Pont Saint-Martin (Loire Atlantique). Les analyses végétales d'échantillons prélevés à la récolte au niveau de la parcelle élémentaire permettent d'établir les bilans des 32 traitements NPK. Le tableau ne rapporte, pour simplifier, que les effets principaux de N, P, K vis-à-vis de l'élément correspondant ainsi que les résultats pour l'équilibre NK optimum économique. On peut se rendre vite compte de ce qu'une telle méthode peut apporter.

Ainsi, dans le cas présent, bien que le bilan azote soit imprécis du fait de la prairie temporaire qui a recyclé de l'azote par la présence de trèfle variable selon les traitements, on constate que les bilans sont très négatifs avec N1, N2 et qu'il y a léger gain avec N4. Le meilleur traitement au point de vue rentabilité (N120) a correspondu à l'équilibre très théorique du bilan.

Pour P_2O_5 l'enrichissement apparaît nettement dès la dose P1 (+ 173 kg/ha P_2O_5 correspondant très théoriquement à une majoration de la teneur du sol de 0,058 ‰ P_2O_5 pour 3000 tonnes de terre par hectare). Au niveau du sol, l'enrichissement trouvé fut plus faible (P1 = 0,28 ‰ P_2O_5 et P2 = 0,34 ‰ P_2O_5 pour un taux initial de 0,24 ‰).

Pour K_2O , le bilan est très négatif avec K0 et K1, légèrement négatif avec K2, nettement positif avec K3. Là aussi, la dose de potasse optimum (K194), en présence de N optimum, au point de vue rentabilité, a correspondu à peu près exactement à l'équilibre du bilan. Au niveau K_2O échangeable du sol, les teneurs correspondant à K0, K1, K2, K3 furent au moment du bilan, de 0,03-0,05 \times -0,06 \times -0,13 \times %/100. L'effet des doses était donc positif et hautement significatif. Le niveau d'origine (0,07 %/100) était à peine maintenu avec la dose K2. Exprimées en kg/ha K_2O , les teneurs correspondraient aux bilans suivants (-120, -60, -30, +180 de K0 à K3, à comparer au bilan théorique du tableau soit -307 -222 -46 +215). Le sol a évidemment libéré du K échangeable à partir des réserves et cela fut d'autant plus net que les apports potassiques étaient plus faibles.

2.1.2. L'analyse de la plante entière au cours du cycle

L'analyse de la plante entière récoltée au cours des différentes phases de son développement constitue un progrès considérable (courbes de croissance, courbes d'absorption de N, P, K etc.). Pour une plante à nutrition rapide comme le maïs, cette méthode est très utile, mais elle exige un travail important et présente des difficultés (échantillons volumineux, perturbations dans les parcelles etc.). La méthode ne peut être que limitée à des sujets de recherches. Si elle est pratiquée sur des dispositifs expérimentaux de fertilisation, l'information obtenue sera grande, si les dates de prélèvements sont assez rapprochées (Loué [17]).

Dans un souci de limitation du travail, on pourrait s'en tenir à trois périodes d'échantillonnage (un prélèvement précoce dans la phase de croissance, un prélèvement médian en milieu de saison et un prélèvement tardif en fin de saison avant la récolte (Ulrich [27]).

Tableau 5. Bilans de fertilisation à Pont Saint-Martin (Loire Atlantique). Gains et pertes en kg/ha N, P_2O_5 , K_2O

		Prairie temporaire		Choux	Pommes de terre		Blé	Bilan sur 5 cultures		
		1963	1964	1964	1965	1966		Apport	Export	Bilan
N	N1	- 90	-161	-58	- 36	+ 2	240	583	-343	
	N2	- 66	-153	-41	- 17	+ 35	397	639	-242	
	N3	- 46	-142	- 6	+ 3	+ 71	553	673	-120	
	N4	- 23	-118	+31	+ 23	+109	710	688	+ 22	
	N opt. K opt.	- 75	-179	- 9	- 9	+105	635	802	-167	
P_2O_5	P1	+ 36	+ 20	+28	+ 35	+ 54	375	202	+173	
	P2	+109	+ 94	+94	+103	+131	750	219	+531	
	N opt. P 1,5 K opt.	+ 69	+ 51	+56	+ 51	+ 83	562	252	+310	
K_2O	K0	-154	- 72	-43	- 20	- 18	0	307	-307	
	K1	-101	- 58	-35	- 43	+ 15	450	672	-222	
	K2	- 50	- 12	-16	- 26	+ 58	900	946	- 46	
	K3	+ 21	+ 22	+42	+ 25	+105	1350	1135	+215	
	N opt. K opt.	- 12	- 24	- 9	- 4	+ 65	1027	1011	+ 16	

2.2. L'analyse de l'organe végétal utile

L'analyse de l'organe utile ne renseigne généralement pas sur la nutrition du végétal car le plus souvent il s'agit d'un organe d'accumulation de réserves, dont la composition minérale est relativement indépendante des traitements de fertilisation. La fourchette des teneurs étant pour nombre d'organes (graines en particulier) assez étroite, cela a permis d'établir des tables de prélèvements minéraux des diverses cultures utilisées pour calculer les exportations et faire des bilans sommaires sur les fermes avec un risque moyen d'erreur.

L'analyse sur un essai d'engrais des organes utiles se confond avec l'étude des bilans du paragraphe ci-dessus lorsque les autres organes sont restitués du sol (exemple : pailles de céréales, jambes de maïs grains, verts de betteraves etc.).

Cependant, il existe des cas où il est très utile de contrôler les essais par de telles analyses particulièrement lorsque certains constituants minéraux N, S, P, K, Ca, Mg peuvent interférer sur la qualité du produit.

Voici quelques exemples de l'utilité de telles analyses en liaison avec l'expérimentation.

Exemple 1: Les grains de céréales

On sait que la dose et l'époque d'application des engrais azotés ont un effet marqué sur le rendement en blé et la qualité. Sur certains essais azote il peut donc être utile de procéder aux analyses de grains comme le montre l'exemple ci-après relatif à un essai factoriel étudiant trois doses (N50, N100, N150) et leur mode de répartition entre le stade tallage et le stade montaison (R1 = $\frac{3}{4}$ au tallage et $\frac{1}{4}$ à la montaison, R2 = $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$, R3 = $\frac{1}{4}$ au tallage et $\frac{3}{4}$ à la montaison).

Dans cet exemple la teneur en azote des grains fut particulièrement influencée par les effets N et R. Les systèmes d'apport R2 et R3 conduisent incontestablement à une plus grande richesse en azote.

Exemple 2: Les tubercules de pommes de terre

L'auteur a étudié l'influence de la fertilisation sur la composition minérale des tubercules sur une trentaine d'essais (fig. 3). La teneur en K des tubercules apparaissant comme très influencée par la fertilisation potassique, il a été amené à étudier la liaison entre les rendements et la teneur en K et a pu proposer dans ce cas particulier un essai de gamme d'interprétation de la nutrition potassique à partir de l'analyse des tubercules (Loué [21]).

Tableau 6. N% matière sèche (grains)

	R1	R2	R3	Effet N
N0	—	—	—	1,78
N50	1,73	1,79	1,81	1,78
N100	1,90	1,95	1,95	1,93 ^x
N150	1,98	2,23	2,27	2,16 ^x ^x ^x
Effet R	1,87	1,99 ^x	2,00 ^x	

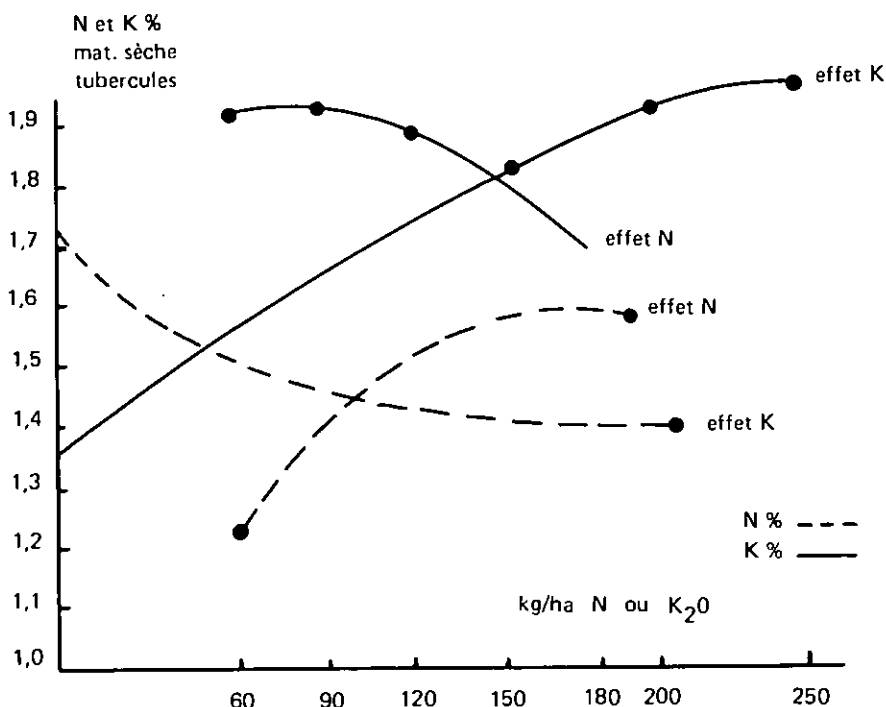


Fig. 3. Influence de la fertilisation N, K sur la teneur en azote et en potassium des tubercules.

Exemple 3: *Le tabac*

La composition minérale de la feuille de tabac à la récolte constitue un exemple assez unique de forte liaison entre l'absorption minérale et la qualité. On sait que les éléments K et Cl ont une incidence toute particulière sur la qualité et la combustibilité du tabac. La teneur en Cl doit être la plus basse possible et la nuisance est forte lorsqu'elle atteint 2% de la matière sèche. D'autre part, une bonne qualité va de pair avec des teneurs en K au moins égales à 5% de la matière sèche.

Des essais ont été poursuivis pendant plusieurs années dans le Sud-Ouest de la France étudiant trois doses de potasse sous forme sulfate sur tabac (K0, K150, K300) sur des parcelles K0, K1, K2 ayant reçu au cours des années précédentes leur potasse K1 et K2 sous forme de chlorure ou de sulfate. On cherchait donc à étudier en particulier l'arrière action des doses et formes de potasse sur la qualité et la combustibilité. Ainsi sur l'essai de 1967, la prime à la qualité et combustibilité fut la suivante pour les cinq traitements étudiés. Or, l'analyse des feuilles à maturité a bien permis d'expliquer logiquement les résultats obtenus. On constate en effet sur le tableau 8 qu'en ce qui concerne le chlore l'effet de l'antécédent de forme de potasse est très dominant. Après chlorure, les taux de chlore dans les feuilles vont de 1,5 à 1,8% (après K1 = K80) et de

2,0 à 2,3% (après $K_2 = K_{160}$). Les reliquats de chlore de la fumure antérieure ont donc eu une influence prépondérante sur le taux de chlore qui a en effet pu atteindre des valeurs susceptibles de nuire à la combustibilité.

Autres exemples: les exemples d'intérêt de procéder sur des expérimentations à l'analyse des organes utiles pourraient être multipliés. Citons simplement les aspects suivants:

- analyses des racines de betteraves sucrières en particulier sur essais factoriels $N \times K$ (détermination de N nuisible, K, Na...).
- analyses des fourrages, particulièrement sur les essais factoriels $N \times P \times K$, à doses élevées sur prairies temporaires pour mesurer l'ampleur des besoins et aussi la qualité.

Il va sans dire d'autre part que sur certains essais de fertilisation les analyses devront concerner certains constituants organiques dont la détermination est nécessaire à la connaissance du rendement effectif (richesse saccharine, teneurs en huiles, etc.).

2.3. *L'analyse dans un but de diagnostic*

Pour étudier la nutrition minérale de la plante on s'adresse à un organe végétatif déterminé, le plus souvent la feuille car le plus susceptible de refléter assez fidèlement le mode d'alimentation du végétal à un moment donné.

2.3.1. Le diagnostic foliaire

Le diagnostic foliaire consiste à analyser à des intervalles de temps choisis une feuille de position bien déterminée. Les principes de base de la méthode ont été établis en France par Lagatu et Maume à partir de 1924. Elle fut appliquée ensuite, avant la guerre, à la pomme de terre, au maïs, aux arbres fruitiers, etc. Depuis 1945, la méthode s'est développée dans les pays tropicaux dotés à partir de ce moment là d'Instituts de Recherches aux Laboratoires équipés pour les dosages en grandes séries. C'est qu'en effet le diagnostic foliaire nécessite un très grand nombre d'analyses dont les résultats doivent être soumis à l'analyse statistique afin d'en dégager les différences significatives et les corrélations teneurs \times rendements.

2.3.1.1. Echantillonnage en vue du diagnostic foliaire

Le problème de l'échantillonnage nécessite des études préalables délicates pour chaque plante étudiée.

Pour obtenir des données analytiques comparables, l'échantillon doit être constitué de feuilles homologues, c'est-à-dire occupant le même rang sur les tiges (âge physiologique identique) et prélevées en même temps sur un nombre suffisant de plantes ayant végété dans les mêmes conditions.

L'échantillonnage pose donc les problèmes suivants:

- 1^o position de la feuille;
- 2^o nombre de feuilles par arbre (plantes perennes);
- 3^o nombre de plantes à échantillonner par parcelle élémentaire;
- 4^o époque de prélèvement (un seul ou plusieurs?).

Malgré certains progrès dans la standardisation des méthodes il règne encore une grande diversité dans les échantillonnages. Il faut reconnaître aussi que certaines plantes ont été beaucoup plus étudiées que d'autres. Avant d'entreprendre des recherches

Tableau 7. Incidence de la fertilisation sur la qualité du tabac (prime en F/kg)

Dose K ₂ O tabac	K0	K 150	K 300	Effet forme K ant.
Après chlorure.....	-	1,32	1,08	1,20
Après sulfate.....	-	1,44	1,68	1,56
Effet K tabac.....	1,20	1,38	1,38	

Tableau 8. Essai de Puch d'Agenais (Lot-et-Garonne) 1967. Teneurs des feuilles de tabac en chlore et potassium

K ₂ O sulfate sur tabac		K0	Cl% matière sèche			K% matière sèche			
			K150	K300	Effet forme K ₂ O antérieure	K0	K150	K300	Effet forme K ₂ O antérieure
Feuilles basses	après chlorure	0,98	1,49	1,99	1,74	3,03	4,03	5,15	4,59
	après sulfate		1,09	1,35	1,22 ^{xxx}		4,21	5,07	4,64
	effet doses (sans K0)		1,29	1,67 ^{xx}			4,12	5,11 ^{xx}	
Feuilles médianes	après chlorure	1,25	1,64	2,13	1,88	3,85	4,39	5,46	4,92
	après sulfate		1,26	1,44	1,35 ^{xxx}		4,62	5,18	4,90
	effet doses (sans K0)		1,45	1,78 ^{xx}			4,51	5,32 ^{xx}	
Feuilles basses	après chlorure	1,46	1,82	2,27	2,05	4,26	4,60	5,56	5,08
	après sulfate		1,45	1,58	1,52 ^{xxx}		4,85	5,18	5,02
	effet doses (sans K0)		1,64	1,93 ^{xx}			4,73	5,37 ^{xx}	

en ce domaine il est bon de consulter l'ouvrage déjà ancien de *Goodall et Gregory* [13] et surtout plus près de nous, celui de *Chapman* [4].

2.3.1.2. Déterminations analytiques

La méthode du diagnostic foliaire pourrait servir à étudier n'importe quel élément minéral.

En général ce sont surtout les éléments N, P, K qui présentent un intérêt primordial. Pendant longtemps, le diagnostic foliaire n'a pas porté sur Ca et Mg que l'on considérait très accessoirement dans l'étude de la balance des ions. Le diagnostic porte de plus en plus sur N P K Ca Mg.

En l'état actuel des choses les données sur le soufre sont assez minimes, au moins en agronomie car en physiologie de la nutrition, les études englobent souvent cet élément. Quant aux oligo éléments, il n'y a pas d'étude de diagnostic foliaire proprement dite, spécialisée sur Fe, Mn, Zn, B, Cu. Par contre, de nombreuses déterminations sont faites des oligo éléments sur du matériel foliaire. Mais elles concernent généralement des feuilles présentant des symptômes supposés de déficience. La position de ces feuilles peut très bien différer de celle de l'échantillon de diagnostic foliaire. Ce peuvent être de jeunes feuilles (Fe), de très jeunes pousses (B), etc.

2.3.1.3. L'utilisation pratique du diagnostic foliaire

L'interprétation des résultats expérimentaux

L'abondante documentation expérimentale réunie sur les cultures tempérées et les cultures tropicales prouve largement qu'il y a corrélation entre les résultats de l'analyse foliaire et la nutrition minérale de la plante. En cultivant un végétal dans des conditions déterminées, on peut donc, par le diagnostic foliaire, étudier les répercussions sur la nutrition des genres de fumures appliquées (dose, équilibre, nature, mode de placement, date d'apports, etc.). Comme toute méthode d'interprétation basée sur des analyses, le diagnostic foliaire nécessite l'établissement préalable de normes d'interprétation.

L'établissement de ces normes est long et délicat car il nécessite le diagnostic de nombreuses parcelles d'un réseau expérimental plus ou moins vaste et suivant plusieurs années. En rapprochant les rendements parcellaires obtenus des diagnostics foliaires parcellaires, on s'efforce de définir un type nutritif correspondant à l'optimum de rendement dans les conditions données de sol, de climat, de variété.

Parmi les innombrables types nutritifs qu'un végétal donné peut présenter en végétant, plus ou moins bien, il existe une zone de nutrition conduisant au rendement maximum qui constitue l'optimum d'alimentation de la plante considérée.

La notion d'optimum nutritif concerne à la fois les pourcentages des divers éléments dans la feuille et les rapports de ces éléments entre eux. La méthode d'interprétation du diagnostic foliaire fait appel à la fois aux notions de niveaux critiques et à celle d'interactions.

Niveau critique. La première base utilisable pour la détermination des déficiences et les recommandations en matière de fumures minérales est la notion de niveau critique qui se définit comme le pourcentage d'un élément dans une feuille au-dessous duquel l'application de cet élément sous forme de fumure minérale a de fortes chances d'augmenter les rendements. Pour la détermination de ces niveaux critiques, il est indispensable de disposer d'un grand nombre d'essais de fumure minérale où l'on peut mettre en parallèle l'influence des engrais sur les rendements et sur les teneurs en éléments minéraux.

A vrai dire, la relation entre la teneur d'une feuille déterminée en un élément et le rendement du végétal est complexe.

Prenons l'exemple du potassium dans le diagnostic foliaire du maïs (feuille de l'épi) auquel l'auteur s'est plus particulièrement intéressé (Loué [18]).

L'examen de la figure 4 suggère que la relation entre les rendements et les teneurs potassiques foliaires est curvilinéaire. Pour les teneurs allant de 0,4 à 1,0% environ, zones de carence et de grave déficience, la corrélation est très forte. Pour un accroissement de la teneur de 0,1% K, le rendement s'accroît d'environ 5 q/ha. On observe ensuite une seconde zone, pour des teneurs allant de 1,0% à environ 1,6% K dans laquelle la corrélation demeure nette, mais où une augmentation de 0,1% K ne provoque plus une élévation de rendement que de 2,5 q/ha environ.

Au-delà de 1,6 à 1,7% K, on entre dans un nuage de points. On a pu fixer vers 1,7 à 1,8% K le niveau critique, teneur au-dessus de laquelle il n'y a pas de liaison nette entre les teneurs en K de la feuille de l'épi, et les rendements.

En fait, il ne convient pas d'indiquer une teneur précise qui serait un véritable niveau critique. Il serait préférable d'indiquer une zone critique 1,7 à 2,0%, par exemple.

La zone critique serait elle-même fluctuante; dans les cas de déficience hydrique, elle peut tomber dans l'exemple pris vers 1,30 à 1,40% K. Dans une étude récente, il a été montré que la zone critique d'obtention de très hauts rendements correspondait à des teneurs comprises entre 1,9 et 2,2% K (Loué [20]).

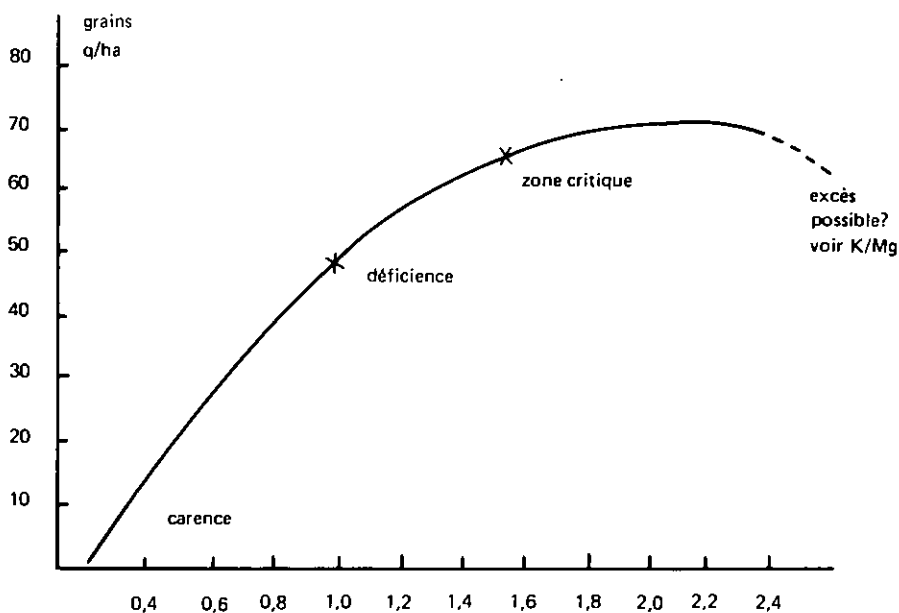


Fig. 4. Relation entre les rendements en grains secs et la teneur en K de la feuille de l'épi de maïs à la floraison.

Interactions. La seconde base de l'interprétation des résultats du diagnostic foliaire est l'étude des interactions, des actions réciproques des éléments sur les teneurs et sur les rendements: Exemples: études des liaisons $N \times P$, $N \times K$, de la somme $K + Ca + Mg$, des relations $K/Ca/Mg$.

L'analyse de la régression multiple est de plus en plus employée pour étudier les relations entre les rendements et les teneurs de la feuille en deux éléments (*Dumenil [5]*, *Fourcassié [6]*).

En ce qui concerne les cations majeurs, il se révèle souvent intéressant d'étudier la qualité de la nutrition cationique au moyen du calcul des % de K, Ca, Mg au sein de la somme $S = K + Ca + Mg$ supposée constante et égale à 100.

2.3.1.4. Critique de la méthode

L'utilisation du diagnostic foliaire est fondée sur un certain nombre d'hypothèses dont certaines sont mieux assises que d'autres:

- 1^o La feuille centre principal du métabolisme.
- 2^o La composition chimique de la feuille est le reflet du milieu nutritif et en particulier des modifications qu'on lui fait subir, en particulier par les apports de fertilisants. Certains stades du développement accentuent mieux les écarts du nutrition enregistrés.
- 3^o Il existe une liaison entre les teneurs à certains stades caractéristiques de la croissance et les rendements futurs.

Il est assez certain que par l'expérimentation, les chercheurs ont pu déterminer la meilleure feuille à échantillonner au meilleur stade. D'autre part, la première partie de la courbe teneurs \times rendements (teneurs associées à la déficience grave et à la déficience caractérisée) est en général étudiée avec une bonne précision. Le problème de la détermination du seuil ou de la zone critique est le plus délicat.

Les réserves formulées à l'encontre des difficultés de généralisation des résultats expérimentaux peuvent être formulées pour les résultats de diagnostic foliaire correspondants. Mme *Huguet* a mis aussi l'accent sur la variabilité annuelle en arboriculture fruitière, l'effet année pouvant être supérieur à l'effet traitements de fertilisation. Cet auteur préconise les enquêtes analytiques régionales en complément des essais de base [15].

Pour notre part, nous pensons que des progrès devraient venir des directions suivantes:

1^o *Efforts de normalisation des techniques de prélèvements*

En France, dans le domaine des analyses minérales sur poudres végétales, il existe une sorte de Commission dite Inter instituts dont le but est d'obtenir de ses membres une standardisation des dosages aboutissant à une reproductibilité et comparabilité des résultats. Bien que cela soit plus difficile, car cela concerne une même culture il faudrait, en amont, essayer de normaliser les prélèvements.

2^o *Résultats de nutrition minérale basés sur de nombreuses expérimentations*

La normalisation des prélèvements permettrait d'accroître la masse expérimentale contrôlée et d'améliorer l'analyse des résultats. Une des difficultés actuelles est l'insuffisance des expérimentations de base contrôlées.

3^o *Analyse plus poussée des couples résultats expérimentaux \times diagnostic*

Souvent certains facteurs, climatiques, parasitaires, etc. sont insuffisamment décrits et surtout l'interaction eau \times nutrition minérale est insuffisamment abordée. En ce sens la

méthode d'analyse par composantes principales et l'analyse factorielle pour l'étude de toutes les mesures faites sur un essai de fertilisation serait susceptible de mieux analyser les résultats (Gautier [12]).

4^o Conception de dispositifs expérimentaux particuliers, dans des sites

choisis en fonction du but poursuivi alors qu'en l'état actuel des choses les agronomes surimposent des contrôles biochimiques sur des essais de fertilisation existants. Par exemple, les facteurs variétaux, eau, façons culturales pourraient parfois être introduits. Il est vrai que la méthode des enquêtes régionales peut poursuivre ce même but si les échantillons sont choisis en conséquence.

2.3.2. Le diagnostic pétiolaire

Pour certaines cultures le pétiole est apparu plus sensible que le limbe pour traduire les différences nutritionnelles. C'est surtout aux Etats Unis que cette technique s'est développée (vigne, betterave sucrière, etc.). Nous l'avons utilisée en expérimentation sur vigne pour comparer les résultats à ceux du diagnostic foliaire classique, mais surtout comme méthode de prospection des vignobles (Loué [19]).

D'autre part les essais de fertilisation sur pommes de terre ont été étudiés également par diagnostic pétiolaire et les résultats relatifs au potassium ont été assez nets (Loué [21]).

2.3.3. L'analyse des tissus conducteurs

L'analyse minérale du suc provenant de tissus conducteurs a été conduite sur diverses plantes, le maïs en particulier, dans un but de diagnostic plus ou moins précoce grâce à des tests rapides afin d'intervenir si possible sur la culture en place pour corriger les défauts nutritionnels. La Station agronomique de Bordeaux poursuit des études plus fines comportant parfois quinze déterminations analytiques dont les diverses fractions azotées. Les résultats analytiques sont accompagnés pour le maïs de la détermination d'un indice de croissance au moment du prélèvement. Sur maïs, cette méthode a en particulier permis d'étudier «l'intoxication ammoniacale» (Routchenko [25]).

3. Conclusion

Dans le domaine du contrôle de l'expérimentation, il ne saurait être question d'opposer l'analyse du sol et celle de la plante. Les exemples sont nombreux où n'intervient aucune «concurrence» entre les deux méthodes. Schématiquement, on peut dire que les contrôles analytiques tant du sol que de la plante, peuvent se situer dans deux domaines:

1^o Un domaine d'amélioration de l'analyse des résultats expérimentaux

(le plus grand nombre possible de résultats sont analysés au niveau du sol et de la plante, qui dépendent de la culture en cause, du type de sol, du thème de l'essai, de son protocole et du but poursuivi et les résultats sont reliés aux traitements). Cela permet le plus souvent d'améliorer l'explication des résultats culturaux et de faciliter leur extension.

2^o Un domaine d'amélioration du diagnostic

En l'état actuel des connaissances, il convient de mener de front les deux diagnostics (sol, plante) en rapprochant le plus souvent possible l'analyse du sol qui cherche à cer-

ner de mieux en mieux le potentiel nutritif réellement à la disposition de la plante et l'analyse foliaire qui cherche à mesurer le mieux possible l'absorption la plus influente sur le rendement.

4. Bibliographie

1. Aldrich S.: Plant analyses: problems and opportunities Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of Amer. Madison USA, 1-10 (1967).
2. Bould C.: Comparative role of soil and leaf analysis in crop nutrition. Le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation. Montpellier, 13-19 (1964).
3. Cabibel B.: Mobilisation du K des sols par le Na TPB en relation avec le comportement des cultures. Ann. Agron. 23 (3), 355-367 (1972).
4. Chapman H. D.: Diagnostic criteria for plants and soils, University of California (1966).
5. Duménil L.: Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 295-298 (1961).
6. Fourcassie F.: Diagnostic foliaire du maïs; réflexion sur la méthodologie, application aux champs d'essais de fertilisation. Le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation. Montpellier, 309-315 (1964).
7. Gachon L.: Phosphore isotopiquement diluable et pouvoir fixateur des sols en relation avec la croissance des plantes. C. R. Acad. agric. Fr. 1108-1116 (1966).
8. Gachon L.: Appréciation de l'aptitude des sols à alimenter les plantes en phosphore: analyses du sol et résultats expérimentaux. C. R. Acad. Agric. Fr., 1313-1318 (1966).
9. Gachon L. et Tribot E.: Contrôle et évolution de la fertilité phosphorique de sols soumis à des essais de longue durée. C. R. Acad. Agric. Fr., 501-511 (1970).
10. Garaudeaux J.: Etudes sur la fumure potassique réalisées à la station agronomique d'Aspachle-Bas (Haut-Rhin), 122 p. (1965).
11. Garaudeaux J. et Quémener J.: Etude de la libération du potassium en culture en pots. 9th Inter. Congress of Soil Science II, 639-647 (1968).
12. Gauthier Ph.: Utilisation de la méthode d'analyse par composantes principales pour l'étude des résultats des essais de fertilisation. Bull. Ass. Fr. Et. Sol, 175-179 (1972).
13. Goodall D. W. et Gregory F. G.: Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Imp. Bureau Horticultural and Plantation Crops, 167 p. (1947).
14. Hebert J. et Rémy J. C.: Effets de doses croissantes répétées de sels de potasse. R. C. Acad. Agric. Fr., 946-954 (1964).
15. Huguet C.: Le contrôle de l'alimentation des plantes par l'analyse du sol et du végétal. In: La Fertilité du Sol et la nutrition des plantes. Colloque Franco-Roumain, Bucarest, 225-248 (1968).
16. Loué A.: Rapports annuels des essais de Fertilisation. Services Agronomiques SCPA. Impr. Mulhouse France (1963 à 1971).
17. Loué A.: Contribution à l'étude de la nutrition cationique et plus particulièrement potassique du maïs. Fertilité 20, 57 p. (1963).
18. Loué A.: Le diagnostic foliaire du maïs (méthodologie, état actuel des connaissances, utilisation). Inst. Int. Potasse, 4^e colloque, Belgrade, 105-116 (1965).
19. Loué A.: L'intérêt du diagnostic pétiolaire dans les études sur la nutrition et la fertilisation potassique de la vigne. 2^e Colloque - Contrôle de la Fertilisation des plantes cultivées, Séville, 283-294 (1968).
20. Loué A.: Etudes sur la nutrition et la fertilisation du maïs poursuivies à Pau de 1951 à 1968, 104 p. (1971).
21. Loué A.: L'analyse végétale (pétiotes, feuilles, tubercules) en vue d'apprécier la nutrition minérale et plus particulièrement potassique de la pomme de terre. 3^e Colloque - Contrôle de la fertilisation des plantes cultivées, Budapest, 18 p. (1972).
22. Morel R.: Evolution dans le temps de la quantité d'azote organique du sol. Science du Sol I, 121-129 (1971).
23. Quémener J. et Rolland D.: Application de la technique de Stanford et de Ment à l'extraction du potassium des sols. Ann. Agron. 21 (6), 819-844 (1970).
24. Quémener J.: Utilisation des résultats des microcultures de Stanford pour la détermination de la fertilité potassique des sols - note non publiée, 13 p. (1969).

25. *Routchenko W.*: Analyse des extraits des tissus conducteurs comme méthode d'étude de la nutrition des plantes. 2^e Colloque – Contrôle de la Fertilisation des plantes cultivées, Séville, 13–23 (1968).
26. *Strasman A., Quilet P. et Blanchet R.*: Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes. *Ann. Agron.* 5, 635–658 (1958).
27. *Ulrich A. et Hills F.J.*: Principles and practices of Plant analysis. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of Amer. Madison, USA, 11–24 (1967).
28. Analyse des Plantes et problèmes des engrais minéraux: IRHO. 11, Square Pétrarque, Paris. 263 p. (1954).
29. Analyse des Plantes et problèmes des fumures minérales: IRHO. 11, Square Pétrarque, Paris, 410 p. (1956).
30. *Plant analysis and Fertiliser Problems, III*: American Institute of Biological Sciences. Washington 6, DC, 454 p. (1961).
31. *Plant analysis and Fertiliser Problems, IV*: Published by American society for Horticultural Science. 430 p. (1964).
32. Le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation des cultures méditerranéennes: édité par: Laboratoire Coopératif de Diagnostic foliaire, Montpellier (France), 403 p. (1964).
33. Le contrôle de la fertilisation des Plantes cultivées: Editado por el Centro de Edafologia y Biologia Aplicada, Seville (Espagne), 911 p. (1968).
34. 3^e Colloque européen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées: Université d'Horticulture, Budapest (Hongrie), non imprimé (1972).

Plant and Soil Analysis Control and Interpretation of Field Experiments

A. Loué, Services Agronomiques, Société Commerciale des Potasses et de l'Azote, Mulhouse/France

Extended Summary

The two control methods (soil analysis, plant analysis) are mostly used in conjunction. This report endeavours to catalogue their possibilities.

1. Soil analysis and experiment control

Analysis before the experiment is a necessity (to test representativeness: analyses at repetition level, and chemical analysis of homogeneity and identity at the starting point of the experiment at the plot level).

Analyses in the course of or at the end of the experiment permit the changes in some soil characteristics to be traced, according to the subject of the experiment. Thus in the case of K_2O the applications are numerous:

- evolution of exchangeable K according to rates tested with or without K_2O balance studies,
- seasonal evolution,
- K_2O distribution in soil profiles according to application rates, forms, soil types, irrigation.

The purpose of analysis for diagnosis is to put in parallel the analytical results obtained by extractions or new tests, and corresponding experimental results. This method should allow a better grading of analytic results in relation to yields, and further development of the analytical methods themselves with a view to a better diagnosis. This report deals with examples of such studies for P_2O_5 and K_2O .

Concerning K_2O , we report on the use of K extracted by sodium tetraphenyl-borate, and its grading by field experimental results, together with the correlation between the latter and K extracted by microcultures of the Stanford type. The difficulty of such a method is mainly that of securing a large number of paired comparisons: microcultures \times experimental fields, and then the proper characterization of the field response. In spite of that, progress is foreseen in the measurement of the soil potash which is in fact assimilable by the plants, thanks to the improvement of these diagnostic tests, in particular the extraction by TPBNa.

2. Plant analysis in the control of experiments

There exists a great number of opportunities which can be classified in several main groups:

- The analysis of the whole plant at the harvest is used in particular to determine accurately the nutrient uptake of various crops at various yield levels and under different manuring conditions, soils and climates. This method is also used to make balance studies, quite accurate in the case of field experiments (of which an example is given).
- The analysis of the whole plant during the cycle enables nutrient absorption curves to be set up.
- The analysis of the plant organ which is commercially useful (therefore removed) serves to determine the removals of nutrients from the land and to study the relationship between the elemental composition and the quality (three examples are cited, for cereal grains, for potato tubers and tobacco leaves).
- Analysis made with a diagnostic purpose tends to study the nutrition of the plant according to treatments and to link it to yields. Foliar diagnosis principles are recalled, in particular the necessity of setting up the interpreting standards beforehand. The difficulties in the use of the concept of critical level are examined. Progress in the diagnosis could come from a more accurate analysis of the paired comparisons, experiment results \times diagnosis.

Finally, petiole diagnosis and conduction tissue analysis are cited.

In conclusion: these controls tend to improve analysis of the experimental results and the diagnosis of nutritional status, leading towards the best possible yield.

La réponse à la fumure potassique dans le Programme Engrais de la FAO en Afrique 1961-1972

M. Mathieu, Ing. agr. INA, Directeur, Programme Engrais, FAO, Rome/Italie

Résumé

L'auteur passe en revue les résultats du Programme engrais sur l'effet de la fumure potassique dans 12 pays d'Afrique du Nord, de l'Ouest et de l'Est de 1961 à 1972 (10 605 essais simples et démonstrations). Il compare les rendements et bénéfices financiers d'un témoin sans engrais avec une parcelle NP et une parcelle NPK au même niveau de N et P. Il donne pour 8 cultures annuelles des formules d'engrais NPK/ha, par grande région agroclimatique, qui assurent avec une haute probabilité une rentabilité élevée ($V/C \geq 2$) et supérieure à la fumure NP.

Le rapport couvre les pays suivants:

Afrique du Nord: Maroc, Algérie, Tunisie;

Afrique de l'Ouest: Côte-d'Ivoire, Sénégal, Sierra Leone, Ghana, Nigeria, Cameroun, Togo;

Afrique de l'Est: Ethiopie, Kenya.

Les pluviométries annuelles sur les zones couvertes varient de 300 mm (limite en dessous de laquelle l'emploi des engrais comporte trop de risque) en Afrique du Nord, à 1500 mm en Afrique de l'Est, et 3000 mm au Sierra Leone et au Cameroun.

Les sols sont de 4 grands types:

- a) les anciens latosols (ferralithiques ou ferralsols [FAO]) sur une large bande de la Côte-d'Ivoire à la Somalie;
- b) des sols semi-arides légers (xérosols [FAO]) du Sénégal au Soudan;
- c) des sols argilo calcaires (calcic et chromic/luvisols et cambisols [FAO]) en Afrique du Nord;
- d) des sols argileux (vertisols) par grandes poches (souvent des alluvions fluviales).

Le rapport tente de dégager des conclusions générales par culture et grande région agroclimatique après une revue par pays des résultats du *Programme engrais*.

Il est entendu que le Programme engrais n'a pas abordé les cultures pérennes (palmier à huile, cacao, ananas, thé, café, etc.) qui entrent dans l'économie de marché et, en général, étaient déjà fertilisées. Le lot du Programme engrais a été le plus difficile, c'est-à-dire de déterminer une réponse aux engrais en général et à la potasse en particulier sur des cultures annuelles au niveau de l'économie de subsistance dans des conditions climatiques souvent marginales.

La première évidence qui a été aisément confirmée est qu'une bonne pluviométrie, une bonne fumure et une bonne récolte vont le plus souvent de pair. Mais c'est aussi le privilège du Programme engrais de tester l'utilisation des engrais jusqu'à la limite du rentable et dans toutes sortes de conditions agro-climatiques.

Tous les résultats du Programme engrais ont été obtenus dans les conditions habituelles de cultures de l'agriculteur moyen. Ne sont toutefois admis à appliquer des engrais dans le Programme que les agriculteurs/démonstrateurs ayant suffisamment maîtrisé les autres facteurs limitants de la production agricole, en particulier la qualité des semences et la lutte contre les mauvaises herbes.

Ces mêmes résultats ont été obtenus grâce à la coopération essentielle du personnel de terrain des services nationaux de vulgarisation agricole et toujours en accord avec les instituts nationaux de la recherche agronomique.

Tous les résultats sont exprimés en unités suivantes: kilogramme, hectare, \$ EU (au taux de 250 F-CFA pour 1 \$ EU). Les prix des engrais utilisés sont des prix non subventionnés (sauf indication spéciale), et le prix des produits agricoles est un prix «à la ferme».

Après avoir passé en revue les résultats par pays, les conclusions générales ci-après sont suggérées:

Formules d'engrais NPK sur cultures annuelles en Afrique avec rentabilité (comme indiquée) hautement probable

	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	Rapport V/C ¹
Arachide: Afrique de l'Ouest (huilerie)	10-20-20	3
Afrique du Nord et de l'Est (bouche)	20-40-40	3 à 5
² Blé (grain + paille), pluviométrie ≥ 400 mm		
Maroc	20-40-40	2,5
Algérie	40-40-40	3
Coton (irrigué): Afrique du Nord	80-80-80	2
Igname: Afrique de l'Ouest	20-20-20	3 à 4
Légumineuses à graines: Afrique du Nord	0-40-40	2
Afrique de l'Est	40-40-40	3 à 4
Mais (en ligne): Cameroun	20-20-20	3
Pommes de terre: Kenya	60-60-60	3
Riz ² : Afrique de l'Ouest	20-20-20	3

¹ Rapport entre la valeur du supplément de récolte dû à l'engrais V et le coût de cet engrais C. En principe, on pense que là où un rapport V/C minimum de deux ne peut pas être atteint, des campagnes pour l'emploi des engrais ne devraient pas être envisagées. Toutefois, à part l'efficacité des engrais et sous certaines conditions, ce rapport peut être modifié, soit par une baisse des prix des engrais (subvention, par exemple), soit par une augmentation des prix des produits au niveau du producteur. Souvent un stockage des produits au-delà de la période de récolte suffit pour arriver au but recherché.

² Avec variété locale. Les variétés à haut rendement sont en cours d'acclimatation.

Notons au passage (i) qu'en Afrique de l'Ouest tropicale il semble que la fumure potassique pour les cultures annuelles soit mieux rentabilisée en «forêt» qu'en «savanne», (ii) que l'engrais sur maïs est plus mal rentabilisé au Nigeria du Sud qu'au Ghana, sans

doute à cause d'autres améliorations culturales insuffisantes. Par exemple, la variété améliorée NS-1 au Nigeria procure un $V/C > 2$ quand pour la même formule d'engrais les variétés locales ne procurent qu'un $V/C < 2$.

Dans un congrès sur la potasse en zone tropicale, je ne voudrais pas manquer de souligner l'importance de la réponse à la potasse du cocotier, du palmier à huile et de la banane, même si le Programme n'a pas eu encore l'occasion de s'y intéresser. Je suis sûr que d'autres conférenciers y feront référence.

Ethiopie

A cause des conditions de sol et de climat, il n'y a pas de réponse générale à la fumure potassique en Ethiopie. L'analyse économique des résultats d'essais et de démonstrations sur la moyenne nationale annuelle ne donne pas la vraie nature de l'effet de la potasse dans ce pays, mais une analyse plus fine par type de sol est révélatrice. Elle a été entreprise par le Professeur *D. N. Atanasiu*, Université Liebig, Giessen, Allemagne, pour les deux années 1967/68 et 1968/69, à partir de l'analyse globale de *M. H. Birch*, Spécialiste FAO des engrais, Ethiopie. Cette analyse fine met en valeur un certain nombre de poches où l'application de la potasse est rentable. Elle est toutefois difficile à prévoir, car l'effet de la potasse y dépend (i) de la capacité du sol de fixer et de libérer plus ou moins rapidement des ions potassiques, (ii) de l'alternance plus ou moins brutale des périodes de sécheresse intense et de grandes pluies. Les conditions de sols sont prévisibles, les conditions climatiques ne le sont pas. Pour donner une idée de la complexité des prévisions de l'effet de la fumure potassique en Ethiopie, analysons les résultats de fumure du Teff (*Eragrostis abyssinica*), la nourriture éthiopienne de base, dans la région au Sud d'Addis-Abeba (Nazareth-Debre-Zeit).

1967/68	Rendements		
	0-0-0	40-40-0	40-40-40
Moyenne nationale (64 essais)	1178	2095	1920
Moyenne région/Nazareth-Debre-Zeit (7 essais)	750	1440	2260

Pourtant les sols de la région Nazareth-Debre-Zeit sont des sols lourds, noirs, profonds (black cotton soils) avec une forte capacité de fixation des ions K et une teneur relativement élevée de potasse échangeable.

Le Programme engrais continue à étudier la réponse à la potasse là où des indications de son effet positif se sont précédemment révélées (voir tableaux annexés 4, 5 et 6, récolte 1971/72 avec et sans potasse).

Dans un domaine proche *M. Birch* a mis en évidence une corrélation négative entre l'effet du (super)phosphate sur blé et Teff et la teneur des sols en argile. L'étude a été faite sur 300 couples sol/récolte. En conséquence, la réponse à P est plus marquée sur sols légers.

M. Birch a aussi trouvé qu'en Ethiopie d'autres conditions physiques des sols comme leur asphyxie par une forte pluviométrie et le gonflement des argiles qui s'ensuit à un effet négatif sur les possibilités de prélèvements des ions phosphoriques par les plantes.

A en juger par les calculs économiques précédents, l'igname est la culture à fertiliser en premier dans les Etats du Sud-Nigeria comme le long de toute la côte du Cameroun en Guinée. Toutefois, des remarques ont été faites par les utilisateurs d'igname fertilisée comme quoi elles se conservaient et se pilaient moins bien.

Au Nigeria et dans toute l'Afrique de l'ouest la pratique de la culture mixte (maïs + légumineuses) ne facilite pas l'étude de l'effet des engrais au niveau du petit producteur. Toutefois, des études sont encore nécessaires avant de condamner la culture mixte.

Tableau 1. Algérie

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement		Bénéfice net	Rapport valeur/coût
				N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha			
				kg/ha		\$ EU/ha	
				Grain	Paille		
Blé dur	1970/71	94 dém.	0- 0- 0	1031	1912		
			40-40- 0	1446	2551	34.—	2,5
			40-40-40	1514	2656	41.—	2,5
Blé dur	1971/72	70 dém.	0- 0 -0	860	2120		
			40-40- 0	1390	3250	54.—	3,7
			40-40-40	1500	3540	66.—	3,7
Blé tendre	1971/72	15 dém.	0- 0- 0	1050	2300		
			40-40- 0	1780	3310	60.—	4
			40-40-40	1820	3480	62.—	3,5
Blé tendre	1971/72	20 essais	0- 0- 0	1660	2840		
			0-40-40	2130	3880	44.—	4,1
			60-40-40	2460	4270	63.—	3,1
			120-40-40	2690	4930	78.—	2,7

NB. La paille a une valeur fourragère commerciale en Afrique du Nord. En 1971, le grain a été estimé à \$ EU 11.—, les 100 kilos et la paille \$ EU 1.70 les 100 kilos.

Tableau 2. Cameroun

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha	
Mais:						
Centre sud	1967-1971	215 dém.	0- 0- 0	932		
			22-22- 0	1446	20.—	2
			22-22-22	1725	34.—	3,6
Ouest	1969-1972	95 dém.	0- 0- 0	889		
			22-22- 0	1357	3.70	1,3
			22-22-22	1487	9.—	2
Nord-ouest	1969-1970	41 dém.	0- 0- 0	1490		
			22-22- 0	2112	15.—	2,4
			22-22-22	2775	43.—	5,8
Igname	1968-1969	20 essais	0- 0- 0	8879		
			22-22- 0	11621	66.—	4,4
			22-22-22	14753	168.—	9,3
			45-45-45	18169	260.—	7,2
Riz	1970-1972	20 essais	0- 0- 0	1870		
			45- 0- 0	3055	34.—	2,5
			45-45-45	3400	22.—	1,3

Tableau 3. Côte d'Ivoire

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût		
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha			
Igname	1966-1970	46 essais	0- 0- 0	6728				
			22-22- 0	7938	42.—	3,8		
			22-22-22	8342	50.—	3,8		
			45-45-45	9082	64.—	2,8		
		181 dém.	0- 0- 0	7121				
			22-22- 0	8543	46.—	4		
			22-22-22	9257	52.—	3,9		
		Maïs		44 essais	0- 0- 0	1412		
					22-22- 0	2047	10.—	1,6
					22-22-22	2132	14.—	1,7
Riz pluvial		93 essais	0- 0- 0	1659				
			22-22- 0	2322	36.—	3,5		
			22-22-22	2488	50.—	3,7		

Tableau 4. Ethiopia – Fertiliser Programme – Crop Year 1971/72. Country Average Yield (in quintal or 100 kg/ha)

Treatments kg/ha				Crop						
				Barley (24 trials)	Maize Local (6 trials)	Maize Imp. (25 trials)	Sorghum (20 trials)	Teff Local (18 trials)	Teff Imp. (43 trials)	Wheat (46 trials)
N	P ₂ O ₅	K ₂ O								
0	0	0	Control yield	8.5	24.5	30.7	10.5	5.3	7.8	7.2
23	0	0	Increase	1.4	— 5.9	1.8	2.1	0.9	1.1	2.1
46	0	0	Increase	1.1	— 4.3	4.7	2.4	1.4	2.3	2.9
0	46	0	Increase	0.8	3.4	— 0.8	2.0	1.8	2.2	1.9
23	46	0	Increase	3.1	6.4	3.9	3.9	2.6	2.9	3.2
46	46	0	Increase	4.4	7.1	14.9	5.8	4.9	4.4	5.2
0	69	0	Increase	3.3	1.9	4.6	2.0	0.9	1.8	1.5
23	69	0	Increase	4.9	6.1	12.9	3.1	3.4	3.7	5.3
46	69	0	Increase	5.4	6.0	12.6	3.2	4.2	4.7	7.1
46	69	50	Increase	5.4	10.0	13.7	4.8	4.8	4.2	5.6
Mean			Increase	3.0	3.1	6.8	2.9	2.5	2.7	3.5
Least significant difference				2.6	n.s.	6.4	n.s.	1.3	1.3	1.6
Coefficient of variation				39.6	33.3	30.9	43.3	26.3	29.6	36.7
Main effects			N ₂₃ -N ₀	1.7	0.4	4.9	1.7	1.4	1.3	2.4
			N ₄₆ -N ₀	2.2	1.1	9.4	2.5	2.6	2.5	4.0
			P ₄₆ -P ₀	2.0	9.0	3.8	2.4	2.3	2.1	1.7
			P ₆₉ -P ₀	3.7	8.1	7.8	1.3	2.0	2.3	2.9
			K ₅₀ -K ₀	0.0	4.0	1.1	1.6	0.6	-0.5	-1.5
Least significant difference				1.5	n.s.	3.7	n.s.	0.8	0.8	0.9

n.s. = non significant.

Tableau 5. Country Average Yield (in quintal or 100 kg/ha)

Treatments kg/ha				Crop						
				African Millet (10 trials)	Chick Peas (7 trials)	Horse Beans (23 trials)	Noug (12 trials)	Peas (4 trials)	Pepper (5 trials)	Rape (24 trials)
N	P ₂ O ₅	K ₂ O								
0	0	0	Control yield	9.3	12.1	9.3	4.6	5.2	13.2	3.4
23	0	0	Increase	-0.4	3.3	1.7	0.5	-1.2	2.0	1.5
46	0	0	Increase	1.2	3.6	1.5	0.7	-1.1	5.0	1.6
0	46	0	Increase	2.4	2.3	3.1	1.5	0.9	0.2	4.7
23	46	0	Increase	3.7	3.8	2.1	1.2	2.0	2.5	3.7
46	46	0	Increase	8.4	1.3	2.9	1.4	1.5	6.4	4.9
0	69	0	Increase	2.1	1.6	2.0	0.7	2.2	3.5	4.7
23	69	0	Increase	7.5	3.1	1.5	0.6	2.3	3.9	5.6
46	69	0	Increase	6.5	3.5	5.0	1.2	-0.8	6.3	6.3
46	69	50	Increase	8.5	0.8	3.9	1.6	0.5	8.6	7.3
Mean			Increase	4.0	2.3	2.4	0.9	0.4	3.8	4.0
Least significant difference				4.5	n.s.	2.0	1.0	-	n.s.	2.3
Coefficient of variation				38.3	21.0	30.0	22.5	-	36.4	54.0
Main effects:										
			N ₂₃ -N ₀	2.1	2.1	0.1	0.1	0.0	1.6	0.5
			N ₄₆ -N ₀	3.9	1.5	1.4	0.4	-1.1	4.7	1.2
			P ₄₆ -P ₀	4.5	0.2	1.6	1.0	2.3	0.7	3.4
			P ₄₆ -P ₀	5.1	0.4	1.7	0.4	2.0	2.3	4.5
			K ₅₀ -K ₀	2.0	- 2.7	-1.1	0.4	1.3	2.3	1.0
Least significant difference				2.6	n.s.	1.2	0.6	-	n.s.	1.3

n.s. = non significant.

Tableau 6. Province Average Yields (in quintal or 100 kg/ha)

Treatments				African Millet				Barley						
				Province (Number of trials)										Country
kg/ha				Bege Dir (4)	Gojam (5)	Tigre (1)	Country (10)	Gojam (2)	Harar (3)	Shoa (8)	Tigre (2)	Wolega (8)	Wolo (1)	(24)
N	P ₂ O ₅	K ₂ O												
0	0	0	Control yield	8.5	7.8	20.5	9.3	7.5	14.8	11.2	8.5	4.2	4.6	8.5
23	0	0	Increase	-1.7	2.4	-9.5	-0.4	5.4	3.3	-3.1	-1.9	4.7	2.9	1.4
46	0	0	Increase	-0.6	2.2	2.5	1.2	2.9	2.0	-1.9	-1.6	3.9	2.5	1.1
0	46	0	Increase	-0.5	7.0	-10.0	2.4	-0.8	0.6	0.3	-3.0	3.5	-0.8	0.8
23	46	0	Increase	-1.4	8.8	-2.0	3.7	0.0	3.6	3.1	0.5	4.7	-0.4	3.1
46	46	0	Increase	1.8	12.0	16.5	8.4	5.4	4.6	3.6	-2.3	6.6	4.6	4.4
0	69	0	Increase	-2.6	5.6	2.5	2.1	3.3	2.4	3.5	1.6	3.9	3.7	3.3
23	69	0	Increase	1.7	11.7	9.0	7.5	10.4	6.3	1.1	-0.3	8.4	2.9	4.9
46	69	0	Increase	2.2	9.9	6.0	6.5	9.6	9.0	2.4	-0.1	8.0	-0.4	5.4
46	69	50	Increase	2.1	11.5	18.0	8.5	6.7	1.2	3.6	3.7	8.9	3.7	5.4
Mean				0.1	7.1	3.3	4.0	4.5	3.2	1.3	-0.3	5.3	1.9	3.0
Least significant difference				-	6.7	-	4.5	-	-	n.s.	-	4.4	-	2.6
Coefficient of variation				-	35.3	-	38.3	-	-	41.0	-	46.1	-	39.6
Main effects:														
			N ₂₃ -N ₀	0.5	3.4	1.7	2.1	4.5	3.8	-0.9	-0.1	3.4	0.8	1.7
			N ⁴⁶ -N ₀	2.1	3.8	10.8	3.9	5.2	4.6	0.1	-0.8	3.7	1.2	2.2
			P ⁴⁶ -P ₀	0.8	7.8	3.8	4.5	-1.3	0.7	4.0	-0.4	2.0	-0.7	2.0
			P ₆₉ -P ₀	1.2	7.6	8.1	5.1	5.0	4.1	4.0	1.6	3.9	0.3	3.7
			K ₁₀ -K ₀	-0.1	1.6	12.0	2.0	-2.9	-7.8	1.2	3.8	0.9	4.1	0.0
Least significant difference				-	3.9	-	2.6	-	-	n.s.	-	2.5	-	1.5

n.s. = non significant.

Tableau 7. Ghana

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût	
			M-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha		
Maïs savanne et forêt	1961-1968	2055 dém.	0- 0- 0	1148			
			22-22- 0	1627	23.—	2,5	
			22-22-22	1584	9.—	1,4	
	savanne	1961-1968	306 essais	0- 0- 0	1030		
				22-22- 0	1436	17.—	2
				22-22-22	1609	30.—	2,3
	forêt	1961-1968	1254 essais	0- 0- 0	1185		
				22-22- 0	1633	18.—	2,8
				22-22-22	1747	22.—	2,3
Riz: savanne et forêt	1961-1968	361 dém.	0- 0- 0	1380			
			22-22- 0	2087	66.—	4,7	
			22-22-22	2244	71.—	4,3	
	forêt	1961-1968	193 dém.	0- 0- 0	1087		
				22-22- 0	1542	31.—	2,8
				22-22-22	1682	45.—	3,2
Igname	1961-1968	632 dém.	0- 0- 0	7104			
			22-22- 0	9694	130.—	8,4	
			22-22-22	10279	153.—	8,4	
Arachide	1961-1968	133 dém.	0- 0- 0	736			
			11-22- 0	1017	122.—	10,3	
			11-22-22	1046	132.—	8,8	

Tableau 8. Kenya

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	₤ EU/ha	
Arachides	1968/69 (année de faible pluviométrie)	37 dém.	0- 0- 0	895		
			0-45- 0	1190	46.—	5,2
			0-45-45	1332	67.—	4,7
	8 essais	0- 0- 0	1277			
		0-45- 0	1606	62.—	8	
		0-45-45	1862	110.—	8,3	
Pommes de terre	1968/69 (année de faible pluviométrie)	18 dém.	0- 0- 0	7836		
			67-67- 0	11077	52.—	2,7
			67-67-67	12407	76.—	2,8
Arachides	1969/70 (année de pluviométrie favorable)	94 dém.	0- 0- 0	857		
			0-40- 0	1053	22.—	3,9
			0-40-40	1340	57.—	5,4
Pommes de terre	1969/70 (année de pluviométrie favorable)	68 dém.	0- 0- 0	8213		
			60-60- 0	11401	57.—	2,6
			60-60-60	13369	94.—	3,3
Arachides	1970/71 (année de pluviométrie moyenne)	69 dém.	0- 0- 0	937		
			0-40- 0	1252	45.—	5,5
			0-40-40	1553	92.—	6,9
Pommes de terre	1970/71 (année de pluviométrie moyenne)	116 dém.	0- 0- 0	11121		
			60-60- 0	15615	88.—	3,1
			60-60-60	17750	137.—	4,3
Légumineuses à graines:						
Haricots	1969-1971	77 dém.	0- 0- 0	889		
			0-40- 0	1184	28.—	3,8
			0-40-40	1377	47.—	4
Soja	1969-1971	12 dém.	0- 0- 0	939		
			0-40- 0	1288	26.—	3,6
			0-40-40	1445	37.—	3,4
Manioc	1969-1972	11 dém.	0- 0- 0	10614		
			60-60- 0	12145	0,6	1
			60-60-60	14020	32.—	1,7

Tableau 9. Maroc

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement		Bénéfice net		Rapport valeur/coût
				N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha		
Blé dur*	Moyenne 1962-1969							
	Zone à pluviométrie annuelle supérieure à 400 mm	604 dém.	20-40-0	1050	16.—	2		
				20-40-40	1225	24.—	2,1	
Blé tendre*	Pluviométrie > 400 mm	165 dém.	Culture partiellement irriguée					
				20-40-0	1416	24.—	2,5	
				20-40-40	1769	44.—	3	
	48 dém.		20-40-0	1137	16.—	2		
			20-40-40	1256	20.—	1,9		
		Culture irriguée						
27 dém.		20-40-0	1030	24.—	2,4			
		20-40-40	1230	35.—	2,5			
		40-40-0	1189	36.—	2,6			
Fèves (irrigué)	261 dém.		0-40-0	1500	13.—	2,6		
			0-40-40	1610	16.—	2,1		
Arachides (irrigué)	66 dém.		20-60-0	1602	117.—	7		
			20-60-40	1843	170.—	7,3		
Coton (irrigué) (Tadla) (non égrené)	181 dém.		80-80-0	1872	58.—	2,4		
			80-80-80	1982	66.—	2,3		
Bersim (irrigué) (en vert)	81 dém.		20-40-0	36700	62.—	4,7		
			20-40-40	40900	80.—	5,1		
Luzerne (irrigué) (en vert)	24 dém.		0-90-0	53400	43.—	3,2		
			0-90-60	58400	69.—	3,4		

* N au tallage en plus est recommandable si la pluviométrie depuis octobre est au moins égale à 200 mm au 1^{er} février.

Tableau 10. Nigéria (Western and Midwestern States)

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement*		Bénéfice net		Rapport valeur/coût	
				N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha			
						S*	NS*	S	NS
Igname	1963-1969	93 essais	0-0-0	7300					
			20-0-0	8821	61	50	14,1	4,9	
			20-0-20	9550	70	54	12,6	4,1	
Manioc		23 essais	0-0-0	9200					
			20-20-0	10950	5	-13	1,6	0,5	
			20-20-20	12800	19	-2	2,8	0,9	
Maïs		528 dém.	0-0-0	1750					
			20-20-20	22230	22	5	3,7	1,2	

* S=avec prix de l'engrais subventionné (subvention 50%)
NS=avec prix de l'engrais non subventionné.

Tableau 11. Sénégal

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha	
Riz (irrigué)	Moyenne 1962-1966	258 essais	0- 0- 0	1137		
			22-22- 0	1586	25.—	3,6
			22-22-22	1996	55.—	5,9
			45-45- 0	1813	33.—	2,7
			45-45-45	1963	41.—	2,8
			90-90- 0	1850	16,4	1,4
Millet		103 essais	90-90-90	1965	19.—	1,4
			0- 0- 0	880		
			22-22- 0	1303	17.—	3,3
Arachides*		320 essais	22-22-22	1442	31.—	3,8
			0- 0- 0	1060		
			11-11-11	1410	24.—	5,4
			9-30-15	1440	22.—	3,3
			22-22- 0	1420	19.—	2,8
			22-22-22	1460	24.—	3,1

* Effet plus marqué des engrais en Casamance.

Tableau 12. Sierra Leone

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha	
Arachides	1969/70	146 dém.	0- 0- 0	1080		
			0-45- 0	1440	19,9	3,2
			0-45-45	1766	40,6	3,9

Tableau 13. Togo

Culture	Année	Nombre de champs	Formule	Rendement	Bénéfice net	Rapport valeur/coût
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	kg/ha	\$ EU/ha	
Igname	1963-1966	64 dém.	0- 0- 0	6709		
			20-20- 0	7910	30.—	2,6
			20-20-20	8803	62.—	3,8
Arachides		64 dém.	0- 0- 0	860		
			10-20- 0	1048	6.—	1,5
			10-20-20	1128	10.—	1,6
Sorgho		27 dém.	0- 0- 0	1072		
			20-20- 0	1450	22.—	2,3
			20-20-20	1735	47.—	3,3

Tableau 14. Tunisie

Culture	Année	Nombre de champs	Formule N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/ha	Rendement kg/ha	Bénéfice net \$ EU/ha	Rapport valeur/ coût
Légumineuses à graines (fèves)						
1969-1971	21 dém.*	0- 0- 0	1100			
		0-45- 0	1300	11.—	2	
		0-45-40	1630	37.—	2,7	
1970/71	6 dém.**	0- 0- 0	840			
		0-45- 0	1000	6,7	1,6	
		0-45-40	1120	9,2	1,4	
Fourrage sec (fenugrec)						
1969-1971	11 dém.	0- 0- 0	3150			
		0-45- 0	3820	22.—	2,9	
		0-45-45	4180	29.—	2,3	
Arachides de bouche (gousses vertes)						
1971	20 dém.	0- 0- 0	4500			
		0-20- 0	5240	250.—	5	
		33-64-50 + aldrex	6500	685.—	11,6	

* Engrais appliqué en bande dans le même sillon que la semence.

** Engrais appliqué à la volée.

Réponse négative aux engrais: fèves 8%; fenugrec 4%. Raisons: terre trop soufflée par les labours de préparation; profondeur de semis trop forte; inondation partielle; envahissement par les mauvaises herbes, etc.

Response to K-Fertilization in the FAO Fertilizer Programme in Africa (1961-1972)

M. Mathieu, Director of the Fertilizer Programme of FAO, Rome/Italy

Extended Summary

The author reviews the results of the fertilizer programme in view on potash effects in twelve African countries: Morocco, Algeria, Tunisia, Ivory Coast, Senegal, Sierra Leone, Ghana, Nigeria, Cameroon, Togo, Ethiopia and Kenya. Yields and financial profits of more than ten thousand single trials and demonstrations set up from 1961 to 1971 have been compared with a control plot i.e. without fertilizer, with an NP treatment and a NPK treatment at the same level of N and P.

After reviewing the results for countries and major crops the author suggests the following NPK formulas for annual crops in Africa with a most probably high rentability:

		N P ₂ O ₅ K ₂ O in kg/ha	Value/Cost ratio
Peanuts:	East Africa (oil)	10-20-20	3
	North and East Africa (food)	20-40-40	3-5
Wheat:	(grain and straw)		
	precipitation above 400 mm		
	Morocco	20-40-40	2.5
	Algeria	40-40-40	3
Cotton (irrig.):	North Africa	80-80-80	2
Yams:	West Africa	20-20-20	3-4
Leguminous grains:	North Africa	0-40-40	2
	East Africa	40-40-40	3-4
Maize (in rows):	Cameroon	20-20-20	3
Potatoes:	Kenya	60-60-60	3
Rice (local var.):	West Africa	20-20-20	3

Fertilizers in general and potash in particular are the more profitable as other production factors are improved. As trials were set up under usual cropping patterns with local varieties, it is reasonable to expect an even better profitability with increasing intensity of crop cultivation.

Potassium Responses of Various Crops in East Africa

G. D. Anderson, B. Sc., Ph. D., Department of Soil Science, Makerere University, Kampala/Uganda

Summary

Some areas acutely short of potassium in East Africa have been outlined. The extent of potassium need depends on the nature of the soils, the climatic conditions, crop needs for potassium, the cropping system and the supply of other nutrients.

Striking responses to potassium occur most commonly on very sandy or moderately to strongly acid soils but can also occur on soils highly saturated with calcium. Potassium saturation in soils appears to be too low for a number of crops when it falls below about 2.0% of the exchange capacity. Critical leaf levels for some important crops are also presented.

As high rainfalls cause both leaching of leaves and soils, potassium responses tend to be greatest in the more humid environments and least in arid zones.

Crops often showing good responses to potassium include tea, tobacco, bananas, potatoes, sweet potatoes, coconuts and pastures cut for silage or hay. Those in need of potassium more locally, but often when grown continuously without mulch or farm manure include coffee, sugar cane, sisal, cotton, maize, beans and wheat. Groundnuts appear one of the less responsive crops.

The time since first cultivated or since under pasture or bush fallow as well as the intensity and nature of cropping, influence the response to potassium, particularly on the many soils of fairly low potassium status. The importance of an adequate supply of other essential nutrients particularly nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium and sulphur in obtaining the optimum response to potassium is stressed.

With more continuous cropping, better varieties, higher plant populations and generally improved husbandry, including the increasing use of nitrogen and phosphatic fertilisers, the already much exploited potassium reserves in soils will become more depleted. The demand for potassium fertilisers on most crops is therefore, likely to increase markedly in the next few years.

1. Introduction

Potassium application to crops has received the least attention of the three major fertiliser elements in East Africa. The main reason for this is the almost universal response of crops to nitrogen and the widespread deficiencies of phosphorus. Acute deficiencies of potassium are more localised but are now recognised as of greater importance than hitherto. Several factors have contributed to the lack of awareness of potassium requirements. Traditionally, the areas where potassium deficiency was to be expected were on very sandy, very acid and calcareous soils and these are the areas where many of the striking responses to potassium in East Africa have been noted (*Evans and Mitchell [45], Anderson [11], Lock [66]*). Areas of high rainfall and consequent greater leaching are expected to respond more than those of lower

rainfall. This corresponds to the known greater response in the forested areas of West Africa compared with the savanna zone (*Djokoto and Stephens [40]*). With the common practice of leaving the land for several years under bush fallow particularly in Uganda which *Stephens [94]* has shown increases the supply of exchangeable potassium in the topsoil, responses to potassium were not expected to be large and have rarely been found where long fallow periods are part of the system (*Stephens [100]*). In Tanzania, *Le Mare [64]* also reported that the previous *Overseas Food Corporation* areas gave little response to potassium except on tobacco.

With the tendency for the period of fallow to become shorter as population pressure and the desire for higher income from the land increase, potassium shortages are becoming more apparent and under intensive cropping many Ugandan soils would now be classed as 'potentially potassium deficient' (*Foster [49]*). In many experiments with coffee, mulching has been strongly recommended on the grounds of improving rainfall infiltration, moisture supply to the crop and nutrient status (*Jones, Robinson and Wallis [62]*; *Robinson and Hosegood [85]*). However, one wonders where all the necessary crop residues are coming from to mulch adequately all the perennial crops in East Africa. With the general absence or inadequacy of mulching materials on most farms, the need for potassium fertilisers for perennial crops is likely to increase. Another reason for greater potassium need after several years of cropping is that coffee and other tree crops are less efficient than the former forest or woodland in preventing leaching and in returning nutrients to the soil surface (*Nye [75]*; *Nye and Greenland [77]*; *Cunningham [37]*; *Ahn [2]*).

2. General nature of East African soils

The soils of East Africa were first described by *Milne et al. [69]* though their map was very incomplete and showed considerable areas with unclassified soils. Since then East African, particularly Kenyan soils have been described and mapped by *Scott [88]*. *Scott [89]* has also outlined the relationship between rainfall and base saturation in mature well drained soils in East Africa, suggesting that a rainfall of about 1125 mm (46 inches) gives optimum base saturation. Factors governing the carbon and nitrogen status of East African soils have been discussed by *Birch and Friend [31]*.

The nature and extent of the soils in Uganda have been described by *Harrop [56]* while *Stephens [100]* has summarised their fertility.

In Tanzania *B. Anderson [5]* described in detail the soils of the Kongwa and Nachingwea areas of the Groundnuts Scheme and the irrigable areas of the Rufiji Basin (*B. Anderson [6]*). He also gave a brief account of the main soils occurring throughout the country (*B. Anderson [8]*). *Le Mare [64]* summarised the fertiliser responses on the former Groundnuts Scheme areas. Later, *G. D. Anderson [17]* produced a soil map covering the whole of Tanzania, describing the agricultural potential of thirty-three major soil groups based on *D'Hoore's [39]* classification. In 1968, a (1:50,000) Soil Survey of the Southern and Eastern slopes of Mt. Kilimanjaro, was completed (*Anderson [13]*). Soil data on a wide range of soils growing maize in ten districts of Northern and Central Tanzania have been published [*Anderson [14]*]. Data for Western Tanzania have recently been discussed by *Moberg [70]*.

2.1. *Known Areas of Acute Potassium Deficiency*

With many East African Soils being derived from Pre-Cambrian rocks predominantly granitic in character, the potassium supply in proportion to other bases is often adequate in soils under natural vegetation. Soils on volcanic rocks being of Tertiary to Recent deposition have often been regarded as well supplied with potassium. However, the variation in potassium content of volcanic rocks in East Africa is very considerable. The effect of high rainfall causing leaching of potassium on Mt. Kilimanjaro (*Anderson [13]*) has produced some very striking responses to potassium application on beans (*Anderson [21]*).

The soils developed on the Neogene deposits along the East African coast, which are the coarser erosion products from the Pre-Cambrian Basement Complex rocks are among the most responsive to potassium. Responses have been noted on sisal (*Lock [1969]*), coconuts (*Anderson [11]*) and pastures (*Anderson [16]*) while application of potassium has also been recommended on cashew (*B. Anderson [7]*). Soils in need of potassium in this coastal belt (which extends into Kenya) range from clays to sands and include some developed on coral and Jurassic limestones.

Other areas acutely deficient in potassium have been found on the soils developed on sandstones under high rainfalls around Bukoba in Tanzania (*Evans and Mitchell [45]*) and acid sandy soils near Arua and Rubare in Uganda (*Stephens [100]*). In addition to these areas there are extensive tracts of potentially potassium deficient soils in Uganda (*Foster [49]*) and the same may be assumed for large parts of Tanzania when subjected to continuous cropping (e.g. *Anderson [18]*). The extent of potassium – need is thus dependant on the soils, the cropping system, crop need for potassium and the climatic conditions.

3. *Fertiliser response on crops*

3.1. *Perennial Cash Crops*

3.1.1. *Coffee*

Coffee is a major export crop of all three East African countries. Arabica coffee predominates at the higher altitudes and on the more fertile soils, while Robusta is often grown on moderate to strongly acid soils. Both prefer a well distributed rainfall of over 1000 mm annually, though good coffee is often grown under irrigation with lower rainfall than this.

Arabica Coffee. The value of grass mulches applied to Arabica coffee is well known. Most grasses contain considerable quantities of potassium and applied as mulch to coffee, this increases leaf potassium (*Jones, Robinson and Wallis [62]*; *Robinson and Hosegood [85]*). As a result of mulch, leaf nitrogen and phosphorus increased, whereas calcium and magnesium were consistently reduced in coffee leaves (*Robinson [82]*). Response to potassic fertilisers in trials on the volcanic soils of Kenya and Northern Tanzania have not been striking. Only nitrogen fertiliser appears to have given consistent responses on coffee, though *Warden [109]* recommends the application of sulphate of potash magnesia where mulch is not applied and provided nitrogen is given. Because most of East Africa's Arabica coffee is grown on fertile volcanic soils (eutrophic brown soils, ferruginous tropical soils and humic ferrisols) the need

for potassium application in many cases is not great, especially where grass or banana mulching is practised. However, there is little doubt that as beans showed striking responses to potassium on three out of nine soil associations on Mt. Kilimanjaro (*Anderson [21]*) unmulched coffee grown on these soils would likewise be responsive to potassium.

Robusta Coffee. With Robusta the need for potassium, though not clearly demonstrated, is likely to be considerably greater than with Arabica. Robusta coffee around Buboka in Tanzania is grown satisfactorily only with the help of the manure accumulated from extensive cattle grazings. It has also been shown that the soils around Bukoba are some of the poorest in nutrients in Tanzania (*Moberg [70]*) and give good responses to potassium on maize and grassland (*Evans and Mitchell [45]*). In Uganda much of the Robusta coffee is being grown in areas of at least 'potential potassium deficiency' (*Foster [49]*). Where not mulched these are likely to be responsive to potassium especially when this is applied with nitrogen fertiliser.

The position with regard to potassium needs on coffee may be summarised by stating that where organic mulches are not used, on the more acid soils there is likely to be some response to potassium fertilisation. This response will increase, the longer the land has been under cultivation and provided requirements of nitrogen (and in some areas phosphorus) are met. To avoid potassium/magnesium antagonistic effects in some localities it would seem best to apply potassium to coffee as sulphate of potash magnesia. This also supplies sulphur which may be beneficial in some coffee growing areas.

More experimentation is needed to determine optimum levels of potassium application under differing condition of soil, climate and management.

3.1.2. Tea

Like coffee, this is an important export crop of the three East African countries. Traditionally it has been grown on strongly acid soils of low fertility and nitrogen has been recognised as the main fertiliser to stimulate leaf production. The chemical and physical characteristics of tea soils in East Africa have been described by *Smith [90]* while the effects of fertilisers, sulphur and mulch have also been studied (*Smith [91]*). An application of 100 kg/ha of ammonium sulphate caused a loss of about 9 kg of potassium per annum in Tanzania. While removing shade trees increases the moisture supply thus making higher tea yields possible (*McCulloch et al. [68]*), greater fertilisation becomes necessary to make best use of the extra light. The published experimental evidence of potassium responses in yield of tea in East Africa has been rather meagre until recently. *Harler [54]* and *Child [36]* have pointed out that a 1000 kg crop of tea annually removes about 20 kg/ha of potassium. With perhaps 45 kg/ha lost through applying 500 kg of ammonium sulphate and the low potassium status of many tea soils especially in Uganda and Tanzania (*Smith [91]*), removal of potassium in the crop and high leaching could rapidly lead to soil exhaustion, if fertiliser potassium is not applied. In Malawi about 28 kg/ha of potassium is applied in the last year of the pruning cycle (*Child [36]*).

However, the *Tea Research Institute [105]* recommends much heavier dressings of a 25:5:5 compound fertiliser. If the response to a kilogram of applied nitrogen is less than 4 kg of made tea some other limiting factor than nitrogen is deduced to be responsible, provided the weather is reasonable. In most cases where tea fails to give such a response to nitrogen, potassium appears to be the major limiting factor. Calcium

ammonium nitrate, unlike ammonium sulphate, is reputed to induce potassium deficiency and is not generally recommended for use on tea. Based on the removal of nutrients in made tea and the yield potential of the area, Table 1 shows dressings of 25:5:5 NPK fertiliser recommended by the *Tea Research Institute [105]* for all tea grown on a soil with a pH of 5.8 or lower. On soils with pH above 5.8 only nitrogen fertiliser is recommended except where deficiency of other nutrients is known through leaf analysis.

Fertilisers higher in P and K (e.g. 20:10:10) supplemented by ammonium sulphate to supply the additional N and S are now being encouraged by the *Tea Research Institute of East Africa*.

Where symptoms of potassium deficiency are apparent on the tea bushes dressings ranging from 200 to 400 kg/ha of muriate or sulphate of potash are suggested according to the severity of symptoms.

Regular analysis of leaf samples is used as a continuous check on the availability and balance of nutrients. Potassium deficiency is limiting tea yield if leaf potassium contents are below 1.75% potassium in the first leaf with bud and 1.60% potassium in the third leaf (*Wilson [111]*).

3.1.3. Sugar Cane

This crop is grown in Uganda, Tanzania and Kenya the magnitude of production being in that order. As the bulk of the crop is taken from the field the removal of potassium is very considerable. However, with much sugar being grown on base-rich alluvial or volcanic soils in Tanzania, responses to potassium are unlikely to be high until potassium reserves in the soils are depleted. In Uganda however, the Nakabango and Mabira soils (*Radwanski [81]*) on which much sugar is grown are derived from amphibolite and are low in potassium in proportion to calcium and magnesium. While some sugar estates in Uganda use potassium fertilisers there seems little reported evidence to indicate the magnitude of the response they achieve (*Stephens [100]*). Increasing use of nitrogen fertilizer will undoubtedly increase the need for potassium due both to the removal of heavier crops and greater losses of potassium in the drainage water. Potassium deficiency has been shown to reduce the translocation of carbon from the sugar leaf (*Hartt [55]*), so that sugar production is profoundly affected by potassium shortage.

In leaf tissues of three to seven month old cane the potassium considered adequate for maximum yields of cane has been shown to vary between about 1.3 and 1.65% in various countries (*Vlitos and Lawrie [108]*). The figures quoted for Queensland by *Yates [112]* are similar, being 1.69 and 1.44% of K for low and high phosphorus contents respectively.

Table 1. Recommended Dressings of 25:5:5 NPK Fertiliser to Maintain Tea Yields

Yield Potential (kg made tea/ha)	25: 5:5 NPK Fertiliser	
	kg N/ha	kg NPK Fertiliser/ha
1000.....	100	400
2000.....	200	800
3000.....	380	1520

3.1.4. Sisal

For many years, Tanzania's main export crop has been sisal, though with recent competition from synthetic fibres it has suffered a decline. The crop is reported to remove 79 kg of potassium per ton of fibre produced (*Lock [66]*). As the sisal leaf is particularly high in calcium (about 3.00% of the dry matter) it is not surprising that lime applications have usually had the greatest effect in improving yields, especially on acid soils. However, 'Banding Disease' due to potassium deficiency is quite common and can occur on such a variety of soils as red earths over both coral and gneiss, acid red sands, fertile loams and the black and grey clays of depressions (*Osborne [78]*). It has not been recognised on potassium-rich volcanic soils of Northern Tanzania but does occur on the older volcanic red earths of the Kenya Highlands. Four trials have shown an average increase in yield of sisal of 63% in response to applications of 250 kg/ha of K_2O over 5 years. Potassium levels below 0.5–0.6% of the dry matter in a Morgan's extract of oven dried leaves are regarded as critical (*Lock [66]*). With the increasing need for lime to restore the productivity of sisal land 'mined' for many years, it is likely that much greater quantities of potassium will be needed to correct lime-induced potassium deficiency in the future.

3.1.5. Coconuts

In East Africa coconuts are grown mainly along the coast but are also found near the lakes and rivers. On the sandy soils of the Tanganyika coast their growth and yield are very poor. In an observation trial on the effect of N, P, K and lime dressings on the height of 8 year old coconuts which were still not bearing when the trial started, potassium was seen to produce striking increases in heights within 18 months of the fertiliser application (*Anderson [11]*). The rates of fertiliser application were:

N at 0.315 kg/palm as ammonium sulphate.

P at 0.458 kg P_2O_5 /palm as double superphosphate (42% P_2O_5).

K at 0.654 kg K_2O /palm as muriate of potash (60% K_2O).

Lime at 6.765 kg/palm of ground limestone (52% CaO).

The results are reproduced in Table 2. It is noteworthy that the LNP treatment gave slightly less increase in height than the control, while all the treatments receiving potassium were distinctly superior, averaging about double the height increase of the control and LNP treatments.

A 2^3 NPK factorial experiment with the same rates of N, P and K as above was also laid down on bearing palms and the yields after 14 months are reproduced in Table 3. Over the 4 years of data collection following the single fertiliser application the K only treatment increased mean yield of nuts by 22.3% while the NK treatment yielded 30.5% better than the control (*Anderson*, unpublished data). As also found by *Smith [92]*, potassium increased yield within a year of application by encouraging

Table 2. Mean Increase in Heights of Eight Year Old Coconut Palms 18 months after Fertiliser Application

Fertilizer Treatments	NPK	LNK	LNP	Control	LPK	LNP
Mean Height Increases (m) . . .	2.3	1.8	2.4	1.1	2.1	0.9

retention and greater size of nuts. Where N is applied without K the mean weight of nuts is much reduced.

The East African coast has extensive areas of soils low in potassium. This has been indicated during investigations into Tanzania soft-wood sites (*Anderson [12]*), a study of cashew soils near Kilwa (*B. Anderson [7]*) and the responses of groundnuts to potassium in Kenya's coast Province (*Tag et al. [104]*). Not all soils in this coastal belt however, would respond to potassium application and further work is needed to define and map the soils and measure the K response on crops, particularly coconuts, cashew, maize, cassava and pastures.

3.2. Other Perennial Crops

3.2.1. Pastures

Though pasture is not generally regarded as a cash crop, its influence on the production of meat and milk make it increasingly valued in many parts of the world. It has long been realised that cutting and removing fodder from a field can greatly accelerate potassium depletion (e.g. *Stephens [95]*). Potassium removal under grazing conditions is much less, and deep-rooted grasses return much potassium to the soil surface (*Stephens [100]*; *Jones [61]*). However, striking responses to potassium application have been shown on soils which are acutely short of the element (*Evans and Mitchell [45]*; *Anderson [16]*). Marked changes in botanical composition and basal cover of pasture beneath the fertilised coconuts occurred at Tanga on the Tanganyika coast. Muriate of potash increased the dry matter and crude protein production of the sward above that of superphosphate alone (*Anderson [16]*). Legume dry matter and crude protein production were also higher on the PK treatment than on the NPK treatment. It was shown that the application of phosphorus and potassium fertilisers to pastures beneath coconut palms could bring about a chain of improvement which could revolutionise both coconut growing and cattle keeping on these sandy soils.

In Uganda potassium shortage has been shown to limit both elephant grass ley and subsequent crop yields if only nitrogen and phosphorus fertilisers are applied when the sward is cut and removed (*Stephens [95]*; *Foster [48]*). Elsewhere in East Africa the

Table 3. Yields of Mature Coconuts within 14 months of Applying Fertilisers

Treatment	Mean No. of nuts/tree	Mean yield of nuts kg/tree	Mean weight per nut (kg)
Control	28.2	14.39	0.51
N	37.3	17.22	0.46
P	39.4	20.07	0.51
K	33.8	17.06	0.50
NP	33.8	15.29	0.45
NK	41.0	23.52	0.57
PK	34.2	17.64	0.52
NPK	37.1	20.16	0.54
LSD			
P=0.05	2.8	2.21	-
P=0.01	3.8	3.84	-
P=0.001	4.8	6.40	-

effects of potassium fertilisers on pastures have not been extensively tried. On the fertile potassium rich soils of Northern Tanzania potassium shortage is not likely to limit pasture growth for a long time (*Anderson and Naveh [23]*). The same is probably true of many of the volcanic soils in the Kenya Highlands. In many other drier parts of East Africa where soils have a low exchange capacity and potassium status, the indications are similar to those on many Ugandan soils that with the use of nitrogen and phosphatic fertilisers and heavy crop removal, potassium is soon required (e.g. *Anderson [10]*). With the prospect of much greater use of legumes in East African pastures (*Horrel [60]*; *Anderson and Naveh [23]*; *Anderson [15]*; *Strange [103]*; *Morrison [72]*; *Stobbs [101]*) the need for potassium is likely to increase. As *Dovrat [41]* has shown, some legumes have a much higher demand for potassium than Rhodes grass, which has been one of the most widely sown grasses in East Africa.

3.2.2. Bananas

Though this crop is the staple food of the majority of people in Uganda and many in Tanzania and Kenya, it has received very little attention from research workers in East Africa. This is partly because of the time needed for yields to be obtained and the difficulty of continuous harvesting throughout the year. However, the banana has a high potassium requirement and K deficiency symptoms are commonly observed on the more acid soils of the eastern and south eastern slopes of Mt. Kilimanjaro (*Anderson [13]*) and also in parts of southern Uganda. The soils of the West Lake region of Tanzania, where the banana is the staple food, are also very low in potassium (*Moberg [70]*) and striking responses on grassland and maize have been found (*Evans and Mitchell [45]*).

Fertiliser studies on bananas were begun on four sites in Uganda and one near Bukoba, Tanzania in 1968, but unfortunately staff changes have not facilitated the optimum collection of data. Also, there was an over-emphasis on the effect of mulch and dung in the initial layout and though potassium treatment has been included at a later date the effect of potassium is not yet clear because the response is negligible on dunged and mulched plots. However, some preliminary results (*Moe [71]*) indicate a striking response to mulch at Kabanyolo, the Makerere University Farm (Table 4). As there is little response to nitrogen or phosphatic fertilisers, much of the 43.5% response to mulch may be ascribed to the potassium content of the elephant grass. From a study of leaf analyses *Mwoga [74]* has suggested that the Bukoba, Tanzania site, is acutely deficient in potassium. At three of the four Uganda sites, K also increased considerably in the banana leaves on the mulch and dung treatments. Only one of the five sites had K levels approaching those suggested as adequate (3.15% K) by *Twyford and Coulter [107]*).

Table 4. Effects of Treatments on Bananas during 1970/71 (approx. 24 months)

Treatment	Mulch (6 in. layer of grass annually)	Dung (99.6 t/ha at planting)	N (198 kg N/ha twice annually)	P (87 kg P/ha twice annually)
Response kg/ha	28270	3870	-220	-519
% Response	43.5	4.7	-0.2	-0.6

3.3. Annual Cash Crops

3.3.1 Cotton

Cotton is a major export crop of Uganda and Tanzania and appreciable amounts are grown in Kenya also. Many early fertiliser trials carried out on cotton in Uganda (e.g. *Stephens [97]*; *Foster [51]*) did not test the response to potassium but later cotton did respond to potassium (*Stephens [99]*). Where land resting and dung were used as a treatment in Tanzania (*Peat and Brown [79]*) potassium was not included as a fertiliser treatment. In Western Tanzania however, *Le Mare [65]* has shown that compost (supplying some P, K, Ca and N) could maintain cotton yields for 6 years, but that both compost and superphosphate were needed to maintain them for 9 years. Thereafter, lime was necessary to maintain yields and without it yields declined in years of heavy rain, whereas with lime, yields were largest in a wet year. When lime was applied, potassium increased seed cotton by 213 kg/ha and the PK interaction was 147 kg/ha. Potassium had no effect if compost was applied. The conclusion was that compost contains insufficient lime in proportion to potassium for the cotton crop. One danger of too high application of potassium chloride on acid soils seems to be, that the chloride ion makes manganese more available causing manganese toxicity (*Le Mare [65]*). Liming would therefore seem essential for balanced fertilisation of cotton on these soils. The needs for potassium in the absence of compost, mulch or resting period are however, likely to be as acute as the need for lime. Neither 5-year rest periods or cattle manure (*Peat and Brown [80]*) or the 3:3 rotation in Uganda (*Jones [16]*) are any longer practical propositions for maintaining cotton yields for many farmers, as land shortage is becoming more acute all the time. After 2½ years of arable cropping *Janes [61]* found a loss of 128 kg potassium from the topsoil and accordingly recommends a 2:2:1 mixture of single superphosphate, calcium ammonium nitrate and muriate of potash applied at an annual rate of 627 kg/ha to maintain cotton yields. This supplies approximately 51.5 kg nitrogen, 22.0 kg phosphorus, 31.5 kg sulphur, 67.2 kg potassium and 78.5 kg calcium per hectare.

3.3.2. Tobacco

This is the crop which most responded to potassium in the initial cropping of the groundnut scheme areas of Tanzania (*Le Mare [64]*). In Iringa District of Tanzania, *Akehurst and Sreedharan [4]* found little response to potassium application but still recommend about 30–50 kg/ha of K₂O as sulphate of potash to help the leaf quality of the tobacco. The sulphate form is preferred because of the bad effects of excessive chloride ions on tobacco leaf quality (*Akehurst [3]*). With greater intensity of cropping and increased use of other fertilisers the requirements of tobacco for K are likely to increase.

3.4. Annual Food Crops

3.4.1. Maize

Many of the earlier experiments with maize have emphasised the need for nitrogen and phosphorus and the importance of the NP interaction (e.g. *Le Mare [64]*; *Evans [43]*; *Evans [44]*). Only in the Bukoba area of Tanzania were striking maize responses to potassium noted (*Evans and Mitchell [45]*). Newly cropped lands in the woodland and savannah zones do not seem very responsive to potassium in the early years of

cropping. In trials carried out for a single year on farmers' fields *Scaife [87]* found only one response to potassium on maize in Western Tanzania despite the low potassium status of many of the soils of this area. Possible explanations for this lack of response to potassium are likely to be that the soils had not been continuously cropped on most of the trial sites, and also, that other nutrients (N, P and Ca) are low in proportion to potassium. The early pattern of maize responses in Uganda on single season trials has been similar to those in Tanzania, but potassium became more important with increasing time, following the rest period under grass (*Stephens [98]*). In Kenya too the main fertiliser responses on maize have been to nitrogen and phosphorus and the recommendations have been to use N and P only (*Bellis [29]*). Indeed, the FAO demonstration trials (*Tag et al. [104]*) did not include any potassium applications to maize despite some response to potassium on potatoes, beans and groundnuts in certain areas.

This preoccupation with nitrogen and phosphorus and the NP interaction on maize throughout East Africa has no doubt been due to the large response often resulting from these. However, it is now evident that simply applying nitrogen and phosphatic fertilisers to maize is inadequate on many soils where the land has been cropped for several years after a resting period. In semi-arid Tanzania, while application of 73 kg/ha potassium gave a slight response in the first three years of maize cropping, it became more important in the fourth and fifth season (*Anderson [18]*). Also on East Kilimanjaro and the coastal plain some of the response of maize to compound fertilisers has been ascribed to their potassium content (*Anderson [14]*). In Uganda too, areas where potassium is potentially deficient can now be identified and significant yield increases have been obtained after 4 years of cropping (*Stephens [98]*; *Foster [52]*). As *Loué [67]* and *Drysdale [42]* have shown, the potassium demand of a 6000 kg maize crop is at least 90 kg/ha, though a considerable amount of this may be returned to the field in the stalks and leaves. It is not surprising that in Zambia, *Ballantyne [26]* reported that the commercial maize producer applies 120:40:20 on a plant population of about 44,000 per hectare and the *Soils Advisory Section [93]* recommends potassium for maize in every region except the southern. In the light of the above findings and responses to potassium on other crops, the FAO trials in Kenya (*Tag et al. [104]*) appear to need some revision to include potassium. It is likely that with adequate nitrogen and phosphate dressings and the use of hybrid seed, potassium responses on maize will become much more widespread in East Africa.

3.4.2. Wheat

Wheat in East Africa is usually grown on the more fertile volcanic soils (mainly eutrophic brown or ferruginous tropical soils) so that most experiments have been with nitrogen and phosphatic fertilisers (*Bellis [29]*; *Anderson, Houston and Northwood [22]*; *Foster [53]*). On two experiments in the Mbulu District of Tanzania however, there was a response of 127 kg/ha wheat to an application of 63 kg of potassium as muriate of potash above the NP treatment and responses to potassium are also likely on some of the potential wheat soils in the southern highlands of Tanzania, particularly where soils are moderately acid.

In general it is suggested that wheat may respond to potassium application in areas where the soils are tending to be more acid than the traditional wheat lands of East Africa. Also, with almost continuous cropping being common in many wheat areas, sometimes with two crops annually, it may not be long before some of the more

fertile wheat lands respond to potassium application. Further experiments are needed to check that potassium shortage is not limiting yields in intensively cropped and new wheat areas.

3.4.3. Groundnuts

In the numerous experiments conducted on the Groundnuts Scheme in Tanzania there were few indications of response to potassium fertilisers (*Le Mare [64]; Evans [43, 44]*). Indeed the total potassium in a 1000 kg groundnut crop was found to be only about 29 kg/ha and only about 6 kg of this was in the kernels (*Bunting and Anderson [35]*). Where tops are left on the field therefore, the potassium removal is small. However the total uptake of phosphorus by a groundnut crop at Kongwa, Tanzania, was only about 4 kg/ha and yet phosphorus responses are probably the most widespread on groundnuts. In Uganda too, experiments on groundnuts have usually been to test the effect of phosphorus (*Foster [50]*). Some rather poor correlations of phosphorus response with phosphate data from some trials within districts may well be partly explained by differences in potassium levels in the soils, particularly as the period since the land was rested affects the potassium status (*Stephens [93]*). In Kenya fortunately, widespread trials with groundnuts using phosphatic and potassic fertilisers have been carried out [*Tag et al. [104]*] and the results of the 1970 trials are recorded in Table 5. It is clear that in some cases groundnuts give a greater response to potassium when applied in the presence of phosphorus than to phosphorus application alone.

The importance of lime in helping filling of groundnuts has been recognised for some time and certain varieties grown on acid soils are susceptible to the deficiency disease known as 'Pops' in Zambia. *Herbert [59]* has summarised the results of trials conducted on groundnuts in Zambia. He states that when the exchangeable calcium falls below a level of 1.0–1.5 me/100 g, applying potassium gives rise to increased pops. When the K/Ca ratio in soil (expressed as me%) increases above 0.2, pops occurs with increasing severity. A depressive effect of potassium on groundnut yield when the above conditions prevailed was observed over 4 years in Central Tanzania (*Anderson [19]*) when the potassium only treatment yielded considerably less than the control with both Natal Common and Dodoma Bold varieties. However, it is noteworthy that the LPK treatment yielded best with both varieties, 60 kg/ha giving a total of 292 kg/ha more than the PL treatment over 4 years with the Natal Common. This shows that even in semi-arid areas when the needs for phosphorus and lime are satisfied there is often a response to potassium. It may well be that when calcium and phosphate requirements of groundnuts are satisfied in Uganda, responses to potassium will be much more widespread. Supporting the general conclusion that where other nutrients are adequately supplied response to potassium will often occur, *Anderson [20]* found that 4 out of 10 Zambian soils gave marked responses to potassium on groundnuts grown in pots.

3.4.4. Beans

Beans (*Phaseolus vulgaris*) are recognised as more nutrient demanding than groundnuts. Fertiliser trials involving lime, phosphorus and potassium have seldom been carried out in East Africa and most trials have been with nitrogen or phosphorus (e.g. *Stephens [96]; Leakey [63]*). On Mt. Kilimanjaro however, *Anderson [21]* used beans as a test crop of soil fertility over a range of soils and found marked responses

Table 5. Responses of Crops to Potassium in Kenya (after Tag *et al.* 1972)

	No. of trials	Mean response to		Additional response to K in presence of P
		P	PK	
Groundnut responses (kg/ha)				
<i>Western Province</i>				
Kakamega District	14	166	351	185
Bungoma District	9	324	355	31
Busia District	11	166	402	236
<i>Nyanza Province</i>				
Kisii District	11	223	305	82
Siaya District	11	194	356	162
Kisumu District	17	335	570	236
Homa Bay District	15	369	343	— 26
<i>Coast Province</i>				
Taita District	3	6	1122	1116
Kwale District	3	171	221	50
Bean responses (kg/ha)				
<i>Eastern Province</i>				
Machakos District	10	129	317	188
Kitui District	2	162	357	195
<i>Central Province</i>				
Kiambu District	4	238	584	346
Kirinyaga District	5	271	381	110
Nyeri District	2	255	622	367
Muranga's District	2	387	580	193
<i>Nairobi District</i>	3	366	671	305
Soya bean responses (kg/ha)				
<i>Western Province</i>				
Kakamega District	10	115	175	60
Bungoma District	7	185	292	107
Busia District	5	152	226	74

to potassium (greater than 23%) on 3 out of 9 soil associations. While some soils had depressions in yield when potassium was applied alone, the PK treatment produced the highest yields overall being 58 kg/ha better than the P only treatment in response to an application of 65 kg K/ha.

In Kenya also responses to potassium in the presence of phosphorus have often been striking with beans and some data after Tag *et al.* [104] are given in Table 5 together with a few data on soya. While only a few experiments with beans in Uganda have included a potassium treatment and responses to potassium immediately after land resting have been few, after 4 years of cropping beans showed an increasing response to potassium on a variety of soils (Foster [52]). In Zambia too beans grown in pots proved to be much more responsive than groundnuts to potassium, 6 out of 8 soils

giving striking responses to potassium in the presence of other nutrients except nitrogen (*Anderson [20]*).

The general picture with beans may be summarised by saying that on many East African soils including some of the more leached volcanic soils, beans will respond to moderate potassium applications, provided phosphorus, sulphur and lime are adequate. Some of the poor nodulation, poor nitrogen fixation and the responsiveness to nitrogen fertilisers with beans, is often due to the inadequacy of one or more of the above elements, including potassium.

3.4.5. Potatoes

This crop is only grown in selected areas of Tanzania and Uganda and few experiments incorporating a potassium treatment have been carried out in these countries. In Kenya however, some striking responses to potassium have been found (*Tag et al. [104]*) and these are summarised in Table 6. Some responses occur on soils which are relatively well supplied with potassium showing the high demand of the potato crop, particularly when reasonably well supplied with nitrogen and phosphatic fertilisers.

3.4.6. Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas*)

Like the European potato, sweet potatoes are heavy potassium feeders and responded to potassium better than any other crop in the permanent fertiliser trials in Uganda (*Stephens [99]; Foster [52]*). The average response over the first 4 years after the resting period was 12% but this increased to an average of 51% over the fifth to eighth years of cropping. Potassium deficiency symptoms have been described by *Bolle-Jones and Ismunu-dje [32]* and these have been observed, like those on bananas in crops on the more acid soils of Mt. Kilimanjaro.

Table 6. Responses of Potatoes to Potassium in Kenya (kg/ha) (after *Tag et al. 1972*)

	No. of trials	Means response to		Additional response due to 60 kg K ₂ O/ha
		NP 60:60:0	NPK 60:60:0	
<i>Rift Valley Province</i>				
Keiyo Markawet District.....	(4)	3373	5712	2339
Baringo District.....	(2)	2947	6260	3313
Kajiado District.....	(2)	480	1333	853
<i>Eastern Province</i>				
Embu District.....	(5)	3271	3941	670
Meru District.....	(7)	3067	3243	176
<i>Central Province</i>				
Kiambu District.....	(8)	1488	2553	1065
Kirinyaga District.....	(10)	3406	4213	807
Nyeri District.....	(8)	2759	7530	4771
Muranga's District.....	(10)	4057	7878	3821
Nyandarua District.....	(4)	5299	6638	1339
<i>Coast Province</i>				
Taita District.....	(4)	3267	3325	58

4. Factors influencing the response to potassium

4.1. Environmental Factors

Climate may be expected to influence the response of crops to potassium as it does with other nutrients. The effect of alternate periods of wetting and drying (*Birch [30]*) through its influence on microbial activity, as well as leaching is bound to influence the response to applied potassium. Wetting and drying cycles have been shown by *Wild [110]* to release exchangeable potassium in Nigeria. Rainfall prior to and during the growing season will affect the potassium response as it does the nitrogen response (*Anderson, Houston and Northwood [22]*) though perhaps to a less extent. As *Loué [67]* suggests with maize, the response to potassium fertilisers is limited in semi-arid regions but in more humid zones the response is usually considerable, particularly on soils with a low level of exchangeable bases. The effect of increasing rainfall on potassium response on beans has been well seen in the different altitudinal zones on Mt. Kilimanjaro (*Anderson [21]*). Under high rainfall conditions the response to potassium application may be expected to increase due to leaching from leaves of the crop plants as well as the leaching of the soil. In the drier parts of East Africa, because of lower yields, less leaching and usually less intensive cropping, potassium responses are smaller as is the case in the savanna zone in Nigeria (*Heathcote [57]*). Nevertheless, under continuous cropping they do occur (e.g. *Anderson [18]; Foster [52]*).

Any environmental factor which limits crop yields may be expected to reduce the response to potassium. For example, shade trees have been shown to reduce yields of tea (*McCulloch et al. [68]*).

4.2. Soil Factors

Many of the soils of East Africa are strongly weathered and leached. This means that while the amount of potassium present in proportion to other bases when first cultivated may be considerable, there is a low capacity to hold nutrients and under cropping potassium is rapidly taken up by the crop or leached in the drainage water (e.g. *Anderson [18]*). As the dominant clay mineral in many of the non-volcanic soils of East Africa is kaolinite or metahalloysite, there is little illite available to fix potassium (*Beckett [27]*) and much of the potassium like most of the other nutrients is probably associated with the organic matter as *Foster [47]* has found in Uganda. Over many of the more acid, mature soils in East Africa (ferralsols and ferrallitic soils) potassium fixation is probably slight. Thus most of the applied potassium in these soils of low buffer capacity will be available to plants and potassium release from non-exchangeable sources may be small as in Rhodesia (*Salmon [86]*).

4.3. Cropping History and System

As has been emphasised throughout the survey of potassium responses on the various crops, the length of the period since the land was under a resting grass or bush fallow, has an important influence on the response to applied potassium. This is particularly so on some of the more acid 'potentially potassium deficient' soils in Uganda (*Foster [40]*), though less the case on fertile volcanic soils high in potassium (e.g. *Anderson, Houston and Northwood [22]*). Response to potassium has been shown to in-

crease with the time and intensity of cropping following the resting period or clearing from bush (*Stephens [98]; Le Mare [65]; Anderson [18]; Foster [52]; Jones [61]*). The same has been found in Northern Nigeria (*Heathcote and Stockinger [58]*). Perhaps part of the reason for the limited responses to potassium in many of the earlier trials was that so often experiments were chosen on virgin or after-fallow sites which were least disturbed and these probably had better than average supplies of potassium. Under bush fallow or grassland which is not cut and removed, the potassium status of the topsoils has been found to increase (*Stephens [100]; Anderson [16]; Jones [61]*). When pasture leys were grazed the yields of subsequent crops compared with those following ungrazed leys were greater (*Stobbs [102]*), indicating that in ungrazed pastures and fallows the nutrients were less available to crops immediately following, being more locked up in the vegetation than under grazing conditions.

4.4. *Nature of the Crop*

Another important factor affecting the response to potassium fertiliser is the nature of the crop being grown and its demand for potassium in relation to other nutrients. It is well known that crops possessing large storage organs composed mainly of carbohydrate respond well to potassium. So it is not surprising that in East Africa sweet potatoes, potatoes, bananas and maize appear to be some of the most responsive crops. Crops which are largely and continually removed from the field also make heavy potassium demands. Thus, sugar cane, tea, tobacco and pastures cut for hay or silage also have a considerable need for potassium. These are the crops on which potassium may be expected to be most responsive and the evidence available in East Africa suggests that this is so. In contrast, crops which remove little potassium in their harvested parts and have relatively low nutrient demands (e.g. groundnuts) are generally less responsive to potassium application.

4.5. *Effect of Fertiliser Balance*

In many of the coarse textured soils of low exchange capacity in East Africa, the application of too much potassium can seriously affect uptake of other nutrients particularly calcium, magnesium and phosphorus. On groundnuts for instance, the application of potassium alone had a depressive effect in a semi-arid area (*Anderson [19]*), but in the presence of lime and phosphorus gave some response, particularly in years of reasonable rainfall. A similar pattern of depressions in bean yield when potassium was applied alone was apparent on some soils on Mt. Kilimanjaro (*Anderson [21]*). Again, when potassium was applied together with phosphorus or lime there was little or no depression. In this case, the antagonistic effect of potassium has been shown to induce magnesium deficiency in beans (*Anderson [9]*). The same effect of applied potassium on leaf magnesium levels has been shown in coffee, due to mulching (*Robinson [82]*). The depressive effects of potassium or mulch on groundnuts has often been attributed to antagonism with calcium (*Herbert [59]; Ashrif and Thornton [25]*). On many of the coarser textured soils of low exchange capacity in East Africa therefore, potassium needs to be applied as light dressings. These may require to be rather more frequent than on fine textured soils, where non-kaolinitic clays may fix potassium and heavier less frequent dressings may be appro-

priate. Besides causing nutrient imbalance, heavy single dressings on soils of low exchange capacity will also be subject to greater loss of potassium by leaching. A further factor influencing the potassium needs of crops is the nitrogen supply. As shown with coconuts (*Anderson [11]*) and tea (*Wilson [111]*) the effect of nitrogen may often be enhanced by potassium application. Increasing the level of potassium often helps in the utilization and translocation of nitrogen by the leaf, offsetting the ill effect of high levels of nitrogen application such as disease susceptibility. The well known effect of nitrogen in increasing potassium uptake and removal has been shown to occur with maize in Tanzania (*Anderson [18]*). It is fairly certain that the continued use of nitrogen and phosphatic fertilisers alone, will sooner or later lead to a need for potassium fertilisers on almost all but the most potassium-rich soils.

5. Soil and plant analysis as a guide to potassium response in East Africa

5.1. Soil Analysis

Correlative work between soil analysis and crop response is still much in its infancy in East Africa. All too often fertiliser experiments have been put down without any prior study of the soil or of how representative the experimental site is of the area, or of the nutrient needs of the particular crop. Analytical criteria for methods which have been found of some value in predicting responses on certain soils have been applied to other soils of very different character in the hope that the same criteria would be of prediction value. The value of soil analysis in assessing the fertility of tropical soils and the lack of thorough going attempts to correlate soil analysis with a systematic programme of fertiliser trials has been discussed by *Nye [76]*. An added difficulty with East African attempts to correlate crop responses with soil data has been the great variability of East African Soils. *D'Hoore [39]* lists as many as 29 major soil groups in Tanzania alone – more than in any other country in Africa – and *Anderson [17]* has shown that his list is not exhaustive.

Attempts to correlate soil analysis with crop response have been mainly with the elements phosphorus (*Le Mare [64]*; *Addiscott [1]*; *Foster [50]*) and nitrogen (*Robinson [83]*) However, the criteria suggested for potassium by *Nye [76]* may be taken as a guide. He suggests that potassium deficiency is likely to occur when the potassium saturation of the exchange complex falls below 1.5% and points out that there is no definite relationship between the actual amount of exchangeable potassium and potassium response. This would seem true in East Africa where until recently an exchangeable K below 0.2 me/100 g was thought to be the critical figure. Below this in fact, *Wild [110]* has recently found good correlation with K uptake by grass. However, on volcanic soils of high exchange capacity *Anderson [21]* found potassium responses occurred on beans where the pH (M/100 CaCl₂) was below 5.6, the base saturation below about 75%, but with exchangeable potassium up to 0.72 me/100 g. Responses were striking where exchangeable potassium was less than 2% of the exchange capacity. More recently, in Uganda, *Foster [52]* has shown on mature soils of low exchange capacity, that with less than 0.46 me/100 g of extractable K (i.e. approximately exchangeable) soils were potentially potassium deficient and responded after a few years of cropping. Below 0.25 me/100 g, striking responses to potassium

application occurred. Similar criteria have been found with response to potassium on cotton in Brazil (*de Freitas et al. [38]*) who state that responses occur on soils below 0.3 me/100 g of nitric acid extractable K or where K saturation is less than 4%. Large responses were probable if potassium fell below 0.1 me or if potassium saturation was less than 1.5%.

Several East African workers have found pH a useful guide in predicting potassium response. *Stephens [99]* found pH was the best indication of site response to both phosphorus and potassium. *Anderson [21]* found that pH and percentage base saturation were the best correlated with percentage response of beans to phosphorus, potassium and lime. *Foster [47]* showed high correlations of many soil parameters in Uganda with the pH and organic matter content and later (*Foster [49]*) suggested that potassium responses were unlikely on soils with pH below 5.2 (water paste method). So far no one seems to have correlated the intensity and capacity factors of soil potassium with crop response in East Africa as has been done elsewhere (*Tinker [106]*; *Beckett and Nafady [28]*; *Arnold, Tunney and Hunter [24]*). This is a field which promises better correlations than traditional analytical methods over a wide range of soils.

5.2. Plant Analysis

Leaf analysis of quick growing annual crops has the disadvantage of a short time for correcting any deficiency in the crop before it matures. Often, results are applicable only to subsequent crops. With perennial crops however, regular and systematic leaf sampling can be a very useful guide to fertiliser requirements. This has been most used in East Africa with tea (*Wilson [111]*), coffee (*Robinson [82]*; *Butters [34]*) and sisal (*Lock [66]*), but offers considerable possibilities with other perennial crops. For instance leaf analysis has been used on bananas (*Murray [73]*; *Twyford and Coulter [107]*), sugar cane (*Vlitos and Lawrie [108]*; *Yates [112]*), coconuts (*Smith [92]*), fruit crops (*Bould [33]*) and could well be used on pastures also. The sources of variation in the leaf analysis of several crops grown in East Africa has been discussed by *Robinson and Freeman [84]*. It appears that the coefficient of variation with regard to potassium is generally next to that of nitrogen which is usually lowest.

Some indications of critical leaf levels for potassium derived in East Africa (or where not available, from elsewhere) are given in Table 7. It may be seen from these data that those crops which keep their leaves longest (sisal and coconuts) have the lowest critical levels, while those whose leaves are sampled when fairly young (e.g. bananas) are highest. This is in line with the well known pattern of decreasing potassium in leaves of plants as they mature. The importance of sampling at comparable stages of growth, light intensity received by the crop and position of leaves on the plant cannot be overstressed in foliar diagnosis of deficiencies. Given systematic sampling, the techniques can be very useful and complementary to soil analyses as well as increasing our knowledge of potassium removal by crops.

Table 7. Critical Leaf Contents of Potassium for Various Crops

Crop	Source	% K in leaf	Sampling details
Coffee	<i>Robinson 1961 (82)</i>	Less than 1.5 low Less than 1.0 very deficient	11-16th node pairs
Sugar Cane	<i>Vlitos and Lawrie 1963 (108)</i> <i>Yates 1965 (112)</i>	Less than 1.2 to 1.65 in different countries 1.44 or 1.69 depending on whether P high or low respectively	leaf tissues of 3-7 months old sugar dry lamina of top visible dewlap
Tea	<i>Wilson 1969 (111)</i>	1.75 1.60	in first leaf with bud in third leaf
Coconuts	<i>Fremond 1965 (46)</i> <i>Smith 1969 (92)</i>	0.8 0.8	fully open leaves of bearing palms frond subtending bunch 8
Bananas	<i>Murray 1960 (73)</i> <i>Twyford and Coulter 1964 (107)</i>	2.7 adequate 2.1 severe deficiency 3.15 adequate	third leaf from top middle lamina of fourth leaf
Beans	<i>Anderson 1964 (9)</i>	below 1.8 and K/Ca ratio below 1.0 deficient	fully open upper leaves at flowering stage
Sisal	<i>Lock 1970 (66)</i>	0.5-0.6	Morgan's extract of oven dry leaf

6. Conclusion

Early indications of favourable potassium supply except in a few acutely deficient soils has caused experimenters and farmers to ignore needs for potassium in many parts of East Africa. Experiments in the past decade have shown potassium deficiency to be much more widespread than hitherto and that the need for potassium increases in proportion to the intensity of cropping even in semi-arid areas where potassium traditionally has given least response.

Crops which are now recognised as having a considerable need for potassium fertiliser, at least on some soils in East Africa include tea, sugar cane, bananas, coconuts, sisal, tobacco, potatoes, sweet potatoes, maize, beans and pastures (particularly if cut for silage or hay). Even crops such as cotton and groundnuts which appear less demanding of potassium have been shown to respond if grown for several years without a rest period under grass or bush fallow.

Potassium response appears to be considerable when the soil exchangeable potassium represents less than about 2.0% of the exchange capacity, especially when the exchangeable potassium is less than about 0.5 me/100 g. The adequate soil level however, depends on the crop and the climatic conditions together with the nature of the soil

clays and forms of potassium present. Critical leaf data likewise vary with the nature of the crop, stage of growth, technique of leaf sampling, climatic conditions and bearing pattern.

Soil analytical techniques such as the determination of cation activity ratios and the concepts of nutrient potential and capacity need to be considered in future attempts to obtain better correlations with soil analysis over a wide range of soils. At the same time there is need to relate fertiliser trials to defined soil types and soil maps in order to understand and apply the results. A wide scatter of trials on farmers' fields is required to give the best appraisal of soil types. Permanent fertiliser experiments should be carried out over long periods (8 to 10 years) to assess the changes in the soil and fertiliser requirements under different cropping systems. The nutrient requirements and removals of crops need to be studied in relation to their place in rotations. Fertiliser requirements of long term perennial crops like coffee should be assessed in the light of the nutrients available and cycling within the whole soil profile and the crop tissues.

Up to the present, crops in East Africa seem generally to have been exploitive of soil potassium reserves, which are often small. With increasing cropping-intensity, more nutrient-demanding varieties and improved cultural techniques, including greater use of nitrogen and phosphatic fertilisers, the demand for potassium is likely to increase markedly in the next few years.

References

1. *Addiscott, T. M.*: Relationship of Yields of Maize and Cotton and their response to Phosphate Fertiliser, with Soil Phosphate Potentials in Tanzania. *J. agr. Sci.* 72, 401-403 (1969).
2. *Ahn, P. M.*: West African Soils. *West African Agriculture I*, 332, OUP.
3. *Akehurst, B. C.*: Tobacco, p. 551. Longmans Group Ltd. London and Humanities Press New York 1968.
4. *Akehurst, B. C. and Sreedharan, A.*: Application of Mineral Fertilisers to Flue-Cured Tobacco in the Iringa District of Tanzania. *Expl. Agric.* 2, October, pp. 265-277 (1966).
5. *Anderson, B.*: A Survey of the Soils in the Kongwa and Nachingwea Districts of Tanganyika. M. Sc. Thesis. Tanganyika Agric. Corp. and Reading Univ., 1957.
6. *Anderson, B.*: Rufiji Basin Survey 7. Soils of the Main Irrigable Areas with 19 maps. FAO Rome, 1961.
7. *Anderson, B.*: Report on Cashew Soils. Unpublished report from Southern Research Centre, Min. of Agric. and Co-operatives Tanzania, pp. 1-3, 1961.
8. *Anderson, B.*: Soils of Tanganyika. Min. of Agric. Bull. No. 16. Dar es Salaam (1962).
9. *Anderson, G. D.*: Kilimanjaro Soil Survey: The Use of Leaf Analysis in Assessing Fertiliser Responses on Related Soil Types. *Proc. 9th E. Afric. Soil Fert. Spec. Comm. Muguga, Kenya.* pp. 1-7 (1964).
10. *Anderson, G. D.*: Estimates of the Potential Productivity of some Pastures in the Mbulu Highlands of Tanganyika by Application of Fertilisers. *E. Afric. agric. For. J.* 30, 206-218 (1965).
11. *Anderson G. D.*: Increasing Coconut Yields and Income on the Sandy Soils of the Tanganyika Coast. *E. Afric. agric. For. J.* 32, No. 3, 310-314 (1967).
12. *Anderson, G. D.*: Report on Soils from Coast Softwood Sites, pp. 1-4. Unpublished report. Northern Research Centre, Min. of Agric. and Co-op., Tanzania, 1967.
13. *Anderson G. D.*: A Survey of the Soils and Land Use Potential of the Southern and Eastern Slopes of Mt. Kilimanjaro, Tanzania, p. 73. Appendices of Soil, Potential Land Use and Vegetation Maps on scale of 1: 50,000; soil descriptions, analytical data. Cyclostyled Memoir. Min. of Agric. and Co-op. Dar es Salaam, 1968.
14. *Anderson, G. D.*: Response of Maize to Application of Compound Fertilisers on Farmers' Fields in Ten Districts of Tanzania. *E. Afric. agric. For. J.* 34, No. 3, 382-397 (1969).

15. *Anderson, G. D.*: Promising Pasture Plants for Northern Tanzania VI: Practical Suggestions for Pasture Improvement. *E. Afric. agric. For. J.* 34, 106-116 (1968).
16. *Anderson, G. D.*: Effects of Fertilisers on Botanical Composition and Productivity of Pasture on the Sandy Soils of the Tanganyika Coast. *E. Afric. agric. For. J.* 34, No. 2, 207-216 (1968).
17. *Anderson G. D.*: Soil Map of Tanzania with Explanation of Land Use Potential. Tanzania Atlas. Dar es Salaam, Tanzania 1969.
18. *Anderson, G. D.*: Fertility Studies on a Sandy Loam in Semi-Arid Tanzania 1. Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilisers on Yields of Maize and Soil Nutrient Status. *Expl. Agric.* 6, 1-12 (1970).
19. *Anderson, G. D.*: Fertility Studies on a Sandy Loam in Semi Arid Tanzania. 2. Effects of Phosphorus, Potassium and Lime on Yields of Groundnuts. *Expl. Agric.* 6, 213-222 (1970).
20. *Anderson, G. D.*: A Preliminary Report of the Growth of Groundnuts and Beans on Ten Widely Distributed Soils in Zambia, pp. 1-5, 4 Tables. University of Zambia, 1971.
21. *Anderson, G. D.*: Response of Beans to Fertilisers on Mt. Kilimanjaro in Relation to Soil and Climatic Conditions. *Proc. 12th E. Afric. Spec. Comm. on Soil Fert. and Crop Nutrition.* Morogoro, Tanzania, pp. 1-11 (1972).
22. *Anderson, G. D., Houston, B.G. and Northwood, P.J.*: Effects of Soil, Cultivation History and Weather on Responses of Wheat to Fertilisers in Northern Tanzania. *Expl. Agric.* 2, 183-200 (1966).
23. *Anderson, G. D. and Naveh, Z.*: Promising Pasture Plants for Northern Tanzania. V: Overall Comparisons of Promising Plants. *E. Afric. agric. For. J.* 34, No. 1, 84-105 (1968).
24. *Arnold, P. W., Tunney, H. and Hunter, F.*: Potassium Status: Soil Measurements and Crop Performance. *Proc. 9th Int. Cong. Soil Sci.* Adelaide, Australia 2, 613-620. Paper 64 (1968).
25. *Ashrif, M. I. and Thornton, I.*: Effects of Grass Mulch on Groundnuts in Gambia. *Expl. Agric.* 1, 145-152 (1965).
26. *Ballantyne, A. O.*: Maize Production in Zambia with Special Reference to Variety and Soil Fertility. *Proc. Symp. on the Maintenance and Improvement of Soil Fert.* Khartoum. OAU/STRC Pub. 98 (1965).
27. *Beckett, P. H. T.*: 'Fixed' Potassium and the Residual Effects of Potassium Fertilisers. *Potash Review.* Subject 16, 52nd suite, pp. 1-11, Sept./Oct. (1970).
28. *Beckett, P. H. T. and Nafady, M. H. M.*: A study on Soil Series. Their Correlation with the Intensity and Capacity Properties of Soil Potassium. *J. Soil Sci.* 19, 216-236 (1968).
29. *Bellis, E.*: A Guide to Fertiliser Use in Kenya. p. 16. Kenya Dept. Agric. Nairobi, 1962.
30. *Birch, H. F.*: Nitrification in Soils after Different Periods of Dryness. *Plant and Soil* 12, No. 1, 81-96 (1960).
31. *Birch, H. F. and Friend, M. T.*: The Organic Matter and Nitrogen Status of East African Soils. *J. Soil Sci.* 7, 156-167 (1956).
32. *Bolle-Jones, E. W. and Ismunadji, M.*: Mineral Deficiency Symptoms of the Sweet Potato. *Emp. J. expl. Agric.* 31, No. 121, 60-64 (1963).
33. *Bould, C.*: Soil and Leaf Analysis in Relation to Fruit Nutrition. *J. Sci. Fd. Agric.* 14, No. 10, 710-718 (1963).
34. *Butters, B.*: The Use of Leaf Analysis in Assessing the Nitrogen Status of Robusta Coffee in Uganda. *E. A. Spec. Comm. on Soil Fert.* Muguga, Kenya, pp. 1-12 (1964).
35. *Bunting, A. H. and Anderson, B.*: Growth and Nutrient Uptake of Natal Common Groundnuts in Tanganyika. *J. Agric. Sci.* 55, No. 1, 35-46 (1960).
36. *Child, R.*: The Growing and Manuring of Tea. *J. Sci. Fd. Agric.* 15, No. 3, 133-142 (1964).
37. *Cunningham, R. K.*: The Effect of Clearing a Tropical Forest Soil. *J. Soil Sci.* 14, No. 2, 334-345 (1963).
38. *De Freitas, L. M. M., McClung, A. C. and Pimental Gomes, F.*: Determination of Potassium Deficient Areas for Cotton. *Potash Review.* May, pp. 1-12 (1966).
39. *D'Hoore, J. L.*: Soil Map of Africa (1:5,000,000). Explanatory Monograph. Joint project No. II, CCTA, Pub. 93. Lagos 1964.
40. *Djokoto, R. K. and Stephens, D.*: Long term Fertiliser Experiments under continuous cropping in Ghana. 1. Crop yields and responses to Fertilisers. *Emp. J. expl. Agric.* 29, No. 114, 181-195 (1961).
41. *Dovrat, A.*: Responses of Rhodes Grass and Overseeded Legumes to N and K Fertilisers and to the availability of soil K in Israel. *Expl. Agric.* 2, 255-263 (1966).
42. *Drysdal, V. M.*: Removal of Nutrients by the Maize Crop. *E. Afric. agric. For. J.* 31, 189-190 (1965).

43. *Evans, A.C.*: Soil Fertility Studies in Tanganyika. 2: Continued applications of Fertiliser on the Red-Brown Loams of the Nachingwea Series. *E. Afric. agric. For. J.* 28, No. 4, 228-230 (1963).
44. *Evans, A.C.*: Soil Fertility Studies in Tanganyika. 3. On the Kikungu and Luseni Soil Types of the Lake and Western Region. *E. Afric. agric. For. J.* 28, 230-239 (1963).
45. *Evans, A.C.* and *Mitchell, H.W.*: Soil Fertility Studies in Tanganyika. 1. Improvement to Crop and Grass Production on a Leached Sandy Soil in Bukoba. *E. Afric. agric. For. J.* 27, No. 4, 189-196 (1962).
46. *Fremond, Yann.*: A contribution to the study of the Inorganic Nutrition of the Coconut Palm. *Potash Review*. June, pp. 1-11 (1965).
47. *Foster, H. L.*: The Dominating Influence of Soil Organic Matter and Soil Reaction on the Fertility of Ferrallitic Soils in Uganda. *Proc. E. Afric. 11th Spec. Comm. Soil Fert. and Crop Nutrition*. Kampala, Uganda, pp. 1-10 (1969).
48. *Foster, H. L.*: Effects of Different Management and Fertiliser Treatments on the Soil and Leaf Nutrient Status of an Elephant Grass Ley. *E. Afric. agric. For. J.* 34, 468-475 (1969).
49. *Foster, H. L.*: The Identification of Potentially Potassium Deficient Soils in Uganda. *Potash Review*. Subject 4, 52nd suite. July, pp. 1-13 (1972).
50. *Foster, H. L.*: Correlation of Groundnut Responses to Phosphate Fertiliser with Soil and Leaf Analysis. *Proc. 12th E. Afric. Spec. Comm. Meeting for Soil Fert. and Crop Nutrition*. Morogoro, Tanzania, pp. 1-5 (1972).
51. *Foster, H. L.*: Fertiliser Recommendations for Cotton. A Study in Fertiliser Use. Research Note 4. Kawanda Research Station Dept. Agric. Uganda, pp. 1-4, May (1972).
52. *Foster, H. L.*: A Summary of Permanent Fertiliser Trial Results (1959-1972). Kawanda Research Station. Dept. Agric. Uganda, pp. 1-7 (1972).
53. *Foster, H. L.*: Fertiliser Recommendations for Cereals Grown on Soils Derived from Volcanic Rocks in Uganda. *E. Afric. agric. For. J.* 38, No. 3, 303-313 (1973).
54. *Harler, C. R.*: The Culture and Marketing of Tea, p. 262. OUP 1964.
55. *Hartt, C. E.*: Effect of Potassium Deficiency upon Translocation of C_{14} in attached Blades and Entire Plants of Sugarcane. *Plant Physiology USA* 44, 1461-1469 (1969).
56. *Harrop, J. F.*: Soils. chapter 5 in Agriculture in Uganda, edit. J. D. Jameson. Uganda Govt. Min. of Agric. and For. OUP 1970.
57. *Heathcote, R.G.*: Potassium Fertilisation in the Savanna Zone of Nigeria. *Potash Review*, pp. 1-7, May (1972).
58. *Heathcote, R.G.* and *Stockinger, K. R.*: Soil Fertility Under Continuous Cultivation in Northern Nigeria. 2: Responses to Fertilisers in the Absence of Organic Manures. *Expl. Agric.* 6, 345-350 (1970).
59. *Herbert, E. F.*: Summary of work done on the problem of pops in groundnuts, p. 27. Mt. Makulu Res. Stat. Min. of Rural Dev. Res. Div., Zambia, 1970.
60. *Horrell*: Effect of Two Legumes on the Yield of Unfertilised Pasture at Serere. *E. Afric. agric. For. J.* 30, 94-96 (1964).
61. *Jones, E.*: Principles of Using Fertilisers to Improve Red Ferrallitic Soils in Uganda. *Expl. Agric.* 8, 315-332 (1972).
62. *Jones, P.A.*, *Robinson, J. B. D.* and *Wollis, J. A. N.*: Fertilisers, Manure and Mulch in Kenya coffee growing. *Emp. J. Expl. Agric.* 28, No. 112, 335-352 (1960).
63. *Leakey, C. L.A.*: Crop Improvement in East Africa - The Improvement of Beans in East Africa. *Tech. Comm.* 19 CAB Farnham Royal, pp. 99-128, 1970.
64. *Le Mare, P. H.*: Soil Fertility Studies in Three Area of Tanganyika. *Emp. J. Expl. Agric.* 27, No. 107, 197-222 (1959).
65. *Le Mare, P. H.*: A Long Term Experiment on Soil Fertility and Cotton Yield in Tanzania. *Expl. Agric.* 8, 299-310 (1972).
66. *Lock, G.W.*: Sisal (2nd Edit.), p. 365, Longmans. 1969.
67. *Loué, A.*: Maize Nutrition, Cation Requirements and Potash Demand. *World Crops* 15, 373-384 (1963).
68. *McCulloch, J. S.G.*, *Pereira, H. C.*, *Kerfoot, O.* and *Goodchild, N.A.*: Effect of Shade Trees on Tea Yields. *Agr. Meteorol.* 2, 385-399 (1965).
69. *Milne, G.*, *Beckley, V.A.*, *Gethin Jones G.*, *Martin, W. S.*, *Griffiths, G.* and *Raymond, L.W.*: Provisional Soil Map of East Africa, 1:2,000,000. Crown Agents for Overseas Govt. London. 1936.

70. *Moberg, J. B.*: Some Soil Fertility Problems in the West Lake Region of Tanzania, including the Effects of Different Forms of Cultivation on the Fertility of Some Ferralsols. *E. Afric. agric. For. J.* 38, 35-46 (1972).
71. *Moe, P. G.*: 1972 Personal Communication.
72. *Morrison, J.*: A Note on the Factors Concerned in the Establishment of Grass: Clover Swards at High Elevations in Kenya. *E. Afric. agric. For. J.* 31, 445-448 (1966).
73. *Murray, D. B.*: The Effect of Deficiencies of the Major Nutrients on Growth and Leaf Analysis of Bananas. *Trop. Agric.* 37, 97-106 (1960).
74. *Mwoga, V. W.*: Focus on Banana Production in Uganda. p. 12. *Proc. Uganda Soc. Agronomy. Kabanyolo.* May 1973.
75. *Nye, P. H.*: Organic Matter and Nutrient Cycles Under Moist Tropical Forest. *Plant and Soil* 13, 333-346 (1960).
76. *Nye, P. H.*: Soil Analysis and the Assessment of Fertility in Tropical Soils. *J. Sci. Fd. Agric.* 14, No. 4, 277-280 (1963).
77. *Nye, P. H.* and *Greenland, D. J.*: The Soil Under Shifting Cultivation, p. 156. *Commonwealth Agric. Bur. Techn. Comm. No. 51.* *Comm. Bur. Soils.* Harpenden (1960).
78. *Osborne, J. F.*: Handbook for Sisal Planters. *Tanganyika Sisal Growers' Association, Tanga.* 1965.
79. *Peat, J. E.* and *Brown, K. J.*: The Yield Response of Rain Grown Cotton at Ukiriguru in the Lake Province of Tanganyika. I: The Use of Organic Manure, Inorganic Fertilisers and Cotton Seed Ash. *Emp. J. expl. Agric.* 30, No. 119, 215-231 (1962).
80. *Peat, J. E.* and *Brown, K. J.*: The Yield Responses of Rain Grown Cotton at Ukiriguru in the Lake Province of Tanganyika. II: Land-Resting and other Rotational Treatments Contrasted with the Use of Organic Manure and Inorganic Fertilisers. *Emp. J. expl. Agric.* 30, No. 120, 305-314 (1962).
81. *Radwanski, S. A.*: The Soils and Land Use of Buganda. A Reconnaissance Survey. p. 134. *Uganda Dept. Agric. Memoirs of the Res. Div. Series 1: Soils.* No. 4, 1960.
82. *Robinson, J. B. D.*: Mineral Nutrition of Coffee - Preliminary Results with the Leaf Analysis Technique. *E. Afric. agric. For. J.* 27, July, 1-9 (1961).
83. *Robinson, J. B. D.*: Measuring Soil Nitrogen available to Crops in East Africa. *E. Afric. agric. For. J.* 33, No. 3, 269-280 (1968).
84. *Robinson, J. B. D.* and *Freeman, G. H.*: Sources of Variation in Leaf Analysis in East Africa. *Afric. agric. For. J.* 33, No. 1, 8-13 (1967).
85. *Robinson, J. B. D.* and *Hosegood, P. H.*: Effects of Organic Mulch on Fertility of a Latosolic Coffee Soil in Kenya. *Expl. Agric.* 1, 67-80 (1965).
86. *Salmon, R. C.*: Nutrient Reserves in Some Soils from Rhodesian Tribal Trust Lands and African Purchase Areas. I. Potassium. *Potash Review. Subject 4, Soil Science 51st Suite,* pp. 1-5, July (1972).
87. *Scaife, M.*: Maize Fertiliser Experiments in Western Tanzania. *J. Agric. Sci.* 70, 206-222 (1968).
88. *Scott, R. M.*: The Soils of East Africa, pp. 67-76, in *The Natural Resources of East Africa.* Edit. E.W. Russell. *E. Afric. Lit. Bur. Nairobi.* 1962.
89. *Scott R. M.*: Exchangeable bases of mature, well drained soils in relation to rainfall in East Africa. *J. Soil. Sci.* 13, No. 1, 1-9 (1962).
90. *Smith A. N.*: Effects of fertilisers, sulphur and mulch on East African tea soils I. The effect on the pH reaction of the soil. *E. Afric. agric. For. J.* 27, 158-163 (1962).
91. *Smith, A. N.*: The effects of fertilisers, sulphur and mulch on East African Tea Soils. II: The effect on the base status and organic matter content of the soil. *E. Afric. agric. For. J.* 28, No.1, 16-21 (1962).
92. *Smith, R. W.*: Fertiliser Responses by Coconuts on Two Contrasting Jamaican Soils. *Expl. Agric.* 5, 133-145 (1969).
93. *Soils Advisory Section*: Crop Recommendations for the Barotse, Western, North Western, Luapula, Eastern, Central and Southern Provinces of Zambia. *Mt. Makulu Research Station, Dept. Agric., Lusaka,* 1968.
94. *Stephens, D.*: Effects of Grass Fallow Treatments in Restoring Fertility of Buganda Clay Loam in South Uganda. *J. Agric. Sci.* 68, 391-403 (1967).
95. *Stephens, D.*: Effects of Fertilisers on Grazed and Cut Elephant Grass Leys at Kawanda Research Station. *E. Afric. agric. For. J.* 32, 383-392 (1967).
96. *Stephens, D.*: The Effect of Ammonium Sulphate and other Fertilisers and Inoculation Treatments on Beans. *E. Afric. Agric. For. J.* 32, 411-417 (1967).

97. *Stephens, D.*: Fertility Trials on Cotton and other Annual Crops on Small Farms in Uganda. *Expl. Agric.* 4, 49-59 (1968).
98. *Stephens, D.*: Changes in Yields and Fertiliser Responses with Continuous Cropping in Uganda. *Expl. Agric.* 5, 263-269 (1969).
99. *Stephens, D.*: The Effects of Fertilisers, Manure and Trace Elements in Continuous Cropping Rotations in Southern and Western Uganda. *E. Afric. agr. Fo. J.* 34, 401-417 (1969).
100. *Stephens, D.*: Soil Fertility, Chapter 6, pp. 72-89. In *Agriculture in Uganda*, edit. J. D. Jameson. Second Edition pub. for Uganda Government by OUP 1970.
101. *Stobbs, T. H.*: The Influence of Inorganic Fertilisers upon the Adaptation, Persistency and Production of Grass and Grass/Legume Swards in Eastern Uganda. *E. Afric. agric. For. J.* 35, 112-117 (1969).
102. *Stobbs, T. H.*: Effect of Grazing Resting Land upon Subsequent Arable Crop Yields. *E. Afric. agric. For. J.* 35, 28-32 (1969).
103. *Strange, M. R.*: Preliminary Trials of Grasses and Legumes under Grazing. *E. Afric. agric. For. J.* 24, 92-102 (1958).
104. *Tag, P., Okalo, A. J. and Zschernitz, K.*: The FAO Fertiliser Programme in Kenya, p. 35. Proc. 12th Meeting of the E.A. Spec. Com. on Soil Fert. and Crop Nutrition, 1972.
105. *Tea Research Institute*: The Tea Growers' Handbook, p. 152. Tea Research Institute of East Africa, Kericho, 1969.
106. *Tinker, P. B. H.*: Studies on soil potassium. 4. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertiliser of Nigerian oil palms. *J. Soil Sci.* 15, 35-41 (1964).
107. *Twyford, I. T. and Coulter, J. K.*: Foliar Diagnosis in Banana Fertiliser Trials. *Plant Analysis and Fert. Problems* 4, 357-370 (1964).
108. *Vlitos, A. J. and Lawrie, T. D.*: Foliar Diagnosis as a Guide to the Mineral Nutrition of Sugar Cane in Trinidad. *Trop. Agric.* 40, No. 3, 173-183 (1963).
109. *Warden, J. C.*: The Dry Soil Nutrition of Coffee. *E. Afric. agric. For. J.* 28, No. 4, 195-203 (1963).
110. *Wild, A.*: The Potassium Status of Soils in the Savannah Zone in Nigeria. *Expl. Agric.* 7, 257-278 (1971).
111. *Wilson, K. C.*: The Mineral Nutrition of Tea. *Potash Review*, pp. 1-18, November (1969).
112. *Yates, R. A.*: Calibration of Soil and Leaf Analysis for the Control of Sugar Cane Fertilisation Rates in Southern Queensland. *Australian J. agric. Res.* 16, No. 3, 367-384 (1965).

La réponse à K de différentes cultures en Afrique orientale

G. D. Anderson, Department of Soil Science, Makerere University, Kampala/Ouganda

Version abrégée

L'auteur fait le tour de quelques régions d'Afrique orientale qui souffrent de carences aiguës en potassium. Ces régions comprennent des sols sableux et acides, dérivés de roches précambriennes, et quelques sols soumis à de fortes précipitations provenant de roches volcano-basaltiques ainsi que des sols dérivés de grès. Il semble que les sols formés sur les sédiments du Néogène du littoral est-africain, qui vont des textures sableuses à argileuses répondent mieux au potassium. Cette bande côtière comprend également quelques sols formés sur calcaires corallien et jurassique. En Ouganda, on connaît des régions étendues de sols ferriques et ferralitiques dont le potentiel en potassium est déficient, de même qu'en Tanzanie et au Kenya en conditions de culture continue.

On a remarqué sur le flanc est du Mont-Kilimanjaro des symptômes de carence en potassium sur caféier Arabica. Des tests récents ont également révélé quelques carences dans des régions à Arabica du Kenya, particulièrement à l'Ouest du «Rift Valley». Dans tous les trois pays d'Afrique orientale, on a observé des carences en potassium sur théier qui furent confirmées par l'analyse foliaire. Désormais, on y recommande souvent une fumure potassique supplémentaire et d'entretien. En Tanzanie, on a obtenu des augmentations des rendements de sisal de 63% pendant 5 ans avec des apports de 250 kg/ha de K₂O. Sur le littoral de Tanzanie, des cocotiers âgés de 8 ans, dont la croissance était insuffisante, ont doublé leur développement en hauteur, par rapport au témoin, dans les 18 mois qui

ont suivi l'application de K. Sur des palmiers en production, le traitement potassium seul a accru les rendements moyens en noix de 22% pendant 4 ans. Sur les pâturages du littoral de Tanzanie l'addition de potassium a amélioré la production de matière sèche et de protéines brutes. En Ouganda, à la suite d'apports de N et de P seuls, les déficiences en potassium limitaient les rendements des pâturages temporaires d'herbe d'éléphant et les rendements des cultures subséquentes, lorsque l'herbe était régulièrement fauchée et enlevée de la parcelle. Les symptômes de carence observés sur *bananier* apparaissaient généralement sur les sols plutôt acides des pentes orientales du Mont Kilimanjaro, et sur les sols sableux lessivés de la région occidentale des Lacs de Tanzanie et, en partie, de l'Ouganda méridional. Des réponses du *coton* au potassium furent plus fréquentes en culture continue qu'après une période de repos ou de jachère en broussaille. En Tanzanie occidentale, il semble que la chaux ait favorisé une réponse optimale à K du coton. En Tanzanie, le *tabac* répondait mieux au potassium lorsqu'il succédait aux arachides. En Ouganda et en Tanzanie, on recommande des apports de K sous forme de sulfate pour améliorer la qualité des feuilles. En Tanzanie, on a observé des réponses marquées à K pour le maïs sur des sols sableux lessivés de la région occidentale des Lacs, tandis qu'en Tanzanie semi-aride le potassium prend de l'importance en quatrième et cinquième saisons de culture exclusive de maïs. En Ouganda, on a également observé des réponses au potassium sur maïs, en fonction du temps, après une période de repos «enherbé». Jusqu'ici, on a enregistré des réponses à K pour le blé uniquement dans des parties plus acides du District Mbulu en Tanzanie, où, au cours de deux essais, on a obtenu des augmentations moyennes de 130 kg/ha des rendements en grains avec 65 kg/ha de K₂O en plus du traitement NP. Dans le cadre du *Programme de Fertilisation FAO* au Kenya, les *arachides*, qui souvent exigent moins de potassium, ont donné des réponses marquées et inattendues. Dans quelques districts les réponses à K des arachides en présence de phosphore étaient meilleures, comparées aux résultats avec fumure phosphatée seule et se répercutèrent sur les gains en monnaie. En Tanzanie on a obtenu des réponses notables au potassium chez le *haricot* (supérieures à 23%), sur 3 des 9 associations de sols des pentes du Mont Kilimanjaro. Lors de démonstrations FAO au Kenya également, les réponses à K des haricots étaient souvent considérables. En Ouganda, les quelques essais avec potassium sur haricots marquent une réponse croissante pendant quatre ans de culture. Dans quelques districts du Kenya on a obtenu un supplément de 3 tonnes/ha de *pommes de terre* grâce à l'apport de 60 kg/ha de K₂O en plus du traitement NP, ceci dans le cadre de démonstrations sur des champs d'agriculteurs. En Ouganda, dans des essais de fertilisation à long terme, la réponse moyenne des *patates douces* au potassium pendant les 4 premières années après la période de jachère était de 12%, mais ce gain s'est accru à 51% en moyenne de la cinquième à la huitième année de culture. Sur les sols du littoral du Kenya, des réponses considérables au potassium du *manioc* confirment celles qui y furent déjà obtenues avec arachides, cocotiers, pâturages et sisal.

Sous toutes les conditions, l'importance des besoins en potassium dépend de la nature du sol, des conditions climatiques, des besoins spécifiques de la culture, du mode d'exploitation et de l'état d'approvisionnement en d'autres éléments nutritifs.

Des réponses très marquées au potassium se manifestent souvent sur des sols très sableux ou modérément à fortement acides, mais on a également observé celles-ci sur des sols fortement saturés en calcium. Pour de nombreuses cultures, un taux de saturation en K inférieure à 2% de la capacité d'échange est trop faible et ceci, spécialement lorsque le potassium échangeable est inférieur à environ 0,5 méq./100 g. L'auteur présente également les niveaux foliaires critiques pour quelques cultures importantes.

Puisque des précipitations élevées provoquent le lessivage et des feuilles et des sols, les réponses au potassium tendent à se manifester davantage en milieux plus humides. Dans les parties plus sèches de l'Afrique orientale les réponses au potassium sont plus faibles, en raison des niveaux de rendements moins élevés, d'exploitation moins intensive et d'un lessivage moins important. Cependant on y constate des réponses en conditions de culture continue. Sur de nombreux sols dont la teneur en K est plutôt faible, la réponse au potassium augmente normalement avec le temps et l'intensité d'exploitation qui suivent l'élimination des buissons ou la jachère. On explique les raisons de ces réponses au potassium plutôt faibles, qu'on a constaté au cours de nombreux essais anciens effectués en Afrique orientale, principalement par la durée souvent trop courte de ceux-ci et par les sols utilisés pour ces essais, qui souvent furent des sites vierges ou des jachères. L'état de ces derniers était assez intact et leur approvisionnement en potassium était probablement supérieur à la moyenne. La nature de la culture en croissance et ses exigences en potassium constituent, en relation avec d'autres éléments nutritifs, un facteur important qui affecte la réponse aux engrais potassiques. Les cultures possédant des organes développés de mise en réserve, ces dernières étant composées principalement d'hydrates de carbone (par exemple pommes de terre, bananes et manioc), répondent bien au potassium, de même que les cultures qui sont régulièrement enlevées du champ (par exemple canne à sucre, thé, tabac, et prairies à fener ou à ensiler).

Pour que l'on obtienne une réponse optimale au potassium, un approvisionnement adéquat en d'autres éléments nutritifs, particulièrement en azote, phosphore, calcium, magnésium et soufre est important.

L'exploitation plus intensive, de meilleures variétés, des densités de semis plus élevées et l'amélioration des modes exploitation en général, y compris une utilisation accrue des engrais azotés et phosphatés, épuiseront encore davantage les réserves de K déjà fortement mise à contribution. En Afrique orientale, les exigences de la plupart des cultures en engrais potassiques augmenteront donc vraisemblablement de façon considérable au cours de ces prochaines années.

The Influence of Potassium Nutrition on the Yield and Chemical Composition of Some Tropical Root and Tuber Crops

G. O. Obigbesan, Dr. agrar., Department of Agronomy, University of Ibadan, Ibadan/Nigeria

Summary

Information on the influence of mineral fertilisers on the quality of tropical root and tuber crops with the exception of the sweet potato has been very scanty. It was noted that fertiliser recommendations made on crop response basis often resulted in poor quality products. Response of two major tropical root and tuber crops of socio-economic importance, yams and cassava, to K fertilisation was discussed and varietal differences pointed out.

Beside increasing the overall yield, high K application considerably improved the dry matter and starch content and appreciably reduced the prussic acid content of the cassava tuber, while increasing N application above certain level increased the HCN content. Investigations on optimum K level for the varieties require more attention.

1. Introduction

The functions of potassium in plant metabolism have been excellently discussed in simple terms by *Amberger* [1], its role in the biosynthesis of the compounds which determine the quality of agricultural products was given prominent attention by *Kursanov* and *Vyskrebentzeva* [29] and others in the 8th Congress of the International Potash Institute in Brussels in 1966. Furthermore, the influence of K fertilisation has been exhaustively treated by several investigators of various root crops, particularly Irish potato [43], sugar-beet [17, 35] and sweet potatoes [24]. It would be presumptuous to assume that we know all about the role of K in the metabolism of the plant. With our present state of knowledge, however, we are in a good position to punctuate where K manifests its action. Thus we know very well that K regulates the water economy of the plant and prevents wasteful consumption of water per quantity of dry matter produced [1, 25], it controls carbohydrate metabolism [14], and participates in protein and fat synthesis [43]. We have frequently attributed the role of translocation of carbohydrates to potassium. This was again demonstrated in experiments with cassava (manioc) by *Malavolta et al.* [33], where K deficient plants showed much less starch in their roots than the normal ones; with tomatoes by *Jones* [27], *Haeder* and *Mengel* [20] and with sugar cane by *Hartt* [22]. Participating as it does in oxidative phosphorylation, the main process whereby the cell stores energy, the indispensable role of potassium not only in 'system' formation according to *Linser* [32] but also in product accumulation cannot be overemphasised.

Most fertiliser investigations on tropical root and tuber crops had centred on yield and nutrient uptake. Relatively few workers [11, 15 33] have paid attention to the quality of the product as affected by fertiliser application. Thus, most observations were limited to field records on yield and yield components while chemical laboratory investigations were generally ignored, probably owing to lack of interest, skilled personnel and or equipment. It is therefore not surprising that despite over 25 years of fertiliser experimentation on root crops in many tropical countries, e.g. Nigeria, hardly any information is available regarding the effect of individual nutrients on the quality of these crops. However, the performance of a crop is best measured not only by the quantity but also by the quality of the product and it is the quality of the crop which determines the final yield. *Schuffelen et al* [46] have pointed to the fact that while the quality of certain plant species (e.g. sugar content of sugar and fodder beet) is determined mainly by genetic factors, the composition of other crops (e.g. protein content of rye grass) is determined primarily by nutrition.

This paper reports the influence of K nutrition on the yield and composition of cassava and yams, two of the major staple food crops of socio-economic importance in the tropics. Our yield data cover both yams and cassava, and quality data cover only the latter on which our efforts are presently concentrated.

2. Response of tropical root and tuber crops to potash

2.1. Yams

The response character of yams to fertiliser application has been variously reported: on the excessively leached coarse sand acid soils of the coastal lowland of Eastern Nigeria [26, 39] and on the sedimentary soils derived from sandstones under rain-forest vegetation in Western Nigeria [2], where the main response was to N and K; and on the soils derived from metamorphic and igneous rocks under savanna vegetation, where responses to K were obtained only after continuous cropping [3].

Soils derived from sedimentary parent material, generally low in K reserves, are more responsive to K fertilisers than soils derived from metamorphic rock rich in mineral nutrients. Thus response to K in Nigeria was found only at low level of K application [26, 38, 52] and seemed to be related to the soil parent material [5]. *Giradot* [19] in Liberia, *Chapman* [12], and *Ferguson and Haynes* [18] in Trinidad obtained highly significant yield increases to K application. There are indications that the responses to lower K levels observed by workers in Nigeria [26, 38] are not attributable to the soil K status alone as suggested by *Vine* [52], who used the 'highest' level of 60 kg K₂O/ha but also to varietal and species differences which were not considered by previous workers. In both savanna and forest regions of West Africa, nitrogen gave the greatest response [26, 38, 50]. Low fertiliser response may also occur when yam is cropped on soils of fairly high fertility status such as after bush fallow or when appropriate nutrient balance is not maintained.

Experiments conducted on yams in Eastern Nigeria [6] showed that potash attained its optimal rate at 24 lb K₂O/acre (26.9 kg K₂O/ha), when N and P were applied at 24 lb/acre, but when N and P were increased to 48 lb/acre (57.8 kg/ha) the optimum rate rose to about 72 lb/acre (80.6 kg K₂O/ha). Fertiliser trials on sweet potatoes by *Liang* [31] also showed that there are many combinations of various rates of N and K

that can be applied for producing a given yield. Although the 10-10-20 compound fertiliser at 537.6 kg/ha (57.8 kg N resp. P_2O_5 + 107.5 kg K_2O /ha) gave the best overall yield in Eastern Nigeria the lower rate of the 268.8 kg/ha was recommended probably on economic grounds. Potash in the sulphate form was found to increase yields better than the muriate form.

For Western Nigeria, *Amon and Adetunji* [5] suggested 25–50 lb N/acre with or without 60 lb K_2O /acre. The nutrient levels recommended in Nigeria were rather low for an area of heavy precipitation (e.g. Eastern Nigeria above 2000 mm) compared with 169 kg K_2O /ha in Trinidad [18], or compared with the best returns obtained for NK combination of 64.5 kg N and 177 kg K_2O /ha for sweet potatoes in China [31], 120 kg K_2O /ha in Taiwan [24] and up to 135 kg K_2O /ha recommended in Malaysia [13].

Experiments conducted at this University in 1961 showed that yam varieties differ significantly in their response to potash fertilisation.

Application of 30 lb K_2O /acre (33.6 kg/ha) increased the yield of yellow yam (*Dioscorea cayenensis*) by 33% as compared to 21% yield increase in the white variety (*D. rotundata*). It required 50 lb K_2O /acre (56 kg K_2O /ha) to give a comparative yield increase (38%) in the latter variety. While *D. rotundata* continued to respond to additional supply of K up to 70 lb K_2O (78.4 kg/ha) the *D. cayenensis* failed to respond appreciably to any higher dose than 30 lb K_2O /acre. This seemed to suggest that *D. rotundata* required more K fertiliser than the *cayenensis* for optimum yield. *Ferguson and Haynes* [18] recently found that Chinese yam (*D. esculenta*) responds highly to K application (up to 168 kg K_2O /ha) and their data show that the yield of white Lisbon yam unlike the Chinese yam was unaffected by K fertilisers.

2.2. Mulch effect

Studies on *Dioscorea rotundata* over a wide area in Western Nigeria during 1954–1957 showed that for four years consecutively mulching was beneficial to yams, the greatest response to mulching being found at the Meko and Ogbomosho Stations, where the soils were highly deficient in K [8]. The lowest response was 19%, the highest response in three of the ten stations are presented in Table 1. Available grasses, usually Gamba grass and elephant grass, usually constitute the mulching material. Beside conserving soil moisture and maintaining a lower soil temperature than that found under the bare soil in the dry season, mulch is a supplier of nutrients, particularly potassium. *Ofori* [40] noted that the highly significant effect of mulch on yield of cassava tuber in a forest ochrosol in Ghana might be mainly attributed to the K content of the mulch, a view that was further supported by the consistently negative mulch × potash inter-

Table 1. Response of yam to mulching

Site	Early planting (November)		Late planting (March)	
	Tons/acre	% response	Tons/acre	% response
Meko	+6.9	+767	+5.3	+1060
Ogbomosho	+2.3	+133	+2.0	+1000
Moor Plantation	+2.9	+116	+4.9	+490

action. Thus, in K fertiliser experiments, where mulch was used, the effect of K applied might be masked, leading to erroneous conclusions.

2.3. *Cassava*

Unlike yams, excellent responses to K have been reported for cassava, indicating that this is a better test crop than the former [11, 16, 37, 42, 51]. Thus, *Kumar* [28] obtained increases in tuber yield with increasing K fertiliser upto 100 kg K_2O /ha, while *Ofori* [40] found that the response to 40 kg K_2O /ha was 2.4–7.9 tons/ha or about 60–200 kg cassava per kg K_2O . *Silvester* and *Delcasso* [47] obtained linear responses to 80 kg N which increased yield by 2 tons/ha, and quadratic responses to K with a maximum of 60 kg K_2O which increased tuber yield by 3.5 tons/ha.

Cassava gives the highest return of calories per acre compared with yams or potatoes. Being resistant, to drought and growing on soils that are too impoverished for other staple crops (yams first, cassava last crop in a rotation), due to its ability to utilise the less easily available portions of the soil nutrients, cassava is the most economic of all tropical root crops to produce.

3. *Yield of yams and cassava and nutrient removal*

The astonishing fact that cassava yields range between 5–10 tons/ha under poor agronomic conditions, and 20–40 tons/ha by modern cultivation methods, points to the potential of this crop. Tables 2 and 3 contain the yield data and nutrient removal of yams and cassava. If nutrient recovery is the criterion for fertiliser requirements of a crop, then it is evident from these tables that yams and cassava have strong appetite for soil nutrients, particularly for K which should therefore be generously applied in judicious amounts over and above the rate of N application.

A summary of the main effects of K fertiliser on the yield of yams and cassava in the forest zone of Western Nigeria over ten years (1956–1967) is presented in Table 4. Observations recorded for two stations in the savanna zone of Western Nigeria are given in Table 5. The general response of yams in Eastern Nigeria to lower rates of K reported by *Irving* [26] is not reflected in the above data for Western Nigeria. On the metamorphic soils of the savanna area of Western Nigeria, economic fertiliser rates for yams were given at 28–56 kg N with or without 67.2 kg K_2O /ha, whereas for cassava 28 kg N + 11.2 kg P_2O_5 + 67.2 kg K_2O /ha were recommended:

On the sedimentary soil (forest area) the recommended fertiliser rates were 50.4 kg N + 67.2 kg K_2O /ha for yams and 50.4 kg N, 11.2 kg P_2O_5 and 67.2 kg K_2O for cassava.

It would be erroneous to suggest that many tropical crops have been selected to yield under a low plane of nutrition [45], with the result that many of these are now not responsive to fertiliser application. I would contend that breeders were not in the habit to elicit the advice of plant nutritionists when making their tedious selections, which normally demands multidisciplinary approach. With more intensive research and using improved varieties, earlier recommendation will require further verification and revision. Thus, *Lampe* [30] found that the previously reported depressing effects of P on yams could not be confirmed as all treatments including P were superior.

Table 2. Nutrient removal (kg/ha) from the soil by the cassava crop

Source-Nutrient	<i>Nijholt</i> (1936) 60 t/ha tuber	<i>Potascheme</i> (1958) 30 t/ha tuber	<i>Cours and Fritz</i> (1961) 40 t/ha tuber	<i>Arraudeau</i> (1971) 40 t/ha root, stems leaves
N	124	60	85	273
P ₂ O ₅	104	50	62	104
K ₂ O	584	258	280	267
CaO	217	—	75	170
MgO	71	—	—	202

Table 3. Yield and nutrient composition of yam tuber (Sobulo 1972)

N-application (lb/acre)	0	50	100
<i>Tuber yield and nutrient content</i>			
Fresh tuber yield (1000 lb/acre)	15.33	15.83	15.77
Dry matter yield (1000 lb/acre)	3.83	3.96	3.94
N (lb/acre)	29.6	42.0	53.5
P (lb/acre)	4.6	3.52	4.22
K (lb/acre)	69.4	71.2	71.4

Table 4. Summary of main effects of potassium, fertiliser on the yield of yams and cassava in the forest zone of Western Nigeria 1956-1967*

lb K ₂ O/acre	Yams (<i>D. rotundata</i>)				Cassava (var. 53101)			
	Total yield	Mean yield	Increase over control		Total yield	Mean yield	Increase over control	
	ton/acre	ton/acre	lb	%	ton/acre	ton/acre	lb	%
0	447.15	3.73	—	—	687.5	6.250	—	—
33.6	468.4	3.093	387.5	4.6	727.4	6.613	813	5.8
67.2	493.0	4.108	846.7	10.1	723.2	6.57	728	5.2

* Computed from data presented by *Amon and Adetunji [1968]*. Basal dressing 45 lb N and 10 lb P₂O₅. Exch. K = 0.06-0.09 meq./100 g.

Table 5. Main effects of K on yams and cassava (lb tuber/acre) in the savanna zone of Western Nigeria

Crop and site	0	60 lb K ₂ O/acre	120	LSD
<i>Yams</i>				
Ilorra	11,078	11,484	11,528	± 314.9
Fashola	10,689	11,526	12,194	± 356.1
<i>Cassava</i>				
Ilorra	11,700	11,744	12,014	± 378.2
Fashola	13,356	14,415	14,158	882 (P=0.01)

Source: *Amon (1965)*.

4. K-nutrition and quality of yams

Because no response of groundnut to K was obtained in earlier experiments in Northern Nigeria, it had been conservatively assumed that K fertiliser was unnecessary for other crops in this area. But recent investigations [23, 53] reveal that, as cropping becomes more intensive, the drain on soil K increased and the occurrence of K deficiency becomes widespread. Moreover, the complaint by farmers in Western Nigeria that fertilised (sulphate of ammonia only) yams do not pound well and do not store well seems to be good indication that N mainly increases the size of the tuber and its water content, both responsible for the much complained of adverse effects. The use of 62.7 kg/ha sulphate of ammonia was recommended for yams in Northern Nigeria, but the farmers, especially in Kabba area, complained to extension workers that yams grown with fertiliser blacken on cooking. Similar observations on 'black spot' (blackening) of the potato flesh as a result of K deficiency has been reported from experiments carried out by the Liebefeld Federal Research Institute at Berne Switzerland and the application of potash fertilisers reduced the proportion of blackened tubers to a minimum.

We have abundant evidence to disapprove of the general practice of fertiliser recommendation on basis of yield response and apparent economic returns alone, eliminating whichever nutrient to which no response was obtained. Only a balanced nutrient application brings quality products which should satisfy the consumers' desired taste.

5. K-nutrition, yield and quality of cassava

Quality is of ever increasing importance as the industrial processing of cassava develops. Thus a constant quality should be aimed at to meet the analytical standard of local industries and importing countries. The influence of K nutrition on the chemical composition of cassava is therefore being investigated in a series of experiments in our department since none of the earlier works touched on this.

In one experiment with a sweet cassava variety (*Manihot palmata*, Pohl), varied K levels 0, 40, 60 and 80 lb K_2O /acre (0, 44.8, 67.2, 89.6 kg K_2O /ha) with basal dressings of 60 lb N and 60 lb P_2O_5 /acre were applied, while in another experiment with bitter varieties (*Manihot esculenta*, Crantz var. 53101, 60506) higher K levels (0, 60, 90 and 120 lb K_2O /acre) were used. The fertilisers being applied in form of sulphate of ammonia, single superphosphate and muriate of potash (K_2SO_4 not available) three

Table 6. Soil analytical data before cropping

	Cassava I (<i>M. palmata</i>)	Cassava III (<i>M. esculenta</i>)
pH (H_2O)	4.5	5.6
% N	0.035	0.025
% Org. C	1.84	1.72
Bray's P_1 (ppm)	3.61	21.0
Exch. K meq./100 g	0.163	0.142
Exch. Ca meq./100 g	2.20	1.57
Exch. Mg meq./100 g	1.43	0.93

months after planting. Table 6 contains the precropping soil analytical data. Some of the results of these experiments are shown in Figures 1 to 8.

5.1. Utilisation index (figure 1)

The ratio of root weight to top (stem and leaves) weight known as the utilisation index is an important yield determinant. It conveys information on the extent to which the nutrient supplied is being used either for foliage (vegetative growth) or for root production. Increasing K application considerably increased the utilisation index (U.I.) of this variety, an optimum being reached at 60 lb K_2O /acre. However, the U.I. of this variety is below unity indicating that it is a low yielding type, the highest U.I. even at 12 months being 0.84 while the recommended varieties 53101 and 60506 have U.I. values above unity (1.31 and 1.34 respectively). Within limits, the utilisation index increases with the age of the plant.

5.2. Fresh tuber yield (figure 2)

Increasing K fertilisation improved the fresh tuber yield by up to 34% at 12 months of sampling but the effect of K on tuber yield at 9 months was negligible indicating that this variety utilised the K nutrient better at 12 months. The highest response of 2.8 tons/acre (7 t/ha) was obtained at the low level of 45 kg K_2O /ha corresponding to 156.8 kg of cassava per kg of K_2O . *Ofori [40]* reported similar response of about 60–200 kg cassava/kg K_2O on applying 40 kg K_2O /ha to the cassava crop in Ghana. In the experiment with varieties 53101 and 60506, maximum yield responses of 10.75 t/ha and 8.25 t/ha, respectively, to 100.8 kg K_2O /ha were obtained, corresponding to approximately 107.5 kg and 82.5 kg cassava per kg K_2O . As was reported for yams, differences in varietal response to K nutrient are shown by the data obtained for the recommended varieties 53101 and 60506 in which the mean tuber weight per plant was considerably increased by K application, an optimum

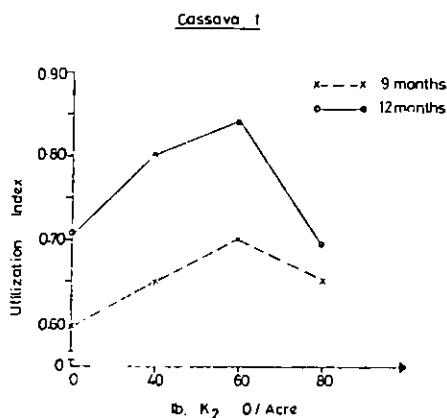
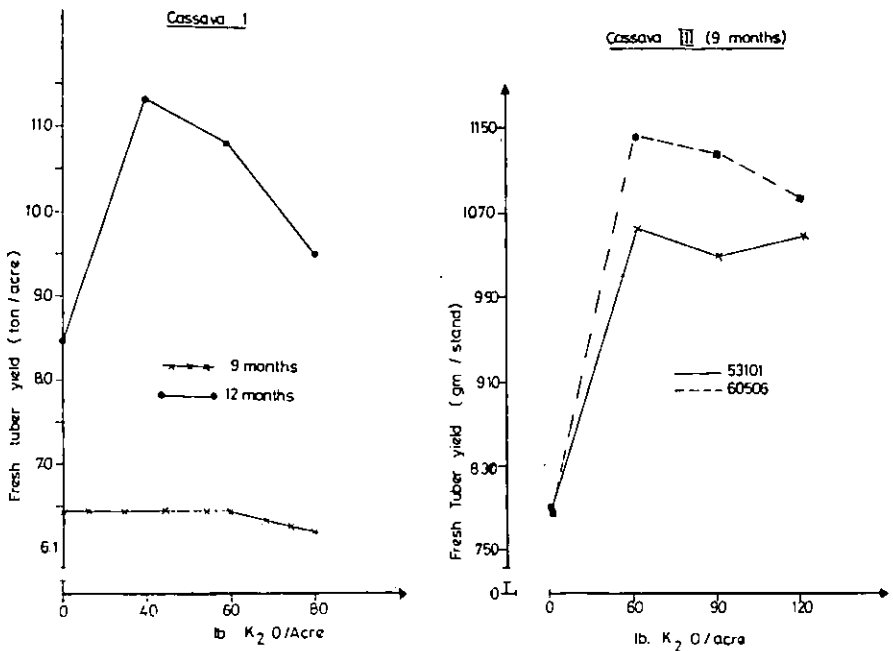


Figure 1. The utilisation index of cassava (*M. palmata*) as affected by K-application.

being indicated at 67.2 kg K₂O per ha (figure 3). But the highest yields of 17.4 tons/acre (variety 53101) and 16.1 tons/acre (variety 60506) were obtained at 90 lb K₂O/acre (100.8 kg/ha). At 120 lb K₂O/acre, however, the tuber yields dropped to 12.7 and 14.3 tons/acre, respectively, the corresponding yields of K₀-plots being 9.1 and 11.1 tons/acre.

5.3. Dry matter yield (figure 4)

Of utmost importance in root production is not the fresh tuber yield but the dry matter accumulation. The water content of the tubers depends on the month of harvest, as shown by the data in Table 7 which illustrate the pronounced influence of potash on the dry matter yield of the sweet cassava variety at different times of harvesting. Figure 4 also punctuates varietal influence on the response of cassava to K application, the highest dry matter production being obtained at 60 lb K₂O/acre in one variety (60506), but at 90 lb K₂O/acre in another (53101) at 9 months of growth, while the maximum dry matter yield of the sweet cassava variety was obtained at the low level of 40 lb K₂O/acre at both 9 and 12 months sampling.



Figures 2 and 3. The influence of potash nutrition on the fresh tuber yield of cassava varieties at different harvesting times.

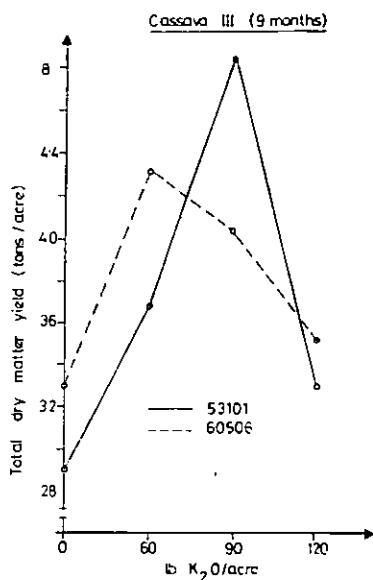


Figure 4. The effect of K fertiliser on the total dry matter yield of cassava tuber (varieties 53101 and 60506).

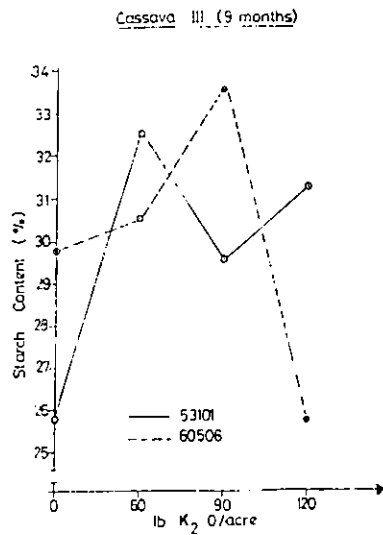
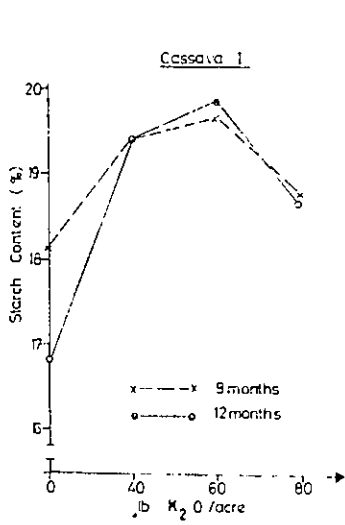
Table 7. Influence of K-nutrition on dry matter yield of cassava (*M. palmata*)*

lb K ₂ O/acre	9 months February; dry		12 months May; wet	
	Dry matter		Dry matter	
	in %	Yield kg/plot	in %	kg/plot
0.....	44.6	9.71	33.1	9.43
40.....	46.1	8.04	37.0	14.10
60.....	47.2	10.31	34.1	12.41
80.....	51.5	11.04	35.9	11.52

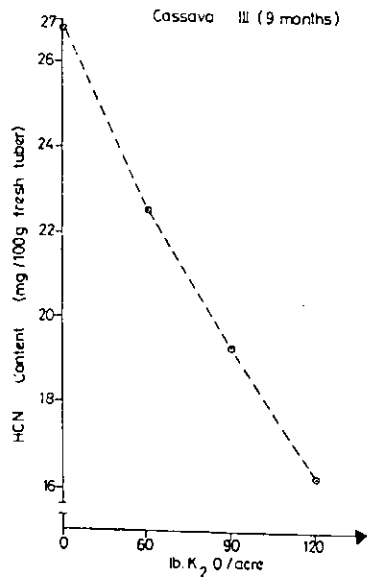
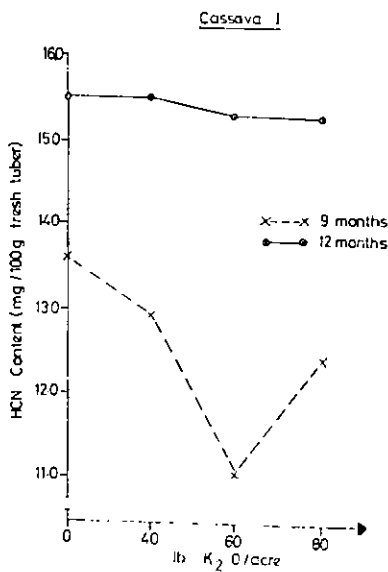
* Means of 4 values.

5.4. Starch content (figures 5 and 6)

The significant role of K nutrition in raising the carbohydrate content of a crop is once again confirmed in these investigations on cassava. The data shown in Figures 5 and 6 for the three cassava varieties demonstrate that by skillfull application of K fertiliser the quality of the product can be greatly improved. The highest starch content of about 20% was indicated at 60 lb K₂O/acre for a *M. palmata* variety, at 12 months, about 32.4% at the rate of 60 lb K₂O/acre for variety 53101 and about 33.5% starch at 90 lb K₂O/acre for 60506. Lower starch contents of 16.8%, 25.7%



Figures 5 and 6. The starch content of 'sweet' and 'bitter' cassava as affected by K-application.



Figures 7 and 8. Relationship between increasing K application and the HCN content of 'sweet' and 'bitter' cassava varieties.

and 29.5%, respectively, were obtained from the control plants. Between 9 and 12 months the starch yield of the plants which received no K fertiliser increased by about 21.6%, whereas in K-treated plants the starch yield was increased by 50-117% over the value at 9 months indicating that at this growth stage the cassava crop might not have utilized fully the advantage of the K-nutrient applied.

5.5. Prussic acid content (figures 7 and 8)

The positive influence of potash fertiliser treatments on the quality of the cassava crop was also demonstrated by the increased reduction of the prussic acid content of the tuber with increasing K levels. In the sweet cassava variety incremental K application (0-80 lb K_2O /acre) tended to reduce the HCN content of the tuber at 9 months (February, dry season), the greatest reduction being obtained again at 60 lb K_2O /acre but at 12 months (May, wet season) of sampling the decrease was negligible (figure 7). No explanation could be given to this behaviour pattern other than that it might be due to the time of sampling. Probably the low level of K application on a soil of medium exchangeable K (0.16 meq./100 g) was partly responsible. By the application of up to 120 lb K_2O /acre (variety 60506) on a soil of similar K content (0.145 meq./100 g), a consistent reduction of up to about 31% in the HCN content of the tuber was obtained (figure 8). In yet another experiment the prussic acid content of the cassava tuber was increased by up to 8.6% when N application was increased above 90 lb N/acre but not at lower N-levels. K deficiency was reported to promote the toxicity of cassava [9] which is said to be partly (41, 48) due to the cyanogenetic glucoside content of the leaves and roots. *Bruijn* [10] also reported that nitrogen has increasing and potassium and farm yard manure a decreasing effect on the glucoside content of leaves and roots of cassava. Also working on another cyanogenetically related crop, sorghum, *Harms and Tucker* [21] found that the prussic acid concentrations were increased by N fertilisation. The results of these investigations on cassava do confirm that the prussic acid content of the tuber is considerably reduced by K fertilisation.

Since the optimum potassium levels for the different factors differ even for the same variety, one can formulate fertiliser combinations to achieve any desired quality to suite our purpose, e.g. starch, for industrial processing, or HCN, for cooking quality for livestock and human consumption.

6. Conclusion

The role of K in improving the yield and quality of crops stands undisputed. The few illustrations from available investigations, which are being continued, show that beside obtaining higher yields, skillful application of K fertiliser influences favourably the quality determinants - be it the dry matter, starch and prussic acid content as in the case of cassava or also storage and cooking quality as in the case of yams, to mention only a few. Several years of breeding and selection alone have proved that a gene combination for the desirable factors was impossible. Works on temperate root and tuber crops have vindicated this fact. Only multi-disciplinary approach can lead to the goal of producing bountiful qualitative tropical root and tuber crops which, being chiefly carbohydrate producers, demand high K fertilisation.

7. Bibliography

1. *Amberger, A.*: Potash Review, Subj. 3, 27th Suite (1968).
2. *Amon, B. O. E.*: in: Report of the first FAO soil fertility meeting for West Africa, Ibadan, Nigeria, 26 Nov.-1 Dec., 1962.
3. *Amon, B. O. E.*: Commonwealth Technical Cooperation. Africa. Publication 98, 339-348 (1965).
4. *Amon, B. O. E.* and *Adetunji, S. A.*: Agege Experimental Station, Research Report 1951-1967. Research Division MANR. Ibadan, Nigeria (1968).
5. *Amon, B. O. E.* and *Adetunji, S. A.*: Res. Rep. No. 55. Res. Div. MANR Ibadan, Nigeria (1970).
6. *Anonymous*: Annual Report. Agric. Research Section, Umudke, Eastern Region, Nigeria (1962).
7. *Arraudeau, M.*: in: Proc. Seminar VI: Root and tuber crops in West Africa, Ibadan, Feb. (1971).
8. *Baker E. F. I.*: Unpublished data, MANR Western Region, Nigeria (1961).
9. *Bolhuis, G. G.*: Neth. J. Agric. Sci. 2, 74-85 (1954).
10. *Bruijn, G. H., de*: Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 71, (13), 140 pp. (1971).
11. *Chadha, T. B.*: J. Indian Soc. Soil Sci. 6, 53-64 (1958).
12. *Chapman, T.*: Trop. Agric. Trin. 42, 145 (1965).
13. *Chew, W. Y.*: The Malaysian Agric. Journ. 47, 453-464 (1970).
14. *Cooil, J. B.*: Plant Physiol. 23, 403 (1948).
15. *Correll, D. S. et al.*: Econ. Bot. 9, 307-375 (1955).
16. *Cours, G. et al.*: Fertilité 12, 3-20 (1961).
17. *Draycott, A. P.* and *Cooke, G. W.*: 8th Pot. Symp. Intern. Potash Institute, Berne (1966).
18. *Ferguson, T. U.* and *Hoynes, P. H.*: Proc. 2nd Int. Symp. Trop. Root Crops, Hawaii 1, 93 (1970).
19. *Girodot, L. V.*: Cent. Agr. Exp. Sta. Note 9, Suakoko, Liberia.
20. *Haeder and Mengel, K.*: Z. Pflanzenernähr. Dg. Bdkd. 131, 139-148 (1972).
21. *Harms, C. L.* and *Tucker, B.*: Agron. Journ. 65, 21-25 (1973).
22. *Hartt, C. E.*: Plant Physiol. 44, 1460-1469 (1969).
23. *Heathcote, R. C.*: Potash Review. Subj. 16, May (1972).
24. *Ho, C. T.*: Potash Review. 27/44 Suite (1965).
25. *Hofner, W.*: Potash Rev. 3/39 (1971).
26. *Irving, H.*: Trop. Agric. Trin. 33, 67-78 (1956).
27. *Jones, L. H.*: Canad. J. Bot. 44, 297-307 (1966).
28. *Kumar, B. M.*: Indian J. Agron. 16, 82-84 (1971).
29. *Kursanov, A. L.* and *Vyskrebenzveva E.*: 8th Pot. Symp., Intern. Potash Institut, Berne (1966).
30. *Lampe, S.*: FAO/MANR Fertiliser Progr. W. State, Nigeria. Yield Results 1969. Ibadan (1970).
31. *Liang, L.*: Journ. Agric. Ass. of China 66, 30-49 (1969).
32. *Linsler, H. et al.*: Z. Pflanzenernähr. Dg. Bdkd. 121, 199-211 (1968).
33. *Malavolta, E. et al.*: Plant Physiol. 30, 81 (1955).
34. *Mengel, K.* and *Forster, H.*: Plant and Soil 35, 65-75 (1971).
35. *Muller, K. et al.*: Potash Rev. 11/18 (1963).
36. *Nijohlt, J. A.*: Ernährung der Pflanze 32, 403-408 (0000).
37. *Normanha, E. S. et al.*: Bragantia 27, 143-154 (1968).
38. *Obi, J. K.*: Tech. Rep. No. 8. Reg. Res. Sta. Samaru, Nigeria (1959).
39. *Obihara, C. H.*: in: Report of the first FAO soil fertility meeting for West Africa, Ibadan, Nigeria, 26 Nov.-1 Dez. (1962).
40. *Ofori C. S.*: Expl. Agric. 9, 15-22 (1973).
41. *Pereira, A. S.* and *Pinto, Mg.*: Bragantia 21, Nota 25, p. CXLV-CL (1962).
42. *Potascheme*: NPK Pamphlet No. 2.
43. *Quellette, G.* and *Glander, H.*: Potash Rev. 11/19 (1964).
44. *Richards, F. J.* and *Coleman, R. G.*: Nature 170, 460 (1952).
45. *Russel, E. W.*: Proc. Fert. Soc. London 101 (1968).
46. *Schuffelen, A. C. et al.*: Potash Rev. 3/24 (1967).
47. *Silvestre, P.* and *Delcasso, G.*: Proc. Seminar VI; Root and Tuber Crops in West Africa, Ibadan, Nigeria, Feb. (1971).
48. *Sinha, S. K.* and *Nair, T. V. R.*: Indian J. Agric. Sci. 38, 958-963 (1968).
49. *Sobulo, R. A.*: Expl. Agric. 8, 107-115 (1972).
50. *Stephens, D.*: Emp. J. expl. Agr. 28, 165-178 (1960).
51. *Tardieu, M.* and *Fauche, J.*: Agron. Trop. 16, 375-386 (1961).
52. *Vine, H.*: Emp. J. expl. Agric. 21, p. 65 (1953).
53. *Wild, A.*: Expl. Agric. 7, 257-270 (1971).

Influence de la nutrition potassique sur les rendements et la composition chimique de quelques cultures à racines et à tubercules des régions tropicales

G. O. Obigbesan, Department of Agronomy, University of Ibadan, Ibadan/Nigéria

Version abrégée

Ce travail traite de l'influence de la fumure potassique sur les rendements et la qualité de l'igname et du manioc au Nigéria. Les deux plantes à racines ont en général des exigences élevées en potassium, qui varient peu selon le site et l'espèce. Alors qu'auparavant de faibles doses de K suffisaient à l'obtention de rendements d'igname peu élevés, il faut compter aujourd'hui avec des doses de 80 kg de K_2O/ha (72 lbs/acre) pour tirer le meilleur profit du potentiel de rendement, en raison des doses croissantes de fumure azotée et des rendements plus élevés. En comparaison avec d'autres régions à culture d'igname, où l'on applique jusqu'à 168 kg de K_2O/ha (150 lbs/acre), ces 80 kg de K_2O/ha paraissent encore faibles. Ces différences de fumure sont en partie dues aux diverses espèces cultivées dans les pays respectifs. La fumure potassique a un effet plus prononcé sur le rendement des espèces blanches (*D. rotundata* et *D. esculenta*) que des espèces jaunes (*Dioscorea cayennensis*). Les rendements en manioc se situent entre 5 et 10 t/ha (2-4 t/acre). Par des méthodes de culture moderne ils peuvent être accrus jusqu'à 20-40 t/ha (8 à 16 t/acre). Ces rendements, qui exportent du sol environ 268 kg de K_2O/ha (240 lbs/acre), montrent bien les exigences élevées en K de cette culture. Dans la région forestière du Nigéria occidental, des essais de 12 ans montrent que l'on peut améliorer le rendement en manioc de 5,5% et en igname de 10%, au moyen d'une fumure de 75 kg de K_2O/ha (67 lbs/acre). En savane, sur igname et manioc on a obtenu un rendement supplémentaire de 5 à 14% de tubercules grâce à l'apport de 134,4 kg de K_2O/ha (120 lbs/acre). Dans les deux régions on recommande actuellement une fumure K de 67,2 kg de K_2O/ha (60 lbs/acre) pour ces deux cultures.

Les exigences en K augmentent avec l'intensification de la culture. Lorsque l'on fertilise l'igname uniquement avec du sulfate d'ammoniaque on constate très rapidement une diminution de la qualité. Les agriculteurs se plaignent maintenant déjà d'une moins bonne aptitude au stockage des tubercules et d'un noircissement lors de la cuisson (blackening). Cette diminution de rendement peut être évitée par une fumure potassique suffisante.

Sur des variétés de manioc doux (pauvres en acide prussique) et des variétés amères, on a obtenu une amélioration du rendement de plus de 30% avec des doses croissantes de K, ainsi qu'une meilleure qualité et des teneurs plus élevées en matière sèche et en amidon. En moyenne on obtint 100 kg de tubercules frais par kg de K_2O . Sans approvisionnement potassique, la teneur en amidon des tubercules n'a augmenté que de 20% du 9ème au 12ème mois de croissance. Avec un bon approvisionnement potassique, la teneur en amidon a presque doublé pendant la même période; ceci prouve que l'igname a encore besoin de K à ce stade de la croissance. De plus, la teneur en acide prussique des tubercules a diminué en proportion inverse de l'approvisionnement en K. Il est donc certain qu'une fumure potassique adéquate donne non seulement des rendements plus élevés, mais encore une meilleure qualité des récoltes.

La réponse du riz au potassium à Madagascar

J. Velly, Institut de Recherches Agronomiques Tropicales (IRAT), Paris/France

Résumé

La réponse du riz à la potasse à Madagascar a fait l'objet d'expérimentation depuis une période déjà relativement ancienne. Durant les années 1961-1964, une série d'essais factoriels pluriannuels comportant la combinaison des trois éléments N, P et K à deux doses avait été mise en place dans plusieurs localités des Plateaux malgaches.

Par la suite, dès 1964, et sous l'impulsion de M. le professeur *Chaminade*, la fertilisation a été reprise suivant un principe différent comportant, en résumé, les étapes suivantes:

- diagnostic des carences, en vases de végétation,
- détermination au champ de la fertilisation de redressement,
- maintien du potentiel de fertilité ainsi acquis grâce à une fertilisation d'entretien appropriée.

Cette expérimentation a été conduite de façon parallèle pour les principaux éléments nutritifs. Nous rendrons compte brièvement ici de ce qui a été réalisé dans le domaine de la fertilisation potassique du riz.

1. Expérimentation 1961-1964

Pendant cette période, un essai factoriel uniforme comportant les trois éléments N, P, K aux doses 0 et 1 (avec huit traitements et quatre répétitions) a été mis en place dans de nombreux endroits de Madagascar et, en particulier, dans la Province de Tananarive qui en comportait dix. Ils ont en général été suivis pendant trois ans.

Les doses d'engrais apportées à l'hectare étaient de:

N = 30 kg d'azote (sulfate d'ammoniaque)

P = 60 kg de P_2O_5 (phosphate tricalcique)

K = 45 kg de K_2O (chlorure de potasse).

Nous examinerons, pour simplifier, les résultats des 10 points d'essais de la Province de Tananarive. Il s'agit de sols hydromorphes variés (alluvions argilo-limoneuses, humiques à gley, organiques à gley, d'origine basaltique, etc.) représentant ainsi les sols de rizière les plus couramment rencontrés dans l'île.

Les effets principaux des éléments apportés ont été calculés, nous indiquerons ici les effets K.

En première année, seuls 4 essais sur 10 présentent un effet K significatif. Dès la deuxième année, cet effet devient significatif pour 7 essais et il l'est resté ou devenu pour tous les essais qui ont été poursuivis une troisième année.

On peut, en ce qui concerne la potasse, résumer brièvement les conclusions de cette série d'essais.

Pour l'ensemble des 10 essais, et pour une période de 3 ans, l'apport de potasse seule (comparaison du témoin et du traitement K), produit, par kilo de K_2O apporté, 13,2 kg de paddy à l'hectare.

Si l'on procède à une comparaison analogue, les éléments étant cette fois apportés ensemble (différence NPK-NP) on obtient un supplément de rendement moyen de 550 kg/ha, soit 12,2 kg de paddy/ha par kilo de K_2O apporté.

Le détail de ces essais a été rapporté par *P. Roche et al. [1]*.

De cette première phase d'essais, on peut donc retenir, qu'avec des doses d'engrais modestes, mais qui permettaient cependant d'obtenir des rendements en riz convenables, l'apport de potasse s'avérait indispensable et avait une bonne efficacité.

2. *Expérimentation réalisée depuis 1964*

A partir de 1964 et sous l'impulsion de M. le professeur *Chaminade*, les essais de l'IRAT en matière de fertilisation se sont orientés vers la recherche de la production maximum grâce à la correction préalable des carences minérales du sol. Les étapes suivantes ont été utilisées :

2.1. *Diagnostics des carences en vases de végétation*

Pour nous en tenir aux seuls sols hydromorphes, on a pu remarquer que, plus l'hydromorphose est forte, plus la potasse est déficiente, dans les sols hydromorphes minéraux à argiles pauvres en feldspaths potassiques.

Dans les sols hydromorphes organiques tourbeux, la carence en potasse est liée au degré d'évolution de la matière organique. Les sols tourbeux récents ne présentent pas de carence en potasse.

Il en est de même des sols formés à partir d'alluvions récentes (alluvions fluviales ou colluvions arrachées à des matériaux géologiques divers).

Ces tests en vases de végétation ont montré que, pour beaucoup des sols étudiés, la carence en potasse apparaît dès la deuxième coupe, ce qui indique de faibles réserves et la nécessité d'apporter à ces sols une fertilisation d'entretien en potasse dès leur mise en culture.

2.2. *Fertilisation de redressement en rizière*

Dès 1964 nous avons cherché à savoir, pour les principaux types de sol cultivés en rizière à Madagascar, si un apport plus ou moins important de potasse en fertilisation de redressement permettait d'augmenter fortement les rendements. Ce genre d'essais doit donner sa réponse dès la première année, si l'année est normale.

Nous avons utilisé la technique des courbes de réponse comportant six doses de potasse, dont une dose 0, tous les autres éléments étant fournis en abondance. Il n'y a, en principe, qu'un seul facteur limitant, la potasse, apportée à des doses de 0 à 600 kg de K_2O par hectare.

Les résultats obtenus pendant les deux premières années peuvent être résumés comme suit, en fonction des types de sols.

Sols tourbeux

Que ce soit sur les sols tourbeux récemment récupérés ou sur des sols tourbeux cultivés depuis plusieurs années et ayant déjà subi une certaine évolution, il n'a pas été constaté de réponse aux apports de potasse.

Sols hydromorphes humiques à gley

Sur huit points d'essais dans cette catégorie, deux seulement ont montré une réponse à des doses de potasse allant de 180 à 270 kg de K_2O /ha. Ce sont des sols formés sur alluvions anciennes. Sur tous les autres, aucune réponse n'a pu être observée pendant les deux premières années.

Sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley

Il y a, d'une manière générale, très peu de réponse à la potasse sur ces sols. Quand il y en a une, elle est de l'ordre de la fertilisation d'entretien. Nous n'en parlerons donc pas ici.

Sols peu évolués d'apport

Pas de réponse à la potasse sur ces sols en fertilisation de redressement.

Sols ferrugineux tropicaux

Pas de réponse non plus à la potasse sur ces sols.

Nous voyons donc que, d'une manière très générale, il ne se pose pas de problème de fertilisation de redressement en potasse sur les sols de rizière de Madagascar. Par contre, il est apparu que cet élément devenait très rapidement indispensable en fertilisation d'entretien, dès qu'on décide de pratiquer une riziculture intensive.

2.3. *Arrière-action des apports de potasse*

Nous avons commencé à aborder le problème de la fertilisation d'entretien en suivant l'arrière-action, quand il y en avait une, des apports de potasse effectués à des doses croissantes sur les essais de fertilisation de redressement. Nous citerons deux exemples, caractéristiques de la marche du phénomène.

2.3.1. Exemple de Mahitsy

Ces rizières, situées à 30 km de Tananarive, sont sur des sols hydromorphes humiques à gley, où il n'y a eu aucune réponse à la potasse la première année. L'essai a été suivi en arrière-action pendant trois ans, sans aucun nouvel apport de potasse.

Les rendements obtenus pendant ces quatre années sont indiqués dans le tableau 1, en kilos de paddy par hectare (moyenne des six répétitions).

Comme on peut le voir sur ce tableau, pendant trois ans, il n'y a eu aucune différence significative entre les traitements. Le changement apparaît en quatrième année où l'on voit des différences entre les traitements. Les rendements sont dans l'ensemble bas et

Tableau 1

	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68
K 0	6331	5813	7074	3609
K 90	6086	5463	7601	4061
K 180	6047	5565	7385	4055
K 270	6481	5746	6986	3998
K 360	6300	5667	7281	4243
K 600	6123	6123	7540	4901
C.V. %	8,0	6,1	8,0	9,9
ppds 5%	non significative	non significative	non significative	550k/ha

l'essai montre des signes généralisés de carence en potasse: taches brunes sur les feuilles, pailles tachées également, molles et sans résistance, taille courte (20 cm en moyenne de moins que la normale).

On peut saisir ce qui s'est passé en étudiant l'évolution du potassium dans la plante pendant ces quatre années.

La première année, il n'y a pas de différences significatives entre les teneurs en K des pailles et grains des différents traitements. La teneur moyenne, pour l'ensemble de l'essai est de 0,238% de K dans les grains et 2,998% de K dans les pailles.

Les analyses n'ont pas été refaites la deuxième année, mais la troisième. A ce moment, il n'y a toujours pas de différences significatives entre les teneurs en K des différents traitements, mais les teneurs moyennes sont devenues 0,284% de K dans les grains et 0,906% de K dans les pailles.

Malgré un rendement très bon cette année-là, la teneur en K des pailles n'est plus que le tiers de ce qu'elle était deux ans avant. Il n'y a encore aucun symptôme de carence. Les résultats des diverses analyses effectuées la quatrième année sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2

Traitement	K % des feuilles (floraison)	K % des grains	K % des pailles
K 0	0,343	0,213	0,436
K 90	0,326	0,207	0,457
K 180	0,312	0,213	0,384
K 270	0,323	0,188	0,451
K 360	0,315	0,234	0,384
K 600	0,347	0,228	0,464

Il n'y a toujours pas de différences significatives entre les teneurs en K des différents organes analysés; tous les traitements donnent des riz sérieusement carencés, avec teneurs en K très basses.

En résumé, la première année, le riz de tous les traitements, en présence d'une forte fertilisation N et P qui lui donnait de la vigueur, a absorbé de la potasse en grande quantité, que l'on en ait ajouté ou non. Il y a eu consommation de luxe en potasse. Puis les teneurs en K ont baissé régulièrement au cours des années, et, en quatrième

année, la teneur en K des pailles est tombée à près d'un dixième de ce qu'elle était quatre ans plus tôt. A ce moment, il y a des symptômes graves sur tous les traitements. La conclusion pratique serait que, en l'absence de réponse à des doses croissantes de potasse la première année, on pourrait se dispenser d'apporter cet élément dans la fertilisation d'entretien. Il faudrait, dans ce cas, être très prudent, et surveiller attentivement la nutrition de la plante. Dès que la teneur en K de la paille approche de 1%, il faut apporter de la potasse au riz.

2.3.2. Exemple de l'Ivoloïna

Nous sommes toujours sur le même type de sol, un peu moins riche en éléments organiques que celui de Mahitsy, et à texture plus fine. L'expérimentation a lieu sur la Côte Est de Madagascar, chaude et humide. Il est possible d'y faire deux cultures de riz par an sur le même terrain, ce qui permet de voir apparaître plus rapidement et plus clairement les problèmes de nutrition.

Une courbe de réponse à la potasse avait été installée à l'Ivoloïna pendant la saison fraîche 1966 et a été suivie ensuite en arrière-action. Pendant les deux premières campagnes, il y a eu une réponse à la potasse, mais très faible, les rendements étant tous bons. Puis, à la troisième campagne, on observe une chute brutale de tous les rendements, qui se maintient en quatrième culture. Il y a des différences entre les traitements en fonction des apports de potasse antérieurs, mais elles sont faibles. Les symptômes de carence en potasse sont graves et généralisés.

Pour cette quatrième campagne, nous avons des diagnostics foliaires (au moment de la floraison) et des analyses de paille. Les résultats sont résumés dans le tableau 3 en K % de la matière sèche. Les chiffres sont la moyenne des six répétitions.

Tableau 3

Traitements	K % des feuilles	K % des pailles
K 0	0,953	0,329
K 90	1,083	0,375
K 180	0,932	0,302
K 270	0,942	0,415
K 360	0,969	0,354
K 600	1,031	0,388

Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements ni pour les pailles, ni pour les feuilles. Mais les teneurs des pailles en particulier sont très basses et bien en-dessous des seuils de carence.

En résumé, ces expérimentations montrent que la fertilisation de redressement potassique en rizière est rarement indispensable. Cet élément n'est pas, ou très faiblement, stocké et le riz a la possibilité d'en absorber de très grandes quantités, sans effet sur son rendement.

Sur les rizières malgaches, quand elles ont été exploitées de façon traditionnelle, ce sont surtout le phosphore et ensuite l'azote qui manquent d'abord. La potasse du sol a été relativement peu épuisée, mais dès que la riziculture devient plus intensive, le besoin s'en fait sentir dans la fertilisation.

2.4. Fertilisation d'entretien proprement dite

L'expérimentation sur ce sujet a comporté plusieurs thèmes, dont nous rendrons compte brièvement à tour de rôle.

2.4.1. Apport de potasse par enfouissement de pailles

Deux essais ont été réalisés sur ce sujet, l'un à Mahitsy, à 30 km de Tananarive, sur un sol hydromorphe à gley, l'autre à Ambatobe, à proximité immédiate de Tananarive, sur des alluvions hydromorphes argileuses tachetées. Ils ont été poursuivis pendant deux ans, et le compte rendu a été fait par *J. Velly* [2].

Dans les deux localités, les traitements comportaient trois doses d'azote (50–100–150 kg/ha) avec ou sans enfouissement de paille (6 t/ha). Du phosphore était par ailleurs apporté en fertilisation d'entretien.

On peut résumer les résultats obtenus sur ces essais de la façon suivante:

a) A *Mahitsy*, en première année, il n'apparaît aucune interaction entre l'effet de l'azote et l'enfouissement de la paille.

En deuxième année, on n'a pas d'effet de l'azote en l'absence de paille. En présence de paille, on a un effet linéaire très significatif de l'azote et, dans ces conditions, un kilo d'azote produit en moyenne 9,3 kg de paddy.

Les analyses foliaires effectuées sur le riz au moment de la floraison, ainsi que les analyses de pailles faites à la récolte, montrent que le manque d'efficacité de l'azote, en l'absence de paille, est dû à une carence en potasse chez le riz. Au bout de deux ans, celle-ci est encore peu nette et se manifeste extérieurement par une diminution de la taille des plants, qui en l'absence de paille, ont une dizaine de centimètres de moins.

Par ailleurs, le poids moyen d'un épi est significativement plus élevé dans le cas des parcelles avec paille.

b) A *Ambatobe*, les conclusions apparues sont très voisines de celles de Mahitsy. Il n'apparaît pas d'effet de la paille en première année. L'année suivante, il y a un effet significatif de l'enfouissement de paille, et d'autre part, un effet linéaire de l'azote. Comme à Mahitsy, l'effet de la paille est dû à la potasse qu'elle apporte au riz. La carence ici est moins sérieuse qu'à Mahitsy et l'absence de paille n'empêche pas l'effet de l'azote, mais elle existe cependant. En effet on la constate par l'analyse de la paille, par la diminution de la taille des plants, et par le poids plus faible des épis en l'absence de paille.

Pour résumer ces résultats on peut dire que l'enfouissement des pailles peut constituer, pendant un certain temps, une solution au problème de la fertilisation potassique. Cependant, même dans ce cas, les prélèvements de potasse sont toujours supérieurs aux restitutions et un apport d'engrais s'avère toujours nécessaire.

2.4.2. Apports d'engrais potassique

Nous donnerons en exemple ce qui a été effectué à la Station de l'Ivoloïna, mais des résultats analogues ont été observés ailleurs. Nous avons mis en place un essai de doses croissantes de potasse, entre 0 et 300 kg/ha de K_2O à chaque campagne avec une fertilisation N et P largement suffisante. Nous nous sommes installés pour cela sur un ancien essai de courbe de réponse à la potasse que nous savions être uniformément épuisé.

L'expérimentation s'est déroulée pendant trois campagnes et a fait l'objet d'un compte rendu détaillé par *J. Velly* [3]. Nous en résumerons simplement les conclusions. Les rendements de ces trois campagnes sont donnés dans le tableau 4, en kilos de paddy à l'hectare.

Tableau 4

Traitements	1968	1968/69	1969
K 0	3931	4063	4217
K 60	5258	4734	5577
K 120	5693	4809	5775
K 180	5751	4979	5894
K 240	5968	5169	5963
K 300	6223	5414	6218
C.V. %	5,00	4,18	4,10
ppds 5%	323 kg/ha	242 kg/ha	273 kg/ha

Pour toutes ces campagnes nous disposons d'analyses de feuilles, de pailles et de grains. Dans le tableau 5, on trouvera les teneurs en K % des pailles, qui nous ont paru les plus instructives (K % de la matière sèche, moyenne des six répétitions).

Tableau 5

Traitements	1968	1968/69	1969
K 0	0,395	0,390	0,304
K 60	0,397	0,583	0,707
K 120	0,685	1,270	1,347
K 180	0,959	1,354	1,895
K 240	1,098	1,556	2,131
K 300	1,077	1,690	2,511

On peut tirer de ces essais les enseignements suivants :

- On a vu dans le tableau 4 que les rendements augmentent avec les doses croissantes de potasse, mais très inégalement. La croissance est très forte entre 0 et 60 kg de K_2O /ha, beaucoup plus lente ensuite.
- Au cours des trois campagnes, pour une même dose de potasse, la plante s'est progressivement enrichie en potassium. Au cours de la première culture, une partie de la potasse apportée a dû être fixée par le sol, qui en était dépourvu, mais les teneurs dans la paille restent modestes. Il n'en est plus de même à la deuxième et surtout à la troisième campagne.
Pour les fortes doses de potasse, la plante se gorge de K, avec consommation de luxe, sans influence sur le rendement, surtout en troisième année.
- Les résultats d'analyses ont permis de calculer les exportations (paille et grain) de la plante. Celles-ci augmentent peu pour les faibles doses de fumure, mais deviennent très fortes quand le riz reçoit plus de 180 kg de K_2O à l'hectare. Dans le premier stade, on a production d'une plus grande quantité de matière sèche un peu plus riche en potasse. Ensuite les exportations augmentent surtout par consommation de luxe du riz en potasse.

- L'étude de la nutrition montre que la plante utilise remarquablement bien les 60 premiers kilos de potasse qu'on lui apporte. Dans cet intervalle, chaque kilo de potasse produit 18,6 kg de paddy (moyenne de trois campagnes). Par ailleurs, la paille nous paraît être l'organe où le diagnostic de la carence est le plus sûr. C'est là que les variations de la teneur en K sont les plus intéressantes. Quand celle-ci tombe en-dessous de 1%, il y a un risque certain de carence.
- L'expérience tirée de ces trois campagnes nous fait conseiller une fumure d'entretien en potasse de l'ordre de 90 kg/ha par culture. A ce niveau, l'utilisation est très bonne, et il n'y a pas de consommation de luxe. Cette fertilisation permet de maintenir des rendements de 5 à 6 t/ha de paddy à raison de deux cultures par an.
- Enfin, il est intéressant de remarquer que, sans aucun apport de potasse, le sol peut fournir près de 8 t/ha de paddy par an. Ceci explique la rareté des carences en potasse sur les rizières malgaches qui produisent 2,5 à 3 t/ha de paddy par an. Le manque de potassium apparaît comme un effet direct de l'intensification de la riziculture.

2.4.3. Fractionnement de la fertilisation potassique

Toujours à Tamatave une expérience a été mise en place pour étudier l'effet du fractionnement des apports de potasse en rizière. Les résultats des deux campagnes sont résumés dans le tableau 6 en kilos de paddy à l'hectare (moyenne des six répétitions). La potasse a été apportée soit en une fois (au repiquage), soit en deux fois (moitié au repiquage, moitié en début de montaison).

Tableau 6

Traitements	Saison chaude 1969/70	Saison fraîche 1970
K 0	3098	4295
60 kg de K ₂ O en une fois	4755	5869
60 kg de K ₂ O en deux fois	5147	6192
90 kg de K ₂ O en une fois	5627	6105
90 kg de K ₂ O en deux fois	5608	6370
120 kg de K ₂ O en une fois	6118	6829
C.V. %	5,83	4,65
ppds 5%	350 kg/ha	328 kg/ha

On retrouve encore l'intérêt très grand de la fertilisation potassique et en particulier celui des 60 premiers kilos de potasse. Sur les deux campagnes, il procure un accroissement moyen de rendement de 1615 kg de paddy à l'hectare. Le fractionnement de cet apport permet de produire 357 kg de paddy/hectare supplémentaires. Ce seul excédent paye largement les 60 kg de K₂O apportés.

2.4.4. Apports combinés de potasse et de silice

Les analyses de paille, effectuées de façon systématique sur les essais de fertilisation potassique de Tamatave, nous ont montré des teneurs en silice faibles (ne dépassant pas 6 à 7%). Nous avons alors cherché à savoir si la correction de cette déficience en silice pouvait affecter la nutrition potassique du riz.

Nous avons poursuivi l'essai de potasse à doses croissantes, en subdivisant les parcelles, une moitié recevant 4 t/ha de silicate de calcium et l'autre ne recevant rien. Ceci a été fait à la campagne 1970/71. On a ensuite suivi l'arrière-action de cet apport de silice, jusqu'à la dernière campagne 1972/73 qui vient d'être récoltée.

Les rendements obtenus sur cet essai au cours des cinq saisons d'essais sont résumés dans le tableau 7, en kilos de paddy par hectare, moyenne des six répétitions. Rappelons que l'essai a été conduit à raison de deux cultures par an.

Tableau 7

Traitements	Saison chaude 1970/71	Saison fraîche 1971	Saison chaude 1971/72	Saison fraîche 1972	Saison chaude 1972/73
K 0	3590	4227	2817	2882	3619
K 0+silice	5172	5066	3254	3080	3940
K 60	4984	5998	3909	5716	4378
K 60+silice	6495	7004	4189	6335	4592
K 90	5232	6339	4057	6028	4218
K 90+silice	6604	7104	4293	6727	4814
K 120	6175	6525	3985	6009	4261
K 120+silice	6920	7487	4231	6831	4932

Les résultats obtenus successivement n'ont absolument pas varié. Pour chaque culture, on a eu un effet des doses de K extrêmement significatif et un effet de la silice également très significatif. Il n'y a pas eu d'interactions. En ce qui concerne les rendements il n'y a donc pas eu d'influence de la silice sur l'effet des apports de potasse. Ce qui vient d'être dit pour le grain est valable également pour les pailles, dont les rendements ont été aussi mesurés. Les conclusions sont identiques.

La nutrition de la plante en potassium a été aussi suivie au cours de l'expérimentation par analyses des feuilles (à la floraison) ainsi que des pailles et des grains à la récolte. On peut donc résumer succinctement les observations réalisées :

a) Analyses foliaires

Il y a eu, deux campagnes sur cinq, un effet significatif de l'apport de silice sur la teneur en K des feuilles. Dans les deux cas, cet apport a élevé la teneur en potassium.

b) Analyses des pailles

Il n'y a jamais eu d'effet de la silice sur la teneur en potassium.

c) Analyses des grains

Ici, au contraire, on a eu de façon répétée, un effet très hautement significatif de l'apport de silice sur la teneur en potassium du grain. Cet apport a toujours élevé le taux de K du grain.

Pour résumer cette expérience, on peut dire que l'apport de silice n'a pas modifié l'influence des apports de potasse, ni sur les rendements en grains, ni sur la production de paille.

En ce qui concerne la nutrition potassique de la plante, seul le grain a vu, de façon régulière, sa teneur en potassium augmentée par l'apport de silice.

2.4.5. Fertilisation potassique en vulgarisation agricole

Il nous reste à rendre compte d'une expérimentation qui a été poursuivie pendant trois ans, de 1971 à 1973, pour persuader les organismes d'encadrement agricole de la nécessité d'inclure la potasse dans la fertilisation du riz, même lorsque celle-ci se fait à un niveau modeste.

Depuis plusieurs années, on recommande, sur les rizières des Plateaux malgaches, l'apport au repiquage de la formule 30-60-45. Celle-ci est parfois complétée par l'apport en couverture, en fin de tallage, de 30 unités d'azote supplémentaires, donnant l'équilibre 60-60-45.

Il nous a été demandé si l'apport d'azote et de phosphore ne serait pas suffisant. Nous avons donc mis en place un essai qui comportait les traitements suivants :

- 1-Témoin non fertilisé
- 2-30-60- 0
- 3-30-60-45
- 4-60-60- 0
- 5-60-60-45

Les traitements 4 et 5 reçoivent 30 kg d'azote en couverture. L'expérimentation a été placée sur un sol hydromorphe humifère à gley et a duré trois campagnes. Les rendements obtenus durant ce temps sont résumés dans le tableau 8 en kilos de paddy à l'hectare (moyenne des huit répétitions).

Tableau 8

Traitements	1970/71	1971/72	1972/73
Témoin non fertilisé	3358	2066	2184
30-60- 0.....	3973	2737	2793
30-60-45.....	3967	2812	2868
60-60- 0.....	4796	3027	2868
60-60-45.....	4710	2934	3295

Pendant les deux premières années, on n'observe pas de différences significatives, à doses d'azote égales, entre les traitements qui reçoivent de la potasse et ceux qui n'en reçoivent pas. En troisième année, les choses sont différentes.

Pour les traitements 2 et 3 (30 kg d'azote), les rendements ne sont pas significativement différents. Par contre, l'absence de potasse dans le traitement 4 empêche les 30 unités supplémentaires d'azote de produire leur effet et joue donc là le rôle d'un facteur limitant. Il y a une différence très hautement significative entre les traitements 5 et 4. Les parcelles du traitement 4 présentent d'autre part des symptômes très nets de carence en potasse (feuilles brunies, pailles plus ou moins rabougries et sans consistance), ainsi qu'une forte attaque de piriculariose.

Nous avons procédé, sur les traitements 4 et 5, à des comptages de pieds atteints de piriculariose nodale, un mois avant la récolte et à la récolte. Les moyennes des pieds atteints par parcelle élémentaire de 16 m² (moyenne des huit répétitions) sont données dans le tableau 9.

Tableau 9

Traitements	Un mois avant la récolte	A la récolte
60-60- 0.....	59	72
60-60-45.....	38	43

Des analyses de paille ont été également faites à la récolte et les teneurs en K (% de la matière sèche) sont données ci-dessous (moyenne des huit répétitions):

1-Témoin	1,087
2-30-60- 0.....	1,006
3-30-60-45.....	1,537
4-60-60- 0.....	0,532
5-60-60-45.....	1,198

Il y a des différences hautement significatives entre les traitements. Avec 30 unités d'azote, le traitement sans potasse est à la limite de la carence, mais les 45 unités de K_2O suffisent à assurer une nutrition potassique convenable.

Au niveau N 60, l'absence de potasse provoque une carence grave en cet élément, et l'apport de 45 unités de K_2O dans la fertilisation amène le riz juste au-dessus du niveau de carence.

Cette expérimentation recoupe celles que nous avons citées plus haut (paragraphe 2.3.1. et 2.3.2.), mais celles-ci s'étaient déroulées avec des niveaux de fertilisation en N et P beaucoup plus importants. Il semble donc bien établi que, même avec des doses d'éléments fertilisants modestes et en obtenant des rendements peu élevés, il est prudent d'inclure, dès le début, de la potasse dans la fertilisation d'entretien du riz.

3. Conclusion

Les expériences dont nous avons rendu brièvement compte permettent de tirer un certain nombre de conclusions concernant la fertilisation potassique du riz à Madagascar.

Tout d'abord, il ne semble pas qu'il soit nécessaire d'envisager une fertilisation de redressement potassique sur les sols de rizière. Dans la quasi-totalité des cas où nous l'avons essayée, nous n'avons pas obtenu de résultat.

Par contre, il nous paraît que la fertilisation potassique est typiquement du ressort de la fumure d'entretien.

Même pour des niveaux de fertilisation et de production rizicole peu élevés, l'inclusion de la potasse dans la fertilisation d'entretien devient rapidement nécessaire.

Ceci est d'autant plus vrai que les niveaux d'apports des autres éléments sont plus élevés et que la production est plus intensive. On s'aperçoit alors que les réserves potassiques du sol, ou tout au moins leur fraction facilement assimilable, peuvent s'épuiser vite. Il faut donc arriver rapidement à compenser au moins les exportations en potasse de la plante, et ceci, de la façon la plus économique possible, pour des pays où le riz est surtout une culture vivrière.

Nous avons vu que, là où c'était possible, l'enfouissement des pailles peut assurer une partie des besoins en potasse du riz. D'autre part, le fractionnement de l'apport de potasse peut se montrer également intéressant.

Il n'y a pas non plus intérêt à apporter au riz des doses de potasse trop fortes, car, comme beaucoup d'autres plantes, il peut se gorger de cet élément sans aucun effet sur le rendement. Il semble qu'une dose de 90 kg de K_2O à l'hectare permette d'obtenir de bons rendements avec une très bonne utilisation de l'engrais apporté. Enfin, lorsqu'il y a hésitation pour savoir s'il faut ou non apporter de la potasse, l'analyse de la paille à la récolte nous paraît l'élément de décision le plus sûr. Si les teneurs en K sont inférieures à 1%, il faut, à coup sûr, faire un apport de potasse. Il est indispensable d'examiner les effets des éléments nutritifs pendant plusieurs années au même endroit, ce qui a été le cas pour nos essais. Ce n'est que par ce procédé qu'il a été possible de déterminer les effets de K, qui ne se sont manifestés de façon progressive qu'au cours des deuxième et troisième années en donnant des augmentations de rendement de 13,2 à 18,6 kg de riz. paddy par kilo de K_2O .

Références

1. Roche P., Velly J., Dufournet R., Celton J. et Rabetrano A.: Fertilisation en rizière. Rapport sur les trois années d'expérimentation régionale 1961-1964. Document IRAM, p. 1-23, mai 1965.
2. Velly J.: Quelques aspects de la fumure potassique en rizière. L'Agronomie Tropicale *XXV*, n° 1, p. 18-21 (1970).
3. Velly J.: Fertilisation potassique en rizière. Compte rendu de trois campagnes d'expérimentation à la Station de l'Ivoloina (Tamatave). L'Agronomie Tropicale *XXVII*, n° 6-7, p. 655-665 (1972).

K-Response on Rice in Madagascar

J. Velly. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales (IRAT), Paris/France

Extended Summary

Experiments 1961-64

From 1961 to 1964 a number of factorial experiments, each of several years' duration, combining N, P and K at rates 0 and 1

(N 1 = 30 kg/ha N; P 1 = 60 kg/ha P_2O_5 ; K 1 = 45 kg/ha K_2O)

were carried out in many parts of Madagascar, in particular at ten places in the Province of Tananarive, on varied hydromorphic soils.

During the 1st year, only 4 trials showed a significant K effect; in the 2nd year the effect became significant for 7 trials, and in the 3rd year for all trials carried out.

The application of K alone (difference K-O) produced per kg K_2O applied, 13.2 kg/ha of paddy rice; in the presence of NP (difference NPK-NP) this application enabled a supplementary average yield of 12.2 kg/ha of paddy rice to be obtained.

Later trials. Later on the trials were directed towards the initial correcting of nutrient deficiencies by deficiency diagnosis in pots; determination in the field of the correcting manure; and towards the study of maintenance fertilization.

Pot trials. The study of soils in pots showed that the stronger the hydromorphosis, the more deficient K is, in the mineral hydromorphic soils with clays poor in potassic feldspar. In the organic hydromorphic soils the K deficiency is linked to the degree of evolution of the organic matter, the recent late boggy soils not being K deficient. For many of the soils studied the K deficiency appears as early as at the 2nd cut.

Corrective dressing. As early as 1964, trials with 6 rates of K (0 to 600 kg/ha K_2O) were carried out on the main types of rice soils. Generally speaking except for certain humic hydromorphic soils with gley on old alluvia, there is no corrective dressing problem. On the contrary it appears that K very quickly becomes absolutely necessary as a maintenance dressing, as soon as one decides to practice intensive rice growing.

K residual action. Subsequent effect of K has been studied in these experiments at 6 rates of K. Two results are presented, on organic hydromorphic soils with gley. Table 1 (see French version) gives yields in kg/ha paddy rice at Mahitsy; the K content of straws diminishes with the passing of years but treatment differences do appear until the 4th year. Table 2 (see French version) indicates analysis results of rice at flowering and harvest times obtained during the 4th year; the straw K content almost dropped to 1/10th of what it was at the start and all treatments showed severe K deficiency symptoms. It is therefore necessary to bring K into the maintenance dressing.

In the 2nd Trial at Ivoloïna there was a very small K response as early as the 1st and 2nd crop year. Then appeared a fall in all yields, with small differences between treatments according to previous K applications, and the appearance of severe and generalised K deficiency symptoms. Table 3 (see French version) gives K contents in leaves at flowering time and in straw for the 4th crop year.

Maintenance manure. Potash maintenance fertilisation has been studied, with ploughing in of straw and with application of potassic manure.

In the first case, foliar diagnosis and straw analysis showed that in the 2nd year the lack of efficiency of N in the absence of straw is due to a K deficiency. The plough-in of straw can be a makeshift solution to the potash manuring problem but the K removals are always higher than the restitutions; a further supply of K is always necessary.

In the second case, increasing rates of K from 0 to 300 kg/ha/year K_2O were applied during 3 years. Table 4 (see French version) indicates for one of these trials the yield in kg/ha of paddy rice during the 3 cropping years, and Table 5 (see French version) the K contents of the straw. Rice yields increase with increasing rates of K. At the 60 kg/ha level, 1 kg K_2O yields on average 18.6 kg of paddy rice. These results lead to the suggestion of upkeeping manure of 90 kg/ha per crop, thanks to which it is possible to harvest 5 to 6 t/ha paddy rice per crop at a rate of 2 crops per year.

Splitting of manure. Table 6 (see French version) shows the yield in kg/ha of paddy rice in tests of split K application. Rates of 60 and 90 kg/ha K_2O were applied either at one time, at transplanting, or twice: at transplanting and at the beginning of panicle initiation; they give good yield increments and split application gives considerable profit.

Potash and silica applications. Plots of the same experiment have been subdivided and half of them have received in 1970/71 4 t/ha of calcium silicate. In Table 7 (see French version) are given the paddy rice yields in kg/ha for 5 years of experiment. Again, K had an extremely significant effect, and so did silica. There was no interaction between the two nutrients.

Potash manuring and agricultural extension. In agricultural extension 5 treatments (among them the balance 30 - 60 - 45, advised already for many years) have been compared. Treatments 4 and 5 received in addition 30 kg N as top dressing at the end of the tillering. Table 8 (see French version) indicates yields in kg/ha of paddy rice in humified hydromorphic soil. During the first 2 years there was no significant K effect. In the 3rd year it was the same for the treatment with low rate of N, whilst in the absence of K the supplementary 30 kg of N could not produce its effect, and the difference was highly significant between treatments 5 and 4. The plots of treatment 4 were strongly deficient in K - the K contents of straw were lower than 1% of the dry matter - and showed a strong attack of neck-blast as shown in Table 9 (see French version) (countings 1 month before harvest and at harvest time).

The Use of Fertilisers in the Maintenance of Soil Fertility under Intensive Cropping in Northern Nigeria

R. G. Heathcote, Institute for Agricultural Research, Zaria/Nigeria

Summary

Long-term trials carried out at three sites in northern Nigeria have shown that high crop yields can be maintained for at least five years under intensive conditions through the judicious use of fertilisers on their own. Under these conditions, accessions of organic material from roots and from leaf shedding are sufficient to maintain soil organic matter at a level which, although low, appears to be adequate.

The limitations of annual fertiliser trials, and of long-term ones which include the regular application of organic manure, are pointed out. The failure to identify the need for potassium fertiliser is particularly emphasised as an illustration of the erroneous conclusions that may be drawn. The work described in this paper has clearly shown that the use of potassium fertiliser is essential under intensive and continuous agriculture in some areas in which the soil potassium status had earlier been considered adequate.

Early fertiliser experiments in northern Nigeria tested applications of nitrogen, phosphate and potassium in a series of annual trials, using unimproved crop varieties of limited yield potential and in the absence of measures to control pest or disease attack. These experiments showed that economic responses could be expected from moderate applications of phosphate and nitrogen, but not from potassium.

In 1949/50, long-term trials were started at seven sites in northern Nigeria to determine whether yields could be maintained under continuous cultivation, and the best combination of organic manure and inorganic fertilisers needed to achieve this. Dung, at three rates of up to 4 t/ha per annum, was compared with three rates of ammonium sulphate, single superphosphate and potassium chloride providing N, P and K at maximum rates of 23, 10 and 26 kg/ha per annum respectively. The experiments were of factorial design, and measured all combinations of the above treatments. The very low rates of nitrogen and phosphate application were chosen on the basis of the results of the initial annual trials.

In 1959, the results of these experiments up to that time were reviewed by *Obi* [9], who concluded that fertilisers compared very unfavourably with dung in respect of crop yields, and that regular applications of organic manure were essential to maintain fertility under intensive conditions. It was also concluded that the low rates of nitrogen and phosphate applied represented the range of economic interest, and that no response could be expected from potassium.

Some of the limitations of these experiments have been reported. *Bache* [2] showed how the continued application of ammonium sulphate could lead to a potentially serious problem of soil acidity, and that much of the effectiveness of dung could be explained on the basis of its buffering effect. *Heathcote* [3] pointed out that nitrogen and phosphate were being applied at much higher rates in the dung treatments than in the corresponding fertiliser treatments. This was also true of potassium. A further limitation is that the experimental design allows only the measurement of main effects and of first-order interactions, so that only the primary limiting nutrients – phosphate and nitrogen – can be identified.

In 1959, an extensive programme of annual fertiliser trials was started to provide a basis for recommendations to farmers on the most important crops of the region. Experimental treatments were ammonium sulphate and single superphosphate at maximum rates based partly on the results of earlier annual and long-term trials. The rates for sorghum and groundnuts corresponded closely to those given above, but were about double these for cotton and maize. The results of this programme have been reported for groundnuts (*Goldsworthy* and *Heathcote* [4]), for sorghum (*Goldsworthy* [3]), maize (*Goldsworthy* [3]), and for cotton (*Palmer* and *Goldsworthy* [8]). The purpose of this paper is to show that, while the results of such annual trials are entirely valid in the context in which they were carried out, they can be dangerously misleading if extrapolated into the different situation posed by continuous and intensive cropping.

Nitrogen and phosphate

In 1967 a long-term trial was started at Samaru on a site that had been cultivated for three years after clearing from natural vegetation. Single superphosphate was applied annually at four rates to supply: 11 (F_1), 22 (F_2), 33 (F_3) and 44 kg/ha P (F_4). Nitrogen as calcium ammonium nitrate was applied at a constant N:P ratio of 4:1 for cotton and maize and 2.5:1 for sorghum. No nitrogen was given to groundnuts. The above NP applications (F_1 – F_4) were factorially combined with tests of potassium (0 vs 45 kg/ha K) and of trace elements, the latter applied as sprays. Table 1 gives the mean yields obtained from the main treatments. No organic manure was applied, and as far as practicable, all crop residues were removed at the end of each season.

Table 1. The effects of fertiliser on crop yields under continuous cultivation at Samaru. Yields in kg/ha grain, seed cotton and groundnut kernels

Year	Crop	F_1	F_2	F_3	F_4	S.E. +
1967	Cotton	1122	1299	1425	1326	74
1968	Maize	1315	2782	3572	4262	120
1969	Sorghum	1769	2537	2909	2936	105
1970	Maize	1407	3304	4495	4975	122
1971	Groundnuts	1754	2055	2082	2206	78
1972	Groundnuts	1447	1759	1729	1746	99

In the original long-term trials described above, one of which was at Samaru, organic manure was compared with nitrogen and phosphate fertilisers providing less of their

respective elements than in the F_1 treatment. In the programme of annual trials on specific crops started in 1959, maximum applied rates correspond approximately to the F_1 level for sorghum and groundnuts, and to the F_2 level for maize and cotton. As far as Samaru is concerned, it is clear that much of the effect of dung can be explained in terms of crops nutrition, and that in the short term at least fertilisers alone can maintain satisfactory yields.

Potassium

In the trial described above potassium had no significant effect on yields apart from one small response on maize in 1970.

In 1968, a new series of long-term trials was started at three sites in Northern Nigeria. Results of these up to and including 1971 have been reported elsewhere with respect to potassium (*Heathcote [6]*). Soil and climatic data for the three sites, together with experimental design and treatments, were also reported. The latter are briefly summarised below.

Single superphosphate was applied to the whole experimental area at a rate to supply 30 kg/ha P up to and including 1971 after which the rate was reduced to 20 kg/ha P. Nitrogen, as calcium ammonium nitrate, was applied at 0 and 80 kg/ha N with the following exceptions: at Kano the rate of application to cereals was changed to 58 and 116 kg/ha N from 1971; these rates were also applied to maize at Samaru in 1970. In 1972, maize at Samaru received 85 and 170 kg/ha N. Potassium, as potassium chloride, was applied at 0 and 45 kg/ha K except at Mokwa, where from 1971 the rate was changed to 0 and 80 kg/ha K.

In the 1972 trial at Mokwa, boron was applied at 0 and 0.65 kg/ha B, using ordinary and boronated single superphosphate respectively. Two replicates of 2^4 factorial design were used for each crop at each site.

The results of these trials with respect to potassium are reproduced in Tables 2-4. Where there was no significant interaction between potassium and other treatments the effect of potassium meaned over all other treatments is given. Where a significant interaction occurred the maximum effect of potassium is shown. The standard error in either case is that appropriate to the effect shown.

Tables 2-4 also show the maximum yields recorded for each trial in each year, that is the mean yield of plots receiving the optimum treatment combination. In instances where there no significant treatment effects the yield quoted is the mean of all treatments.

The large and consistent responses to potassium at Kano and Mokwa are the most significant features to emerge from these trials, and provide an excellent example of the risks of relying on annual trials, or on ill-considered long-term ones, as a means of formulating fertiliser regimes suited to intensive and continuous cropping. At Samaru, with its higher soil potassium status, responses have been much smaller and less consistent. At all of these sites, potassium-containing compounds are now in regular use on the majority of experimental crops.

New trials of similar design to those started in 1968 were started in the major groundnut areas of Nigeria in 1972, and despite a very unfavourable season have shown evidence of potassium deficiency at some sites where cropping has been relatively intensive in past years. Visual symptoms of deficiency in cotton have also been ob-

served under the same relatively intensive conditions, and a similar series of trials is being started in the major cotton areas in 1973. In both cases, it is intended that trials shall continue for a minimum of five years to enable deficiencies of potassium and other elements to be identified.

Table 2. The effects of potassium on the yields of experimental crops at Kano, maximum yields and treatments giving maximum yields

Yield and responses in kg/ha grain or kernels

Block i)				
Year and crop	Maximum Yield	Treatments	Maximum K response	S.E. Main Effect of K or interaction \pm
1968, Maize	1603	NK ¹	+ 944	222
1969, Sorghum	2366	NK	+ 772	182
1970, Groundnuts	1453	K	+ 357	158
1971, Sorghum	2111	NK ¹	+1188	129
1972, Groundnuts	2315	K	+ 391	139
Block ii)				
1969, Maize	1271	N	+ 125	124
1970, Sorghum	1638	NK	+ 310	114
1971, Groundnuts	1550	K	+ 328	122
1972, Maize	3856	K	+1085	200

¹ Significant 1st order interaction

Table 3. The effects of potassium on the yields of experimental crops at Samaru, maximum yields and treatments giving maximum yields

Yields and responses in kg/ha grain, kernels or seed cotton

Block i)				
Year and Crop	Maximum Yield	Treatments	Maximum K response	S.E. Main Effect of K or interaction \pm
1968, Maize	2862	NT ¹	+ 78	86
1969, Groundnuts	1469	-	-108	62
1970, Sorghum	2686	-	+231	304
1971, Cotton	1405	NB*	+ 4	64
1972, Cotton	2168	NB*	- 90	94
Block ii)				
1968, Sorghum	2761	NK	+289	76
1969, Cotton	1810	B	- 1	67
1970, Maize	5179	NK	+385	109
1971, Groundnuts ²	2480	K	+162	54
1972, Maize	6361	N	+182	164

¹ Response to mixture of B, Cu, Zn, Mo

² Haulm yields significantly increase by Mo

*Significant 1st order interaction

Table 4. The effects of potassium on the yields of experimental crops at Mokwa, maximum yields and treatments giving maximum yields

Yields and responses in kg/ha grain, kernels or seed cotton

Block i)				
Year and Crop	Maximum Yield	Treatments	Maximum K response	S.E. Main Effect of K or interaction \pm
1968, Maize	3287	NK	+ 309	123
1969, Sorghum	1717	N ₀	+ 351	81
1970, Maize	2596	NK *	+1417	201
1971, Groundnuts	993	-	+ 47	44
1972, Cotton	944	KB *	+ 587	57
Block ii)				
1968, Sorghum	1424	-	- 99	132
1969, Maize	3277	NKZ **	+1282	188
1970, Groundnuts	2622	-	- 95	121
1971, Maize	3875	KZn	+1541	163
1972, Groundnuts	821	-	+ 107	107

* Significant 1st order interaction

** Significant 2nd order interaction

Significant yield depression to nitrogen

Trace elements

Very little work on trace elements had been carried out in Northern Nigeria prior to the trials started in 1968, in which these were one of the experimental treatments. Such work as had been carried out tested application of one or more of these in annual trials under the non-intensive conditions already described. Not surprisingly, no evidence of a deficiency of any of them was obtained.

The long-term trials started in 1967/68 have shown clear evidence of molybdenum deficiency in groundnuts at Samaru, and of zinc deficiency in maize at Mokwa. In addition, they have contributed significantly to investigations on boron deficiency in cotton, especially in demonstrating the increasing severity of the condition under continuous cultivation (*Heathcote and Smithson [7]*). Time does not permit a detailed discussion of these, but it is worth emphasising that the limitations of annual trials, discussed in detail with respect to potassium, apply with equal force with respect to other elements.

Maintenance of fertility

Examination of yield data in Tables 1-4 does not suggest any general decline in maximum crop yields over a period of 5-6 years under intensive cropping. The only apparent exception, that of groundnuts at Mokwa, is chiefly due to variable disease attack.

This finding conflicts with the earlier view that the application of organic manure is essential to maintain yields under these conditions (*Obi [9]*). Results presented in this paper indicate that yields may be maintained by judicious fertiliser use alone in the short term. It is, however, essential that this finding should not be extrapolated

to cover the very different situation that may arise in later years; in the long term it may be necessary to adopt a system of agriculture that involves deliberate additions of organic material in order to maintain the level of soil organic matter above a critical minimum. If this proves to be the case, early trials involving comparisons between organic manure and fertilizers will have led to the correct conclusion being drawn for the wrong reasons.

In the long-term trial started in 1967 (Table 1), determinations of soil organic carbon were carried out on surface (0–15 cm) samples taken in 1967, 1968, 1970 and 1973. The initial mean level of organic carbon (1967) was 0.64%, and was 0.49%, 0.50% and 0.48% in 1968, 1970 and 1973 respectively. Levels in the three latter years were not significantly affected by experimental treatments, but by 1973 the mean level in the planted but unfertilized discards on the experimental site had fallen to 0.38%. Although no statistical comparison between levels of organic carbon on experimental plots and discards is possible, it is likely that application of fertilisers to experimental plots, leading to greatly increased crop growth, has resulted in much greater accessions of organic matter to the surface soil from roots and as a result of leaf shedding. *Bache* and *Heathcote* [2] found that annual applications of superphosphate at a rate corresponding to the F_1 level above significantly increased organic carbon levels in the surface horizon on another site at Samaru, which they explained on this basis.

The crucial points to emerge from consideration of the above data are that organic carbon levels do not appear to have fallen in the 5 years 1968–1972 on experimental plots to which fertilisers had been applied, and that the equilibrium level established, although low, is adequate for high crop yields under a judicious fertiliser regime. It is of interest that the 1972 groundnut crop gave one of the highest yields of total dry matter recorded for this crop at Samaru under optimal conditions in this trial, although pod yields were low as a result of unfavourable rainfall distribution.

Conclusions

Annual trials are of very limited value in predicting fertiliser requirements under intensive and continuous cropping, and may lead to dangerously misleading conclusions. The results of long-term trials which involve regular additions of organic materials are also liable to serious misinterpretation. In both cases, the failure to identify the need for potassium under intensive cropping is the most striking illustration of their limitations. Long-term trials of the kind described appear to offer a better means of determining how far fertilisers alone can maintain fertility, and of identifying specific nutrient requirements.

References

1. *Bache, B. W.*: Proc. 2nd FAO Meeting on Soil Fertility and Fertiliser Use in W. Africa. Dakar (January 1965).
2. *Bache, B. W.* and *Heathcote, R. G.*: Expl. Agric. 5, 241 (1969).
3. *Goldsworthy, P. R.*: Expl. Agric. 3, 29 and 263 (1967 a, b).
4. *Goldsworthy, P. R.* and *Heathcote, R. G.*: Emp. J. expl. Agric. 31, 351 (1963).
5. *Heathcote, R. G.*: Expl. Agric. 6, 229 (1970).
6. *Heathcote, R. G.*: Potash Review, Subject 16, Suite 57 (1972).
7. *Heathcote, R. G.* and *Smithson, J. B.*: Expl. Agric. (in press).
8. *Palmer, J. L.* and *Goldsworthy, P. R.*: Expl. Agric. 7, 281 (1971).
9. *Obi, J. K.*: Samaru Tech. Report 8. Ministry of Agriculture, Northern Nigeria (1959).

L'emploi des engrais pour le maintien de la fertilité des sols sous culture intensive au Nigéria du Nord

R. G. Heathcote, Institute for Agricultural Research, Zaria/Nigéria

Version abrégée

Introduction

Dans les essais de fertilisation effectués avant 1966 sur des cultures annuelles au Nigéria septentrional, on enregistrait des réponses pour N et P mais non pas pour K. Lors d'anciens essais à long terme, l'action du fumier s'avérait favorable et l'on considéra que des applications régulières de fumure organique serait nécessaire afin de maintenir le niveau des rendements en culture continue.

La mise en pratique de ces résultats en conditions plus récentes est limitée par les facteurs suivants :

- a) Ils s'appliquent à des variétés locales, non améliorées et à faible potentiel de rendement.
- b) On n'avait pas effectué de contrôle adéquat des parasites et des maladies lors de ces essais.
- c) La fumure testée contenait moins de N, de P et de K comparée à la quantité apportée par le fumier.
- d) L'emploi répété de sulfate d'ammonium comme source de N provoqua des problèmes d'acidité.

Essais récents à long terme

Ceux-ci ont commencé en 1967 avec un essai de rotation à Samaru dans lequel P fut appliqué jusqu'à des doses de 44 kg et N de 156 kg/ha. Les résultats pour 1972 (tableau 1, voir texte anglais) indiquent qu'une bonne partie de l'effet du fumier dans les anciens essais peut s'expliquer par les teneurs de celui-ci en éléments nutritifs, notamment en azote et en phosphates. Un essai dans lequel on a combiné factoriellement le potassium avec les traitements NP n'a exercé que peu d'effets (légère réponse sur maïs).

Une série d'essais de longue durée fut installée en 1968 sur trois sites : Kano, Samaru et Mokwa, dont les sols avaient été sous culture pendant au moins trois ans et n'avaient reçu que des engrais NP. Au début on a appliqué les traitements de fumure suivants pour chaque culture : azote 0 et 80 kg de N/ha, sous forme d'ammonitrate ; potassium 0 et 45 kg de K/ha sous forme de chlorure ; chaux 0 et une dose calculée pour élever le pH à 6,0 dans la couche arable ; oligoéléments 0 et une asperion de B, Cu, Zn et Mo. A partir de 1971, à Mokwa, on a modifié les apports de N en doses croissantes pour les céréales et augmenté les apports de K à 80 kg de K/ha. On a aussi modifié les apports d'oligoéléments en isolant ceux pour lesquels il semblait exister un besoin spécifique, relatif à des sites et cultures particuliers. Les apports de phosphates, sous forme de superphosphates, sont restés les mêmes. Les tableaux 2 à 4 (voir texte anglais) récapitulent les résultats de ces trois essais, tout en vouant une attention particulière aux effets de K. On y indique, d'une part, le rendement maximum (soit du traitement optimal) pour chaque année, en notant la combinaison du traitement respectif, et, d'autre part, la réponse maximum à K, c'est à dire, la réponse à K en présence de quelq' autre élément avec lequel il y a eu une interaction significative. Lorsqu'il n'y a pas eu d'interaction, la réponse à K que l'on indique est supérieure à tous les autres traitements. Les erreurs standard sont celles qui se rapportent aux effets principaux ou aux interactions, selon les cas.

Discussion des résultats

Maintien de la fertilité

On ne s'explique pas les diminutions de rendements indiquées dans les tableaux 2-4 (v. texte anglais), et même dans le tableau 1 (voir texte anglais), là où une fertilisation adéquate avait été effectuée (le faible rendement en arachides à Mokwa est attribué à différentes attaques par des maladies). Les résultats indiqués sont en désaccord avec l'idée selon laquelle la fumure organique était nécessaire pour maintenir la fertilité des sols. Dans l'essai du tableau 1 (voir texte anglais), auquel on se réfère, le carbone organique du sol s'est stabilisé à environ 0,5% à partir d'un niveau initial de 0,64%. Bien que cette teneur soit élevée, elle semble adéquate pour des cultures à hauts rendements, qui sont judicieusement fertilisées. On s'est aperçu que les augmentations de croissance résultant de la fertilisation, pouvaient favoriser l'apport de matière organique au sol, grâce à un surplus de résidus de racines et de chaumes des cultures (toutes les parties aériennes furent éliminées des parcelles). Toutefois, il faut être prudent avant d'extrapoler ces résultats sur une période beaucoup plus longue que celle qui se rapporte à ces résultats.

Potassium

On a enregistré des réponses fréquentes et très marquées à K, à Kano et à Mokwa bien que l'état de fertilité K de ces sols ait été considéré auparavant comme suffisant. A Kano, les réponses à K ont atteint jusqu'à 1085 kg/ha de maïs, 1188 kg/ha de sorgho (en présence de N) et 390 kg/ha d'arachides, et à Mokwa, jusqu'à 1541 kg/ha de maïs (en présence de Zn) et 587 kg/ha de coton (en présence de B). A Samaru, les réponses à K du sorgho, du maïs et des arachides étaient moins importantes.

Oligoéléments

Les quelques essais que l'on a effectués avant 1967 sur des cultures annuelles ne montrent guère d'indices de carence en oligoéléments, en conditions d'exploitation intensive; mais dans le travail que l'on effectue actuellement en conditions de culture intensive, on a trouvé des signes de carence en Mo sur arachides à Samaru, ainsi qu'en Zn et en B sur coton à Mokwa. En conséquence, les études sur la fertilité du sol dans les conditions du Nigéria septentrional devraient tenir compte de tout le spectre des éléments nutritifs, puisque la carence d'un élément peut masquer la réponse à d'autres.

Progression de l'usage des fertilisants et plus particulièrement de la fumure potassique en rapport avec la productivité de l'hévéa

P. Compagnon, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Paris/France

Résumé

Une fumure d'entretien ou de compensation sur des hévéas adultes ne doit plus être considérée comme une intervention exceptionnelle pour optimiser la production mais comme une pratique qui, dans la majorité des cas, sera indispensable pour maintenir la production.

Les résultats publiés en Malaisie depuis deux ans outre ceux qui ont été précisés par ailleurs pour la Côte d'Ivoire mettent très clairement en évidence le fait général d'une interaction de la fumure avec la stimulation qui devient de pratique courante en hévéaculture.

La potasse et l'azote sont principalement concernés dans cette fumure qui doit être discriminatoire et tenir compte du sol et du matériel végétal concerné.

La reconnaissance pédologique des sols de plantations et le diagnostic foliaire sont des moyens universellement employés pour guider des apports d'engrais dont la nature et la rentabilité sont définies par des expériences de fertilisation appropriées.

Il est néanmoins souligné que des facteurs limitants, autre que la fertilité, tels qu'une interférence trop fréquente des pluies et aussi des limitations de photosynthèse et des exploitations trop intensives peuvent être la cause directe de production insuffisante.

Aussi probante que puisse être une expérience de fumure dans un site donné, il est souvent très hasardeux d'en faire la base d'un principe général. Cela est particulièrement vrai en hévéaculture.

Comme on l'a souvent fait remarquer, dans la mesure où l'on considère la fertilisation dans ses rapports directs avec la production, la conduite de celle-ci est très délicate. On sait que des apports minéraux inadéquats peuvent entraîner des baisses de rendement. On a donc de sérieuses raisons d'être prudents pour la transposition de résultats d'un site à un autre, compte tenu par ailleurs: de la connaissance insuffisante que l'on a des variations des équilibres minéraux propres aux divers sols, des conditions d'échange au niveau des racines, des équilibres minéraux, qui, à l'intérieur de la plante, contribuent au métabolisme et aux processus physico-chimiques les plus favorables à la régénération du contenu des laticifères et aux meilleures conditions de l'écoulement du latex lors de la saignée.

En insistant sur ces difficultés, notre propos est, par opposition, de souligner l'importance d'une étape qui vient d'être franchie en hévéaculture dans la connaissance de la fertilisation pour la meilleure productivité des meilleurs clones avec des conditions d'exploitation appropriées.

A savoir :

- 1^o qu'une fumure d'entretien ou de compensation sur des hévéas adultes ne doit plus être considérée comme une intervention exceptionnelle, voire aléatoire, d'optimiser la production mais comme une pratique qui, dans la majorité des cas, sera indispensable pour maintenir la production à son plus haut niveau en faisant intervenir la stimulation en pratique courante sur du matériel de bonne potentialité,
- 2^o que dans cette fumure, la potasse, et dans une certaine mesure également l'azote, tiennent une place de premier plan,

le besoin éventuel en d'autres éléments n'étant évidemment pas exclu.

Pour ce que l'on peut appeler une plantation moderne avec du bon matériel et une bonne technique d'exploitation, c'est le non-besoin d'une fumure d'entretien qui doit devenir le cas exceptionnel. Ceci pourrait, par exemple, se produire sur des sols volcaniques profonds et encore assez riches en bases qui peuvent représenter une proportion appréciable des sols d'hévéaculture dans certains pays privilégiés mais concernent moins de 1% des surfaces hévéicoles dans le monde.

Il reste néanmoins que le bénéfice d'une fumure ne peut être espéré s'il y a interférence avec d'autres facteurs limitants, ce que l'exploitant doit être en mesure de distinguer et ce qui peut présenter un nombre de cas appréciable.

Le principe général énoncé plus haut ne peut évidemment être seulement le fruit d'une extrapolation de la démonstration qui a été faite en Côte d'Ivoire sur sable tertiaire de l'existence d'une interaction fumure-stimulation, laquelle a fait l'objet d'une communication par ailleurs [1] à ce même congrès. Les prémices de cette expérience, premiers résultats publiés à ce sujet, avaient été présentés au Congrès de la Potasse en 1970. Depuis trois ans, une série de démonstrations semblables sur un effet direct d'apports minéraux sur la productivité d'un bon matériel sous l'effet de la stimulation, ont été faites et publiées en Malaisie, où les chercheurs du *Rubber Research Institute (RRIM)* consacrent un travail considérable à l'étude de la fertilisation, tant sur le plan théorique que pratique*.

L'ensemble de ces résultats permet, actuellement, d'être bien convaincu de la nécessité des fumures d'entretien en hévéaculture.

Pour que puisse être bien saisie l'importance de l'étape qui a été franchie dans la voie de la fertilisation de l'hévéa, il est nécessaire de rappeler dans ses très grandes lignes, quelle fut, depuis un peu plus de vingt ans, la progression des connaissances sur la fertilisation de l'hévéa parallèlement à la progression de la technique hévéicole.

Vers les années 50, tandis que les premières surfaces importantes plantées avec les premiers greffés avaient au plus 15 à 18 ans d'exploitation, que nombre de plantations comprenaient encore des hévéas non sélectionnés ou des seedlings issus de graines de valeurs très moyennes, et que des productions de 1000 à 1500 kg par hectare étaient considérées comme très bonnes, les connaissances que l'on avait sur la fertilisation ne concernaient pratiquement que les fumures nécessaires pour que les hévéas assurent leur meilleure croissance.

* L'Hévéaculture en Malaisie assure de l'ordre de 45% de la production mondiale du caoutchouc naturel.

Ces connaissances reposaient sur de nombreuses expériences d'engrais montées depuis une vingtaine d'années sur les sols variés utilisés pour l'hévéaculture dont les caractères pédologiques distinctifs commençaient à être connus.

D'importants résultats ont été publiés à cette époque dans tous les pays d'hévéaculture, un historique détaillé en a été donné en 1962 [2].

Très sommairement : il apparaissait que sur la plupart des sols, les hévéas répondaient par leur croissance à la fumure, la production dépendant, nécessairement, dans certaines limites, de la croissance. Des réponses étaient, le plus souvent, obtenues avec phosphore et azote. En Malaisie comme à Ceylan, l'apport potassique seul n'avait conduit à aucun effet notable; quelques réponses négatives avaient même été observées. Dans quelques cas une interaction NK avait été notée.

En pratique, des fumures complètes étaient préconisées pendant la période immature. Elles comportaient, parfois, du magnésium, des symptômes visuels de carence magnésienne ayant été assez fréquemment observés en Malaisie et à Ceylan.

Les sols volcaniques et notamment les «terres rouges» issues de basalte, largement représentés au Viet-Nam et au Cambodge, de très bonne structure et, en règle générale, riches en phosphore, échappaient à ce qui paraissait une règle en Malaisie comme à Ceylan. Ces sols volcaniques assurant une très bonne croissance des hévéas [3], les fumures ne donnaient aucune réponse à cet égard.

Telle était la situation lorsqu'à la même époque l'*Institut des Recherches sur le Caoutchouc en Indochine (IRCI)*, par une approche toute différente, en utilisant la méthode du diagnostic foliaire, mit en évidence les besoins en fumure potassique de cultures d'hévéas adultes sur certaines surfaces de ces mêmes «terres rouges», qui s'avérèrent, par des études ultérieures, assez variables quant à leur teneur en bases. La teneur en potasse échangeable de ces sols restait pourtant, en général, supérieure à celle de la plupart des sols utilisés pour l'hévéaculture dans les autres pays, la déficience en potasse observée pouvant être attribuée à une balance défavorable dans le sol au potassium, élément monovalent par rapport aux éléments bi et trivalents, magnésium et aluminium notamment. A partir de cette époque, la méthode du diagnostic foliaire, décrite par *E. R. Beaufrès* [4] comme méthode de diagnostic physiologique, a été largement utilisée au Viet-Nam et au Cambodge, pour les fertilisations qui s'avéraient nécessaires pour certaines cultures adultes. Cependant l'impossibilité dans laquelle on s'est trouvé de suivre dans ces pays des expériences d'engrais classiques, n'a pas permis de mettre en évidence, de façon précise, la rentabilité et les seuils de rentabilité des apports d'engrais sur cultures adultes alors qu'il apparaissait que tous les clones ne devaient pas réagir de la même façon dans leur production aux déficiences telles qu'elles étaient définies par diagnostic foliaire.

C'est aussi à cette époque que la stimulation devint de pratique courante sur cultures adultes et, bien que l'on ait pu écrire en 1962 à propos de son application dans la péninsule indochinoise [2] sur des surfaces antérieurement fertilisées: «Les niveaux de production ainsi atteints sur des surfaces industrielles soulignent l'importance accrue d'une nutrition minérale adéquate lorsqu'on pratique la stimulation», il n'a pas été possible, à l'époque, à défaut d'expériences d'engrais appropriées, de préciser ce que pouvait être la nature et l'importance de l'interaction fumure-stimulation.

L'étude de la fertilisation des cultures adultes et de l'utilisation du diagnostic foliaire s'est fortement développée depuis 1960 en Malaisie où les hévéas couvrent, rappelons-le, près de 2 millions d'hectares et où les toutes premières investigations sur l'application du diagnostic foliaire à l'hévéa avaient été faites vingt ans plus tôt [5].

Nous ne prétendons pas donner ici une revue détaillée des travaux qui ont été publiés sur ce sujet, non seulement au RRIM mais aussi par des chercheurs des grandes sociétés de plantations qui contrôlent plusieurs dizaines de milliers d'hectares. Nous nous bornerons à en indiquer l'évolution générale et leur aboutissement actuel.

Des travaux approfondis ont d'abord été poursuivis sur les méthodes de prélèvement des feuilles pour l'estimation des besoins en fertilisants et sur les facteurs influençant le niveau de ces éléments dans les feuilles [6].

Des expériences d'engrais ont été suivies sur des sols variés et bien définis par ailleurs. Ces expériences ont été suivies par diagnostic foliaire.

Rapidement il apparut que les besoins en potasse, qui selon les expériences d'engrais antérieures dans le jeune âge, étaient plutôt rares, se rencontraient dans les cultures adultes sur beaucoup d'autres sols que ceux issus de roches basiques où le fait avait été mis en évidence au Viet-Nam et au Cambodge quelques années plus tôt.

Une grande attention a été apportée à une rentabilité chiffrée des apports d'engrais et il apparut le plus fréquemment parmi les apports bénéfiques des fumures K et/ou N, voire aussi NPK.

Il s'est avéré aussi que les clones ont des comportements différents les uns des autres. Les inconvénients d'apports de magnésium inappropriés ont été mis en évidence. Antagoniste du potassium [4], le magnésium apporté à mauvais escient peut entraîner des chutes de production. Le même effet peut résulter aussi de l'apport de calcium [7] et il faut en tenir compte dans l'emploi du phosphate de chaux très généralement utilisé pour l'apport du phosphore dans les jeunes cultures en Malaisie.

Enfin, en 1971, et, d'une façon plus complète en 1972 [8], ont été publiés les résultats d'expériences d'engrais avec et sans stimulation. Nous reproduisons, au tableau 1, de façon sommaire, quelques éléments de ces résultats.

Tableau 1. Nutrition de l'*Hevea brasiliensis* en relation avec la stimulation à l'éthrel (d'après K. Sivanadyan, P'ng tat Chin et E. Pushparajah. Abrégé des résultats publiés [8])

Clone	Sol	Fumures ayant donné les meilleurs résultats	Rendement kg/ha/an des surfaces stimulées		Rendement kg/ha/an des surfaces non stimulées	
			Avec fum.	Sans fum.	Avec même fum.	Sans fum.
PB 86	Malacca	NK	2779	2220	1522	1237
GT 1	Rengam	NPK	3704	3082	2336	2255
LCB 1320	Rengam	même sens des réponses mais moins marquées qu'avec GT 1*				
Seed. Tjir. 1	Rengam	NP	2098	1135	931	599
		NPK	1941	1056	935	510
PB 86	-	Extra K (sur fumure plantation)	Réponses marquées après chaque stimulation**			
Seed. Tjir. 1	--	Extra K (sur fumure plantation)	1643	1501		

* Selon remarque des auteurs, chiffres des résultats non précisés.

** Les résultats de cette expérience mise en route seulement en 1971 sont représentés par les auteurs sur un graphique.

Il est clair que les réponses aux engrais qui ne sont pas toutes tellement évidentes en l'absence de stimulation, et à des niveaux de production inférieurs, deviennent très démonstratives sous l'effet de l'intensification de l'exploitation.

A cette occasion, les mêmes auteurs ont approfondi la question de l'accroissement de l'exportation des éléments minéraux par l'écoulement du latex des clones haut-producteurs sous l'effet de la stimulation.

Nous reproduisons, sur le tableau 2, de façon partielle et pour des clones particulièrement connus, quelques résultats donnés par ces auteurs. Ces chiffres se rapportent à des sites définis.

Tableau 2. Eléments nutritifs exportés sous l'effet de la stimulation à l'éthrel (selon K. Sivanadyan, P'ng tat Chin et E. Pushparajah [8]. Reproduction partielle des résultats publiés)

Clones et traitements	Rendement [9] en caoutchouc kg/ha/an	Eléments nutritifs exportés kg/ha/an			
		N	P	K	Mg
GT 1 (sur écorce vierge)					
non stimulé	1843	11,42	2,6	11,3	1,7
stimulé	2212	14,6	3,7	16,2	2,1
accroissement	369	3,4	1,1	4,9	0,4
PR 107 (sur écorce vierge)					
non stimulé	1265	7,2	2,1	6,7	0,5
stimulé	2060	14,9	5,5	14,9	0,8
accroissement	795	7,7	2,4	8,2	0,3
RRIM 600 (sur écorce renouvelée)					
non stimulé	2243	18,2	4,7	16,1	1,5
stimulé	5076	44,2	12,7	42,6	4,1
accroissement	2833	26,0	8,0	26,5	2,6
PB 86 (sur écorce renouvelée)					
non stimulé	1512	8,9	1,9	8,2	2,5
stimulé	2638	20,1	6,0	19,9	7,1
accroissement	1126	11,2	4,1	11,7	4,6

Il apparaît, de façon très nette, qu'en valeur absolue, c'est l'azote et la potasse qui sont le plus concernés par l'exportation dans le latex et l'accroissement de cette exportation par intensification de la production.

Ces auteurs font, en définitive, une recommandation (par approximation) de certaines quantités de sulfate d'ammonique et de chlorure de potasse à apporter en extra-fertilisants, pour quelques clones haut-producteurs et selon l'augmentation de production obtenue sous l'effet de la stimulation.

Très récemment, en juin 1973, à l'occasion de la Conférence internationale du caoutchouc au Sri Lanka, E. Pushparajah [10] a fait le point des récents développements de la nutrition de l'hévéa en Malaisie.

A propos de la fumure des arbres adultes, il a insisté sur le fait que les besoins nutritifs de l'hévéa variaient en fonction du sol [11, 12] et de la couverture du sol, mais aussi selon des caractères inhérents à chaque clone.

Des recommandations générales de fertilisation applicables en l'absence de contrôles analytiques du sol et de diagnostic foliaire ont pu être formulées par les auteurs du RRIM pour des types de sols et des clones particulièrement utilisés en Malaisie.

Cette généralisation, fruit des importants contrôles systématiques de sols, de fertilisations et de diagnostics foliaires qui ont été poursuivis depuis plus de dix ans en Malaisie, est indispensable pour pouvoir permettre l'application de fumures adéquates rentables aux nombreuses petites plantations de quelques hectares qui disposent d'un très bon matériel végétal, pour lesquelles on peut se référer à une cartographie pédologique appropriée mais qui peuvent difficilement bénéficier d'analyses foliaires ponctuelles.

Se référant au contrôle des besoins nutritifs par l'analyse foliaire, *E. Pushparajah* a rappelé les niveaux de référence des éléments minéraux dans les feuilles d'hévéa publiées en 1972 à l'occasion de la Conférence des planteurs [13]. Ces valeurs de référence sont maintenant couramment utilisées en Malaisie. Nous reproduisons sur le tableau 3 ces précisions dans leur intégralité. Celles-ci pourront encore, selon *E. Pushparajah*, faire l'objet de raffinements complémentaires du fait des recherches poursuivies.

La particularité des ces valeurs de références par comparaison avec celles qui ont été publiées, il y a plus de dix ans [14, 15], est, d'une part, qu'elles font une discrimination entre différents clones et, en outre, que les seuils critiques indiqués pour le potassium, se situent à un niveau nettement plus élevé.

Plus encore, *E. Pushparajah*, précise que pour les clones PB 86 et PB 5/51 des réponses à la potasse ont été obtenues même quand la teneur des feuilles est située entre 1,5 et 1,8%, c'est-à-dire à de hauts niveaux.

Tableau 3. Niveaux de la teneur en éléments minéraux dans les feuilles à l'âge optimum et situées à l'ombre de la canopie (reproduit de *E. Pushparajah* [10])

Eléments nutritifs	Groupe	Teneurs			
		basses	moyennes	élevées*	très élevées
N% matière sèche	I**	3,30	3,31-3,70	3,71-3,90	> 3,91
	II	3,20	3,12-3,50	3,51-3,70	> 3,71
	III	2,90	2,91-3,20	3,21-3,40	> 3,41
K% matière sèche	I***	1,35	1,36-1,65	1,66-1,85	> 1,86
	II	1,25	1,26-1,50	1,51-1,65	> 1,66
P% matière sèche		0,19	0,20-0,25	0,26-0,28	> 0,28
Mg% matière sèche		0,20	0,21-0,25	0,26-0,29	> 0,30
Mn, ppm matière sèche		45	45-150	> 151	

* Les teneurs élevées sont les valeurs «optima» et au-delà de ces niveaux les réponses sont considérées comme peu probables.

** Groupement clonal, à titre d'essai, pour l'azote:

Groupe I: clones RRIM 600 et GT 1 et pour les clones du groupe II, excepté ceux avec teneurs «élevées» en P, K et Mg.

Groupe II: tous les clones, exceptés ceux des groupes I et III, c'est-à-dire RRIM 600, GT 1 et tous les clones sensibles à la casse au vent.

Groupe III: les clones susceptibles à la casse aux vents (casse de tronc et casse de branches).

*** Groupement clonal, à titre d'essai, pour le potassium:

Groupe I: clones RRIM 600, GT 1, PB 5/51, PB 86.

Groupe II: tous les autres clones.

Il est indiqué aussi que les clones GT 1 et RRIM 600 qui font partie des clones dont les seuils critiques de potassium sont plus élevés, ont aussi des besoins plus élevés en azote, étant susceptibles de donner des réponses du rendement aux apports d'azote quand la teneur des feuilles pour les surfaces témoins sont de 3,5 à 3,7%.

Conclusion

En conclusion et d'une façon générale, il nous semble que dans tous les pays producteurs de caoutchouc, on est parfaitement conscient de l'importance des apports minéraux, non seulement dans le jeune âge, ce qui est pleinement acquis depuis longtemps, mais aussi à l'âge adulte. L'ensemble des résultats de ces dernières années que nous venons d'évoquer y ont certainement contribué pour beaucoup. Cependant, de plus en plus, la nécessité d'une stricte économie de l'exploitation exige que soient écartés les aléas d'apports minéraux non rentables. Il est hors de doute qu'une fertilisation soutenue est indispensable dans la grande majorité des cas pour maintenir des productions élevées, mais il n'est pas douteux que la conduite d'une fertilisation rentable en hévéaculture garde un certain caractère sophistiqué et il est aussi certain qu'il peut se trouver des facteurs limitants autres que la fertilité, qui soient la cause directe de productions insuffisantes.

Le caractère sophistiqué de la fertilisation nécessite au préalable que soient bien connus les sols sur lesquels se trouvent les cultures pour lesquelles des recommandations sont à faire, d'où l'important travail de reconnaissance pédologique des sols de plantations que l'on voit se développer dans tous les pays producteurs de caoutchouc, travail particulièrement essentiel pour parvenir à des préconisations d'engrais selon une approche semblable à celle indiquée pour la Malaisie quand la proportion des petites plantations paysannes est élevée.

En ce qui concerne les facteurs limitants qui s'interposent avec la fertilité, il faut noter les pluies intermittentes qui perturbent la récolte et peuvent devenir une préoccupation majeure dans certains pays. Tel paraît être le cas au Sri Lanka [16]. Il y a aussi les facteurs limitants qui sont à l'origine d'une insuffisance des réserves organiques, constituant au niveau des laticifères la matière première essentielle de la régénération de leur contenu. Telles peuvent être: une exploitation trop intensive, une limitation de la photosynthèse, des maladies de feuilles avec leur conséquence inévitable sur la photosynthèse.

Il est nécessaire d'être éclairé sur ces éventualités pour ne pas mettre en cause aveuglément la fertilisation et savoir, le cas échéant, si une fertilisation appropriée ne peut, outre d'autres moyens, agir favorablement sur ces aspects physiologiques particuliers. A cet égard, la suggestion faite récemment par J. Tupy [17], à la suite des travaux qu'il a poursuivis à l'IRCA, d'utiliser une simple détermination du saccharose dans le latex comme un moyen de diagnostic de la situation des carbohydrates, nous paraît très prometteuse.

Bibliographie

1. Du Plessix Ch., Eschbach J. M., Cornier A.: 10^e Colloque de l'Institute de la Potasse, Abidjan, p. 185 (1973).
2. Compagnon P.: Rev. Gén. Caout. 39, 1105 (1962).

3. *IRCI: Rapp. annuel*, p. 56 (1947).
4. *Beaufils E. R.*: *Rev. Gén. Caout.* 35, 769 (1958), 35, 792 (1958), 36, 225 (1959) et Thèse «Les déséquilibres dans la composition chimique de l'Hévéa», Paris, (1961).
5. *Chapman G. W.*: *Soil Science* 52, 63 (1941).
6. *Shorrocks V. M.*: *J. of RRIM* 17, 1, 91, 113, 167 (1961-62), 19, 1, 32, 48, 93 (1965-66).
Shorrocks V. M. et coll.: *J. of RRIM* 17, 102 (1961-62), 19, 85 (1965-66).
7. *Pushparajah E.*: *Studies on the effects of Rock Phosphate on growth and yield of H. Brasiliensis*, Thèse Université de Malaisie, (1965).
8. *Sivanadyan K., P'ng T. C.* et *Pushparajah E.*: *Proc. RRIM Planter's Conf.*, p. 83, Kuala-Lumpur (1972).
9. *Abraham P. D., P'ng T. C.* et *Ng E. K.*: *Proc. RRIM Planter's Conf.*, p. 1, Kuala-Lumpur, (1972).
10. *Pushparajah E.*: *International Rubber Conference Sri Lanka, Colombo* (1973).
11. *Chan H. Y.* et *Pushparajah E.*: *Proc. RRIM Planter's Conf.*, p. 97, Kuala-Lumpur (1972).
12. *Chan H. Y., Woo Y. K.* et *Tan K. H.*: *Proc. RRIM Planter's Conf.*, p. 127, Kuala-Lumpur (1972).
13. *Pushparajah E.* et *Tan Kim Teng*: *Proc. RRIM Planter's Conf.*, p. 140, Kuala-Lumpur (1972).
14. *Fallows J. C.*: *Rev. Gén. Caout.* 40, 1707 (1963).
15. *Polinière J. P.*: *IRCV*, op. Tech. 55 (1962).
16. *Silva C. G.*: *International Rubber Conference Sri Lanka, Colombo* (1973).
17. *Tupy J.*: *Rev. Gén. Caout.* 50 (1973).

Progression in Fertilizer Use, particularly of Potash Fertilization in Relation with Productivity of Hevea

P. Compagnon, Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique (IRCA), Paris/France

Extended Summary

Maintenance manuring of adult rubber is no longer to be regarded as something which is only occasionally necessary to optimise production but as being almost always essential on most soils to maintain the productivity of this crop, which has such a high potential, at the highest possible level with the aid of the techniques of latex stimulation.

Potassium and, almost equally nitrogen, is of prominent importance in the manuring programme; but the need for other elements should not be overlooked. Twenty years of experimentation on a range of sites has shown that, on most soils, rubber responds in increased growth to fertilizer and, within limits, production depends upon growth. Responses were most frequently obtained from N and P though there were several cases of positive N x K interaction. In practice, complete fertilizers, sometimes including Mg, were, and still are, recommended for the period up to maturity. Over the same period the Rubber Research Institute of Indo-China, using foliar diagnosis, demonstrated a need for potassium on certain soils of variable base content on the 'terres rouges'. The study of the use of foliar diagnosis in the manuring of adult rubber has been further developed in Malaysia since 1960 and is applied on about 2 million hectares. The need for K soon became apparent in adult trees on many soils other than those derived from basic rocks on which it had already been demonstrated in Viet Nam and Cambodia though previous experiments on young trees had only shown up an occasional response. K and/or N most frequently figured among the most profitable dressings; also NPK. Evidence was also obtained of the bad effects of applying Mg or Ca, which are antagonistic to K, unless there was a real need for them.

In recent years the results of experiments to determine fertilizer requirements with and without latex stimulation have been published. The Malaysian results are reproduced partly in Table 1 (see French version). It is seen that the response to fertilizer is very large under intensive culture. Table 2 (see French version) reproduces some data extracted from recent publications of RRIM on the removal of minerals as a result of stimulation. This refers to the best known clones. N and K are the principal nutrients removed in the latex and their removal is further increased by intensification of production.

In adult trees nutrient requirements vary according to soil type and ground cover and according to the inherent characteristics of each clone. General recommendations have been formulated for the principal clones and for the main soil types in Malaysia as a result of ten years' experience in the use of foliar diagnosis. Table 3 (see French version) reproduces data for critical leaf contents as published for the Planters' Conference in 1972 and these are the standards now used in Malaysia. They vary according to clone. For the most part, critical K levels (1.25-1.35) are considerably higher than those published earlier. It is noted that with the clones PB 86 and PB 5/51 K responses have been recorded with leaf K between 1.5 and 1.8. Two other well known clones, GL 1 and RRIM 600 have, as well as a higher K requirement, a greater need for N, being likely to show response when leaf N is between 3.5 and 3.7.

In summary, in very many cases the use of fertilizers is necessary to obtain the high production of which the modern clones are capable. Fertilizer recommendations are now quite sophisticated, directed, on the one hand, to securing and maintaining maximum production and, on the other, towards economy by avoiding application of elements which are not needed.

For making recommendations, foliar diagnosis is the best indicator but, for all that, it is still necessary to interpret the indications according to soil type and in the light of evidence from field trials. To make general manurial recommendations without the aid of foliar diagnosis, as is inevitable in those countries which have extensive areas under small-holdings, it is necessary to depend on detailed soil survey and to establish models for fertilizer response for the known soil types.

Finally, it is essential to ensure that factors other than soil fertility are not limiting production: certain of these are of particular importance in the case of rubber, for instance the rainfall distribution and insufficient reserves of organic substances in the latex vessels as a result of excessive tapping in relation to potential photosynthesis.

Etude du redressement de la fertilité sur des terres à coton carencées en potasse

M. Déat, Ingénieur horticole, Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE),
Station Principale de Bouaké/Côte d'Ivoire

Résumé

Des carences potassiques ont été volontairement provoquées sur des essais. Après 4 à 5 années de culture, les rendements obtenus représentaient de 58 à 77% des rendements que donnait une fumure complète équilibrée. On a alors essayé de redresser ces carences en apportant une fumure comportant du potassium, mais raisonnablement, en tenant compte de ce qui était possible en vulgarisation. Dès la première correction, les rendements atteignirent 75 à 91% du rendement des parcelles ayant toujours reçu une fumure complète et les réserves potassiques du sol qui s'étaient dégradées tendaient à se restaurer. Après une deuxième correction, les rendements étaient de 88 à 92% de ceux que procurait une fumure complète apportée depuis la mise en place des essais. Mais cela restait encore insuffisant puisque dans deux cas sur trois la différence entre les rendements restait hautement significative.

1. Introduction

Lorsque la culture de cotonniers de type *Allen (Gossypium Hirsutum)* se développa en Côte d'Ivoire, un réseau d'essais conduits suivant la méthode soustractive fut mis en place pour étudier les déficiences minérales susceptibles d'exister et de se développer dans la zone cotonnière ivoirienne. Ces essais permirent la comparaison d'un témoin sans engrais avec un objet à fumure complète NPSK à un niveau relativement élevé et quatre objets où la fumure est privée successivement d'un des quatre éléments de la fumure complète.

Ces essais furent implantés dans toute la zone cotonnière ivoirienne qui peut se différencier en trois régions par ses caractéristiques climatiques et agropédologiques:

- Savane nord à climat tropical subsoudanien (*Rougerie [8]*) qui est le climat soudano guinéen classique (*Aubreville [2]*) à une saison des pluies.
- Savane centre à climat intermédiaire subéquatorial baouléen (*Rougerie [8]*) et à deux saisons des pluies.
- Défrichements de forêts sous climat équatorial attiéen (*Rougerie [8]*) à deux saisons des pluies qui correspond au climat guinéen forestier (*Aubreville [2]*).

Cette division en trois de l'aire cotonnière correspond à trois niveaux de valeur des terres comme le montrent les analyses effectuées sur les différents points d'essais (tableau 1). Les terres de la savane nord sont médiocres, celles de la savane centre moyennes et celles des défrichements forestiers bonnes.

Tableau 1. Valeur moyenne des éléments nutritifs dans les trois régions de la zone cotonnière

	Savane nord 0-45 cm	Savane centre 0-45 cm	Forêt 0-45 cm
C orga. ‰	6,47	10,81	19,42
N orga. ‰	0,42	0,65	1,63
C/N	15,20	16,43	11,62
P total ‰	0,53	0,55	0,52
P ass. (Olsen)	0,05	0,05	0,05
CEC méq./100 g	3,99	6,86	10,64
S méq./100 g	2,60	5,22	10,30
K total méq./100 g	1,12	1,50	1,62
K ech. méq./100 g	0,08	0,23	1,07

D'après Latham [6]

Tableau 2. Caractéristiques édaphiques des essais de Niakaramandougou, Katiola et Yamoussoukro. D'après Latham [6]

	Yamoussoukro		Niaka		Katiola	
	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
Classification	Ferrallitique		Ferrallitique		Ferrallitique	
Groupe	Remanié		Typique		Remanié	
Sous-groupe	Modal		Remanié		Modal	
Famille	Granite		Granite		Schistes	
Série	Moyennement profonde et gravillonnaire		Peu profond, appauvri, faiblement rajeuni		Moyennement profonde avec induration en profondeur	
Refus %	24,2	40,4	18,2	25,0	0,01	5,1
Argile	16,8	19,5	10,4	14,2	10,1	14,2
Limon fin	8,5	5,6	5,1	5,3	6,4	5,9
Limon grossier	4,0	3,5	4,4	4,8	14,0	9,8
Sable fin	18,5	18,0	20,3	17,5	40,6	36,6
Sable grossier	49,0	52,0	59,6	59,2	29,2	34,6
C (10^{-3})	33,07	10,80	9,50	6,12	7,76	5,48
N (10^{-3})	2,73	0,99	0,55	0,41	0,46	0,39
pH (eau)	5,9	5,7	6,6	6,1	6,5	5,9
Cations échang. (en mé)						
Ca	7,02	2,14	2,90	1,22	2,25	1,24
Mg	3,75	1,73	1,48	0,92	1,50	0,98
K	0,63	0,29	0,15	0,12	0,12	0,08
Na	0,21	0,10	0,03	0,07	0,01	0,02
Cap échange	15,53	6,05	5,27	4,58	4,77	4,59
P ₂ O ₅ total (10^{-3})	0,42	0,45	0,36	0,24	0,32	0,35
P ₂ O ₅ assim. Olsen	0,05	0,04	0,06	0,10	0,02	traces
Ca total (en mé)	8,10	2,60	4,40	2,50	3,03	2,82
Mg total	3,50	2,24	0,80	1,90	3,64	3,04
K total	1,59	0,90	1,10	1,40	1,55	1,89
Instab. structur.	0,12	0,94	0,24	1,17	0,56	1,29
S. bases échang. en mé...	11,51	4,26	4,56	2,33	3,88	2,22
Taux satur. en %	91,8	70,4	86,5	50,8	81,3	48,3
C/N	12,11	10,87	17,18	15,07	16,80	13,98

L'évolution de la fertilité de ces différents sols sous culture cotonnière continue a été bien suivie avec le dispositif expérimental mis en place. Nous envisagerons ici le problème de la fertilité potassique et pour cela trois points d'essais situés dans chacune des zones définies précédemment ont été retenus :

Niakaramandougou dans la savane nord, situé sur un haut de pente sur granite, de qualités physiques moyennes, sableux dans l'horizon de surface ;

Katiola dans la savane centre, situé sur un replat sous une butte cuirassée sur schistes.

Yamoussoukro sur un défrichement de forêt, argileux gravillonnaire situé sur granite.

2. Evolution de la fertilité potassique en culture continue avant redressement

Les caractéristiques des trois points étudiés sont réunies dans le tableau 2. Seules les terres de l'essai de Yamoussoukro ont une bonne capacité d'échange dans l'horizon de surface. Sur les deux autres points elles sont médiocres. Il en est de même pour la somme des bases échangeables. Compte tenu de ces faibles valeurs des capacités d'échange et des sommes des bases, les trois points ont un complexe bien saturé dans l'horizon de surface. Les teneurs en potassium sont faibles sur tous les points. Il en est de même pour le potassium échangeable hormis à Yamoussoukro où la teneur est bonne dans la couche superficielle.

Ces conditions n'étaient pas défavorables au départ, d'autant plus que pendant la période de culture des cotonniers, l'humidité des sols est bonne et que, dans ce cas, une faible capacité d'échanges améliore l'alimentation des plantes (*Blanchet et Bosc [3]*). C'est ce que l'on a constaté d'ailleurs lors de la mise en culture de ces essais.

Ils ont été conduits de façon pérenne avec un apport annuel d'engrais dont la formule complète est donnée par le tableau 3. Les doses d'éléments apportés de cette manière étaient nettement plus élevés que celles fournies par la fumure vulgarisée, fumure qui, en outre, faisait abstraction de la potasse. La forte fumure des essais avait pour but de créer rapidement des déséquilibres importants permettant de mettre en évidence les carences, l'exportation des résidus de récolte accélérant par ailleurs ce processus. Les rendements des objets ne recevant pas de potasse ont baissé progressivement plus ou moins vite suivant le niveau des réserves potassiques (tableau 4). Les deux premières années de culture, ils sont restés à un niveau acceptable puis dès la

Tableau 3

		Fumure complète des essais soustractifs				Fumure vulgarisée			
		N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 ^{re} année	Semis	21	24	60	108	34	24	32	-
	Floraison	45	-	-	-	-	-	-	-
Années suivantes	Semis	21	24	67	108	34	24	32	-
	Floraison	45	-	-	-	-	-	-	-

troisième année, la baisse par rapport aux rendements des objets recevant une fumure complète est devenue significative. Cela correspond à une baisse des disponibilités en potassium échangeable du sol comme le montre le tableau 5, alors que le niveau de fertilité potassique se maintient et s'améliore même à Niakaramandougou et Katiola sur les objets à fumure complète. En analysant la teneur en potassium des plantes par le diagnostic foliaire suivant la méthode mise au point par Braud [4], nous constatons une évolution parallèle du potassium dans les cotonniers.

Sur les objets ne recevant pas de potasse, les taux de potassium baisse régulièrement dans les plantes alors qu'ils varient peu dans les cotonniers des objets à fumure complète (tableau 6), sauf à Yamoussoukro où ils baissent aussi tout en restant à un niveau correct.

Devant l'évolution de la fertilité potassique constatée après ces années de culture, il nous a paru intéressant de voir de quelle manière ces déficiences induites pourraient se corriger.

3. Correction des déficiences

A la suite de la mise en évidence de la dégradation des réserves potassiques du sol en culture cotonnière continue lorsque l'on emploie un engrais sans potasse, cette dernière a été introduite dans la fumure vulgarisée (tableau 7). Cet apport a été fait à dose modérée du fait des impératifs de la vulgarisation; les champs de culture en quatrième ou cinquième année n'étaient pas très nombreux et les niveaux de production n'atteignaient pas ceux des essais.

Tableau 4. Evolution des rendements des parcelles sans fumure potassique

	Rendement des objets - K en % de NPSK				
	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	4 ^e année	5 ^e année
Niakaramandougou	96	92*	85*	84**	77**
Katiola	91	90	69**	62**	-
Yamoussoukro	96	94	82**	58**	-

* significatif à $p = 0,05$

** significatif à $p = 0,01$

Tableau 5. Teneur en potassium échangeable en méq./100 g des sols des essais

	A la mise en place		Après 4 ou 5 ans de culture continue			
	0-25	25-50	Objet NPSK		Objet -K	
			0-25	25-50	0-25	25-50
Niakaramandougou .	0,15	0,12	0,25	0,22	0,11	0,10
Katiola	0,12	0,08	0,23	0,12	0,10	0,08
Yamoussoukro	0,63	0,29	0,45	0,30	0,25	0,20

Cela nous a conduit, pour étudier le redressement de la fertilité sur les essais, à appliquer sur tous les objets une fumure complète uniforme (tableau 7) qui était un moyen terme entre la forte fumure complète utilisée lors de la mise en évidence des carences minérales et la nouvelle formule vulgarisée. Cette fumure de redressement a été appliquée pendant deux années sur les trois essais de Niakaramandougou, Katiola et Yamoussoukro.

3.1. Influence sur les rendements

Pour les trois essais, à la mise en œuvre de la première correction, les rendements obtenus avec une fumure sans potasse étaient significativement inférieurs aux rendements que donnait la fumure complète. Après la première correction les niveaux de production des parcelles carencées avaient progressé de 13 à 20% relativement à la production des parcelles ayant une alimentation complète (tableau 8). Pour l'essai de Niakaramandougou où la déficience était la moins grave, la correction était presque satisfaisante, la production des parcelles carencées atteignant 91% de celle des parcelles à fumure complète. A Katiola comme à Yamoussoukro, la correction était insuffisante mais les déficiences induites avaient été plus importantes.

Les corrections furent reprises l'année suivante. Les rendements ont continué à progresser mais dans une moindre mesure et ils restent insuffisants à Katiola et Yamoussoukro. On peut cependant noter qu'ils sont tous à un niveau supérieur à 85% des rendements des parcelles ayant toujours reçu une fumure potassique. Il semble y avoir des difficultés à atteindre le niveau de rendement des parcelles où les carences avaient été évitées.

Tableau 6. Teneur des pétioles en potassium en % du poids de matière sèche

		1 ^e année	2 ^e année	3 ^e année	4 ^e année	5 ^e année
Niakaramandougou	NPSK	4,74	4,44	5,64	4,80	5,00
	-K	3,67	2,76	2,52	2,08	1,48
Katiola	NPSK	4,71	5,76	4,72	4,48	-
	-K	3,26	2,68	1,14	2,28	-
Yamoussoukro	NPSK	5,85	5,64	5,40	3,52	-
	-K	4,80	3,36	2,92	1,92	-

Tableau 7

	Fumure de redressement en kg/ha				Fumure vulgarisée en kg/ha			
	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
Semis.....	31	12	50	60	28	24	28	28
Floraison.....	22	-	-	-	22*	-	-	-

* Dans certains secteurs du nord

3.2. Influence sur la fertilité des sols

A la mise en œuvre des corrections, deux prélèvements de terre furent effectués par campagne. Le premier au moment de la mise en culture, avant l'apport d'engrais, le second à la fin de la culture, lorsque la récolte était terminée. Les résultats analytiques de ces prélèvements sont donnés aux tableaux 9 et 10. A Niakaramandougou et à Katiola, la fumure de redressement employée maintient la fertilité potassique de l'objet à fumure complète NPSK au niveau qu'elle avait atteint à ce moment, niveau supérieur au niveau de départ. A Yamoussoukro la dégradation du taux de potassium se poursuit et les valeurs de cet élément tendent à rejoindre celle des autres points. Sur les objets n'ayant jamais reçu de potasse l'application de la fumure de redressement restaure les teneurs en potassium du sol et même les améliore par rapport à la situation initiale, à Niakaramandougou et Katiola. A Yamoussoukro les valeurs auxquelles nous étions parvenus après 4 ans de culture sans potassium, sont maintenues.

Dans tous les cas on observe une différence notable dans les valeurs du potassium échangeable suivant les époques de prélèvement. Les taux de potassium échangeables sont toujours plus faibles en fin de campagne qu'au début avant l'apport d'engrais. On note aussi une augmentation du potassium échangeable entre la fin d'une culture et la mise en œuvre de la culture suivante et ce, sans apport extérieur de cet élément.

Tableau 8. Rendement des parcelles -K en % NPSK

	Avant correction	Après un an de correction	Après deux ans de correction
Niakaramandougou	77**	91	92*
Katiola	62**	82**	86**
Yamoussoukro	58**	75**	88**

* significatif à $p = 0,05$

** significatif à $p = 0,01$

Tableau 9. Evolution de la teneur en potassium échangeable de l'objet NPSK

		Niakaramandougou		Katiola		Yamoussoukro	
		0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
Mise en place de l'essai		0,15	0,12	0,12	0,08	0,63	0,29
Première correction	Avant engrais	0,25	0,22	0,23	0,12	0,45	0,30
	Fin de campagne	0,19	0,17	0,19	0,12	0,32	0,28
Deuxième correction	Avant engrais	0,30	0,21	0,22	0,20	0,36	0,30
	Fin de campagne	0,26	0,22	0,20	0,16	0,30	0,25

Cela peut être lié à la minéralogie des argiles des sols de ces essais aussi bien qu'à leur état hydrique. En effet, les sols étudiés sont des sols ferrallitiques où la kaolinite est l'argile dominante. Ce minéral argileux a un pouvoir de fixation très faible de l'ordre de 5 à 10 méq./100 g (*Richard et MacLean [7]; Acquaye et al. [1]; Torstenson [9]*).

Le potassium apporté avec la fumure au début du cycle cotonnier est donc surtout soit utilisé par la plante soit lessivé.

Une fraction faible peut rétrograder. *Acquaye et al. [1]* ont montré, dans des sols ghanéens comparables, que la rétrogradation était de 4 à 28% du total apporté par l'engrais. Avant la mise en culture, des pluies qui vont croissant vers le sud du pays provoquent une réhydratation du sol qui permettrait une remise en solution de la fraction potassique fixée. Cela est d'ailleurs facilité par les pH peu élevés de ces terres (*Latham [6]*), comme l'ont montré *Helling et al. [5]*, et expliquerait la remontée du taux de potassium constatée à la mise en culture.

3.3. Influence sur la teneur en potassium des plantes

Comme nous l'avons vu précédemment (tableau 6), les teneurs en potassium des plantes ont suivi une évolution parallèle aux rendements en coton-graine et aux teneurs en potassium du sol. Dès le premier apport de la fumure de redressement, les

Tableau 10. Evolution de la teneur en potassium échangeable de l'objet -K

		Niakaramandougou		Katiola		Yamoussoukro	
		0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
Mise en place de l'essai		0,15	0,12	0,12	0,08	0,63	0,29
Première correction	Avant engrais	0,11	0,10	0,10	0,08	0,25	0,20
	Fin de campagne	0,13	0,12	0,14	0,10	0,19	0,19
Deuxième correction	Avant engrais	0,25	0,17	0,19	0,12	0,25	0,20
	Fin de campagne	0,20	0,16	0,15	0,13	0,20	0,19

Tableau 11. Teneur en potassium des pétioles en % du poids de matière sèche

	Niakaramandougou		Katiola		Yamoussoukro	
	NPSK	-K	NPSK	-K	NPSK	-K
Avant correction	5,00	1,48	4,48	1,68	3,52	1,92
Première correction	6,56	5,24	6,56	5,76	4,44	3,32
Deuxième correction	7,88	6,60	4,80	4,16	5,64	4,52

teneurs en potassium s'élèvent dans les plantes (tableau 11). Cela se manifeste pour les objets ayant toujours reçu du potassium et ne fait que continuer le processus déjà amorcé avec l'apport d'une fumure complète. De même, pour les objets n'ayant pas reçu de potasse avant les corrections, le potassium contenu dans les cotonniers augmente dès la première correction et dans ce dernier cas le gain est beaucoup plus spectaculaire. Cette tendance se poursuit lors du deuxième apport de la fumure de redressement.

4. Conclusion

L'examen des seules valeurs des diverses formes du potassium du sol ne peuvent donner a priori une indication sûre quant à une éventuelle carence en potassium pour la culture cotonnière. Sur les trois essais que nous venons d'étudier, la carence la plus importante s'est manifestée sur l'essai le mieux pourvu en potasse. Il faut noter cependant qu'il était aussi très bien pourvu en tous les autres éléments nutritifs et que les rendements élevés obtenus sur cet essai ont entraîné un déséquilibre plus rapide de l'élément volontairement carencé dans la fumure. Après l'application de la fumure de redressement les rendements croissent rapidement mais restent à un niveau significativement inférieur aux rendements obtenus avec une fumure complète appliquée depuis le début des essais. Il existe donc des difficultés certaines à corriger des carences potassiques graves, liées à la valeur agronomique et en particulier à la minéralogie des argiles de ces sols.

L'emploi d'une fumure qui ne comporte pas de potassium risque d'hypothéquer l'avenir dès lors que l'on veut pratiquer une culture moderne avec des rendements élevés, car il est alors difficile de corriger les carences ainsi provoquées.

Bibliographie

1. Acquaye D. K., MacLean A. J. et Rice H. M.: Potential capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103 (2), p. 79-89 (1967).
2. Aubréville A.: Climat, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. des Ed. géog. mar. et colon. Paris, p. 351, 1949.
3. Blanchet R. et Bosc M.: Bilan de potassium et alimentation potassique des plantes en présence de rétrogradation et de libération d'ions K^+ non échangeables. *Ann. Agron.* 18, n° 6, p. 601-621 (1967).
4. Braud M.: Etude de l'échantillonnage des prélèvements foliaires pour le contrôle des nutriments azotés et potassiques du cotonnier. 2^e Colloque européen et méditerranéen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées (viticulture, arboriculture, cultures méditerranéennes) (1968).
5. Helling C. S., Chester G. et Corey R. B.: Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. *Soil Sci. Amer. Proc.* 28 (4), p. 517-520 (1964).
6. Latham M.: Contribution à l'étude de l'influence du facteur sol sur le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. ORSTOM, Côte d'Ivoire, p. 68 (1969).
7. Richard G. E. et MacLean E. O.: Potassium fixation and release by clay minerals and soils clays on wetting and drying. *Soil Sci.* 95 (5), p. 308-314 (1963).
8. Rougerie G.: Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire. Mémoire IFAN Dakar (1960).
9. Torstensson G.: Le potassium dans les sols suédois; résultats des recherches des six dernières années. *Rev. Potasse* 16, août (1963).

Study on the Re-establishment of Fertility on Cotton Soils showing Potassium Deficiency

M. Déat, Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques (IRCTE), Bouaké/Ivory Coast

Extended Summary

In the cotton cultivation zone of the Ivory Coast, nutrient deficiency experiments made according to the subtractive method (control, complete NPKS manure and lack of one or other of the 4 nutrient elements) have been carried out in each of the 3 regions characterised by their climatic and agrope-dologic features.

The results of 3 of these trials are reported: at the beginning, only the soil located in the deforestation zone had a good exchange capacity and exchangeable K content. Those of the northern and central savannas had low figures.

The treatments used in the tests were stronger than the manures recommended for general use, with the purpose being to create considerable unbalances quickly, and to show the deficiencies.

The absence of potassium manure accounted for significant drops of yield as early as the 3rd trial year. After 4 to 5 crop years the yield of the plots without K did not represent more than 58 to 77% of those of the plots with complete manure. This was accompanied by a drop of exchangeable potassium in the plots without K whilst in the plots with complete manure, exchangeable K was kept at the same level, or was even improved, except in the deforestation trial.

Petiole diagnosis led to the same conclusion as the soil analysis.

This led on the one hand to the introduction of potassium in the recommended manure (which until then did not include any) and on the other hand to the study of the possibilities of correcting the observed deficiencies.

The rectifying manure applied on deficient plots was smaller in amount than the treatment given to plots with complete manure, taking into consideration the imperatives of agricultural extension. The results obtained may be summarized as follows:

Yields as % of those given by the plots with complete manure

	Before correcting	After 1 year of correcting	After 2 years of correcting
Northern savanna	77	91	92
Central savanna	62	82	86
Deforestation	58	75	88

In the northern savanna trial the results obtained after correcting are near the significance limit as compared to the complete manure: in the tests as a whole the correcting did not enable the deficient plots to catch up with the yields of the plots which were not deficient.

The soil analyses showed that the rectifying manure was sufficient to restore the exchangeable K level of the plots having previously received complete manure, and that it conspicuously raised the K level of the deficient plots in the two savanna trials. On deforested soil however, the depletion process continued on the former NPKS plots and there was only a maintenance state in the former NPS plots.

It is a conspicuous finding that on this latter experimental area which was at beginning the best supplied with K, the deficiency became the most severe. This shows that potassium analysis of the soil does not alone give sufficiently reliable data. It must be stressed however that this soil was also the best provided with all other nutrient elements and that unbalance due to potassium deficiency was noticed there more quickly on account of higher yields.

Response of Sweet Potato (*Ipomea Batatas*), to Potassium Fertilization on a Red Oxisoil in Tanzania

A. P. Uriyo, Senior Lecturer and Head of Department of Soil Science and Agricultural Chemistry,
The University of Dar es Salaam at Morogoro/Tanzania

Summary

The use of potassium fertilisation was found to have increased the yield of sweet potato tubers significantly. Data for the chemical composition is shown but only sodium was significantly affected by the application of potassium.

Introduction

The cultivation of sweet potatoes, *Ipomea batatas*, has increased considerably in the last 25 years in Tanzania, especially in the more densely populated highland areas. Because of the importance of this crop in diet supplementation, specific studies on its response to fertiliser application and the effect of fertiliser on chemical composition of the tubers are needed.

Aldrich [1963] estimated the average yield of tubers in Uganda under peasant conditions as 12–17 t/ha. More than double this yield can be obtained under good conditions of soil, weather and management, while very low yields or no tubers may be expected under poor conditions. In this study the effect of potassium on yield response, on an Oxisol, by this crop, and chemical composition of tubers is assessed.

Materials and Methods

The field experiment was laid out as a completely randomised design with potassium at 4 levels of 0, 50, 100, and 150 kg K/ha, replicated 9 times. Nitrogen was applied uniformly in all plots at 50 kg N/ha. Plots were 15 sq.m and vines of the local sweet potato variety were grown on ridges 1 m apart and 40 cm high. Two rows of vines were planted on each ridge at a spacing of 30 × 25 cm. The physical and chemical characteristics of the red Oxisol have been reported elsewhere (Kesseba *et al.* [1972]). Some of the physical and chemical characteristics of the soil at the time of the experiment are shown below:

Table 1. Some of the chemical and physical properties of the soils used

ph in H ₂ O	Organic carbon	Total CEC meq/100 g soil	Available P (ppm)	Particle size analysis		
				Clay %	Silt %	Sand %
1:5	%					
4.9	1.4	10.4	18	22	26	52

Exchangeable bases were determined by the method of *Chapman [1965]* with the elements determined by direct atomic absorption spectroscopy, exchangeable hydrogen by the BaCl₂-triethanolamine method of *Mehlich [1953]* and total CEC obtained by summation. Organic carbon was determined by the *Walkley and Black* wet combustion method (*Allison [1965]*); available P by the *Truog's* method (*Jackson [1962]*); and particle size by the *Bouyoucos* hydrometer method (*Day [1965]*). After harvesting, tubers were rinsed in dilute detergent, washed in distilled water, dried and then ground. Oven-dried ground material was wet digested according to the method of *Piper [1950]*. Phosphorus was determined by the sulphomolybdic blue colour method. Iron, manganese, calcium, magnesium, potassium and sodium were determined in the extract by direct atomic absorption spectroscopy.

Results and Discussion

Table 2 gives the yield of tubers and their chemical composition.

Table 2. Yield of sweet potatoes and their chemical composition

Treatment kg K/ha	Yield of tubers tons/ha	% Ash	Chemical composition of tubers mg/100 g dry matter						
			Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	P
0	28.44	3.90	2.9	1.7	13.2	344	1782	54.7	386
50	36.95	3.60	2.1	1.6	11.3	295	1696	39.6	387
100	39.94	3.77	2.6	1.6	11.6	300	1781	54.4	427
150	38.33	3.63	2.4	1.6	11.0	300	1830	50.7	377
LSD	8.70	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	5.4	N.S.

The application of K significantly increased tuber yields, but increase beyond the 100 kg K/ha did not enhance the response. Ash and the components of Fe, Mn, Mg, Ca, K, and P were not significantly affected by K application.

The application of 50 kg K/ha resulted in a significant depression of sodium content in the tubers. The uptake of potassium which generally increased with K application is of considerable significance as very large amounts of it were taken up by the plant in the tubers, suggesting that potassium fertilisation in highly weathered soils need to be considered as an important soil management practice for sweet potato production.

Acknowledgement

The author is grateful for financial support received from the *International Potash Institute* during the period of this study.

Literature

1. Aldrich, D.T.A.: The sweet potato crop in Uganda. *E. Afr. Agric. Fore. J.* 29, 42-49 (1963).
2. Allison, L. E.: Organic carbon. In: *Methods of Soil Analysis*. Published by the American Society of Agronomy. Madison, Wisc., pp. 1372-1375, 1965.
3. Chapman, H. D.: Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil Analysis*. Published by the American Society of Agronomy. Madison, Wisc., pp. 891-900, 1965.
4. Day, P. R.: Particle fractionation and particle size analysis. In: *Methods of Soil Analysis*. Published by the American Society of Agron. Madison, Wisc., 1965.
5. Jackson, M. L.: Phosphorus determinations for soils. In: *Soil Chemical Analysis*. Published by Prentice-Hall Englewood Cliffs. N.J., pp. 134-182, 1962.
6. Kesseba, A., Pitblado, R. and Uriyo, A. P.: Trends of soil classification in Tanzania. I: Use of the 7th Approximation. *J. Soil Sci.* 23, 235-247 (1972).
7. Mehlich, A.: Rapid determination of cation and anion exchange properties and pH of soils. *JAOAC* 36, 445-457 (1953).
8. Piper, S.C.: *Soil and plant analysis*. Published by Interscience Publishers N.Y., 1950.

La réponse de la patate douce, *Ipomea batatas*, à la fertilisation potassique sur un oxisol rouge en Tanzanie

A. P. Uriyo, Head of Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, The University of Dar es Salaam, Morogoro/Tanzanie

Version abrégée

On décrit les résultats expérimentaux d'essais à 4 doses de potassium, soit 0, 50, 100 et 150 kg de K_2O /ha et à une dose d'azote de 50 kg/ha (9 répétitions).

On a obtenu 39,9 tonnes/ha de tubercules avec la dose de 100 kg de K_2O , contre 28,4 tonnes sans potassium.

La fumure potassique n'a pas influencé de façon significative les teneurs en cendres et en composants minéraux tels que Fe, Mn, Mg, Ca, K et P, alors que la teneur en sodium a diminué avec la dose de 50 kg de K_2O .

L'absorption de potassium s'est généralement accrue de façon hautement significative sous l'effet de la fumure potassique. Vu les très fortes quantités absorbées en cet élément au niveau des tubercules, on doit admettre que sur les sols soumis à une forte érosion, la fumure potassique s'impose et doit être considérée comme une pratique importante dans la production de patates douces.

Some Factors Affecting Effective Fertiliser Use in the Agriculture of Nigeria

S. C. O. Nwinyi, Federal Agricultural Research and Training Station,
Umudike, Umuahia-Ibeku/Nigeria

Summary

A review of the significance of land tenure systems and shifting cultivation is presented with its impact on agricultural development.

Data on fertiliser consumption are presented comparing 1938 and 1970/71 levels in selected countries of Europe, North America and Africa in total weight as well as in kg N, P and K per ha.

Past difficulties are expressed in changing shifting cultivation into a more productive system and experimental programs carried out in Nigeria are mentioned as well as the governmental price support given to fertilisers by a 50% subsidy.

Expressing the need to encourage improved farming practices for effective fertiliser use it is stressed that detailed investigations are needed on the nutrient status of soils and their properties taking into consideration stronger fertiliser response by improved varieties.

The need for strengthening the soil testing services in Nigeria is strongly emphasized which would assure advice to farmers on a large scale on proper fertiliser usage.

1. Introduction

Increases in population, industrialisation and other development projects characteristic of modern civilization have proved shifting cultivation system of Agriculture wasteful and unsuitable for effective food production (*FAO Publication [1957]*). Since this system of agriculture is traditional in places where it operates, it requires massive mobilization of resources - capital, technical knowhow, devotion and understanding to replace it with progressive scientific agriculture. Other countries of the world, using scientific agriculture, have continued to record increases in food production (*Sullivan [1973]*) for export and for internal consumption without necessarily acquiring more land. Such increases are impossible where shifting cultivation is practised (*Irving [1956]*).

It is the aim of this paper, therefore, to highlight factors which hitherto limited modernisation of agriculture by intensive use of fertilisers.

2. Land tenure and shifting cultivation

Most of the arable land in Nigeria is under some form of land rotation or bush fallow system of agriculture often referred to as shifting cultivation (*Laudelout [1958]*). This system of agriculture is a consequence of the traditional system of land ownership.

In East Central State of Nigeria, for example, land ownership is vested in a group e.g. family or extended family or it may be a village consisting of a congeries of related families or lineages (*Elias [1956]*).

Within each such group, however, individual members have specific portions allotted to them by the family head. Such subdivision of land is a continuing process from children to children's children. The effect is progressive fragmentation of the available land into sizes of about 0.001 to 2-3 acre pieces (*Teriba; Vine [1951]*).

The pieces of land belonging to an individual could be contiguous but more often they are widely separated and sometimes not easily accessible as dictated by topographical features like gullies, hills, lakes, rivers, etc. Since each piece of land is too small to withstand intensive economic farming, it is easily exhausted by mixed cropping (e.g. with yam, maize, okra, pumpkin, telfairia, melon, cassava, etc. (*Irving [1956]*) adopted by the farmer to meet his food requirements. Following the land rotation, therefore, the farmer moves to another piece of land for next season's planting (*Laudelout [1958]*) to void possible crop failure. The period of fallow varies from two to ten or more years as allowed by population pressure, availability of land and time it is expected the land would be in good heart again for cropping (*Keay [1953]*). This time is often determined by use of the existing vegetation as indicator of state of the soil fertility. Very dense vegetation is believed to reflect suitable fertility for good crop yields (*Schmidt [1973]*). This is the essence of shifting cultivation.

Although this system of agriculture has met the need of the peasant economy for quite a long time (*Nye [1957]*), its deficiencies, such as consistent poor crop yields, low cash returns, rapid soil deterioration (*Diamond [1937]*; *Nye and Greenland [1960]*; *Nwinyi [1973]*) have led would-be farmers into other business where better remunerations are derived. Agriculture, unlike in the United States of America, United Kingdom and France, is unfortunately relegated as business for the aged, illiterates and people otherwise not gainfully employed.

To feed the ever-increasing population, it has become imperative to find an alternative to the bush fallow method of restoring soil fertility following several years of cropping (FDAR*, Annual Report 1962/63, ARTS**, Annual Report, 1965/66). Earlier attempts from 1921 to 1951 to evolve a more permanent and quicker method were based mainly on the use of suitable leguminous cover crops (*Lewin [1931]*; *Faulkner [1934]* and *Vine [1953]*). This approach, no doubt, was borrowed from the temperate regions and was expected to work well in the tropics (*Faulkner [1934]*). Efforts in this direction continued through the use of fertilised leys (FDAR, Annual Report 1952/53, part 11, and 1961/62). This attempt unfortunately remained at experimental stage as high temperatures and high rainfalls causing rapid losses of organic matter and plant nutrients did not allow the anticipated breakthrough. The result, therefore, is seen in the dogged insistence on the bush fallow system of agriculture until a better alternative is found.

In the Northern States, however, further investigation on the use of farmyard manure (FYM) in maintaining soil fertility led to the introduction of Mixed Farming. This followed the discovery that about two or more tons of FYM per acre improved fertility sufficiently for continuous cropping of compound lands. The success of this

* FDAR = Federal Department of Agricultural Research, Ibadan, Nigeria.

** ARTS = Agricultural Research and Training Station, Umudike, Umuahia-Ibeku, Nigeria.

mixed farming as alternative to shifting cultivation depended on substantial capital and land for purchase and maintenance of livestock to produce sufficient quantities of FYM for large acreage necessary for a healthy economy.

3. Fertiliser introduction to boost yields

Extracts of the 1938–1955 and 1961–1971 fertiliser consumption of various countries as tabulated below in Table 1 by *Jacob and von Uexküll* and in Tables 2 and 3 by FAO (*Annual Fertiliser Review [1971]*) showed, among other things, that fertilisers were only recently introduced in developing countries of Africa and that, in these areas, consumption was low compared with consumption in advanced countries such as the United States of America, United Kingdom and France. Table 3, showing fertiliser consumption per hectare and per capita of these countries, further emphasized the contrast.

Table 1. Showing population, area and fertiliser consumption for 1938–1955

Country	Popula- tion in 1000	Total area in 1000 ha	Area used for agri- culture in 1000 ha	Fertiliser consumption in 1000 mt pure nutrient					
				1938			1954/55		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
USA	162 409	782 784	448 756	346.0	675.0	357.0	1827.8	2073.5	1671.5
UK	51 059	24 401	19 407	60.0	179.0	75.0	243.3	339.8	249.8
France	43 000	55 160	33 596	218.0	297.4	306.3	349.0	667.3	527.2
Nigeria and Br. Cameroon	31 760	96 672	22 317	–	–	–	1.0	0.2	0.7
Ghana	4 548	23 787	5 310	–	–	–	–	–	–
Uganda	5 425	24 341	2 854	–	–	–	0.4	0.2	–

Table 2. Showing total consumption of nitrogenous, phosphate and potash fertilisers in metric tons for 1961–1971

Country	1961/62– 1965/66	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71
USA	9 391 045	11 276 278	12 676 548	13 638 060	14 069 123	14 572 669	15 319 232
UK	1 464 100	1 547 800	1 654 600	1 873 500	1 786 800	1 612 200	1 876 500
France	2 821 213	3 099 262	3 378 137	3 796 545	4 043 881	4 204 473	4 651 651
Nigeria	2 263	3 349	7 330	7 261	10 100	11 900	13 100
Ghana	1 640	1 034	1 200	1 319	1 359	1 188	2 148
Uganda	3 292	4 364	5 272	3 776	4 726	4 570	7 000

Table 3. Showing fertiliser consumption in relation to arable land, agricultural land and to population, 1970/71

Country	Consumption in kilograms per ha								Per capita	
	Arable land				Agricultural land				Total	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	total	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	total	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	
USA	40.7	24.6	21.5	886.8	16.5	10.0	8.7	35.2	74.6	
UK	110.2	74.7	73.5	258.4	41.3	28.0	27.6	96.9	33.7	
France	75.4	93.9	72.1	241.4	43.8	54.5	41.9	140.2	91.6	
Nigeria	0.3	0.3	-	0.6	0.1	0.1	-	0.2	0.2	
Ghana	0.3	0.2	0.2	0.7	0.1	-	-	0.1	0.2	
Uganda	0.8	0.4	0.2	1.4	0.4	0.2	0.1	0.7	0.8	

«Arable land» = land under temporary crops, meadows for mowing/pastures, garden (market and kitchen) temporary fallow or lying idle and land under permanent crops e.g. cocoa, coffee, etc.
 'Agricultural land' = Arable land and land under permanent meadows and pastures.

A comparison of the 1938 and 1954/55 fertiliser consumptions (Table 1) indicates that substantial use of fertilisers started about 1954/55. By 1938 fertiliser use in those advanced countries, who are also manufacturers, was at experimental stage. This fact, coupled with the outbreak of the 1939-1944 World War II limiting fertiliser production, explains the late introduction of fertilisers to Nigeria. The shifting cultivators, basically illiterates and hardly with any capital, could not be easily convinced on the use of fertilisers on their crops.

Although earlier trials on the effects of lime on yield of yam started about 1930 (*Buckley [1938]; Doyne et al. [1938]*), the first completed fertiliser experiment in the former Eastern Nigeria, started about 1946 (*Irving [1956]*). These studies led to fertiliser recommendations for yam in the four provinces of that Region viz Onitsha, Owerri, Ogoja and Calabar Provinces (*Vine [1951]*). Trials in farmers plots increased yields (*Zschernitz [1973]; FDAR Annual Report [1953/54]*) but the prohibitive cost of fertilisers (*Dennison [1959]*) coupled with observed side effect such as scotching of seedlings in close application made the use of fertilisers unattractive. However, the various State Ministries of Agriculture and Natural Resources realising the importance stepped in and offered the fertilisers to the farmers, at a 50% subsidy, thereby encouraging consumption. For example, in Western State of Nigeria, the fertiliser sales for 1969 was 720 tons and in 1970 it rose to 1000 tons. Further increases over the years were expected as long as the Ministry of Agriculture continued to subsidize the price (*Teriba F.A.*).

4. Factors to guarantee effective fertiliser use

Since fertiliser use demands a reasonable capital, its recommendations to farmers should be very precise considering the soil nutrient factors i.e. to be the amount by which the crop needs exceed the nutrient the soil can supply. The weakness of the

earlier recommendations is that they relied mainly on observed agronomic responses to applied fertiliser. Such responses were due to the joint contributions of the applied fertiliser and the soil nutrient. Where the amount of the soil nutrient was not determined, recommendations based only on field experimental results are bound to be erroneous.

Ekpete [1972] indicated that responses to applied fertiliser are subject to prevailing rainfall and the parent rock from which the soil is formed. *Spencer (FDAR Annual Report [1960/61])* showed that total nutrient (soil nutrient plus applied fertiliser) requirement of specified crops could be calibrated fairly precisely. If these facts are fully considered and utilised, recommendations would be effective and wastage avoided both in fertiliser and in labour.

Suitable time of application of fertiliser to specific crops should be thoroughly determined to correspond with the critical physiological growth period of greatest nutrient requirement. For example, it is not a suitable time to apply fertilisers to a yam crop when it is still drawing all its nutrients from the sett or seed yam. Crops have been shown to respond differently to time of fertiliser application (*ARTS Annual Report [1965/66]*).

The best fertiliser element carriers for specific crops should be determined to avoid yield depressions or increases in soil acidity with its concomitant effect on plant nutrient availability (*Bolle-Jones [1963]*).

Muriate of potash (KCl) and sulphate of ammonia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) have these bad side effects. The KCl depresses yields of crops, particularly root crops like Cassava whilst $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ increases soil acidity. However, sulphate of potash (K_2SO_4) and urea or calcium ammonium nitrate, though not very common, have been tried and are in fact in use as substitutes (*ARTS Annual Report [1965/66]*).

The use of fertilisers can be effective only where soil fertility is the limiting factor and where crop varieties are genetically able to respond to improved nutrient supply. Factors such as poor physical soil properties, water shortages or drought, inadequate management, poor crop varieties, bad husbandry methods, pests, and diseases, etc., can easily negate the effect of the applied fertilisers. It is, therefore, necessary to encourage improved farming practices for effective fertiliser use.

5. Conclusion

To use fertilisers successfully, full scale Soil Testing Service has to be extended to all farmers. The service will advise on conservation practices and fertiliser treatments to be applied to soils for effective production of specific crops. Regrettably, the only available laboratories are those of State Ministries of Agriculture, Research Institutions/Universities which are not adequately equipped to render this type of service on a large scale. Therefore, the establishment of farmers *Soil Testing Laboratories* is a real necessity.

The system of land ownership perpetuating bush fallow or land rotation should be reviewed to make sizeable land available for intensive agriculture. The review should be at governmental level to effect desirable results. A possible way out is to encourage co-operative farming at village levels.

Illiteracy amongst peasant communities should be eliminated by government directed standard farming practices. To achieve this, interchange of ideas should freely flow

between the Ministry of Agriculture professionals and the farmers. All farming in-put like planting materials, fertilisers, machinery, plant protection chemicals, etc., should be systematically made available to the farmers. The farmers should be encouraged to comply strictly with the professional advice. The overall effect of this will be gradual transformation of the mental attitudes of the farmers to the acceptance of Scientific Agriculture as a noble and a profitable business.

6. Acknowledgement

The permission of Mr. *N. A. Nwosu*, the Chief Research Officer, Federal Agricultural Research and Training Station, Umudike, Umuahia-Ibeku, Nigeria, to publish this paper is hereby gratefully acknowledged. The author is also indebted to Mr. *J. K. Obi*, Principal Research Officer, for helpful suggestions and useful criticism of the manuscript.

7. References

- Bolle-Jones, E. W.*: World Crops 15, p. 326 (1963).
- Buckley, F.*: Umuahia Agric. Station Review of Work; Third West African Agric. Conference, 1938.
- Dennison, E. B.*: The Maintenance of Soil Fertility in the Southern Guinea Zone of Northern Nigeria (TIC Country). Trop. Agriculture, Trin., Vol. 36, No 3, pp. 171-176 (1959).
- Diamond, W. E. de B.*: Fluctuations in the Nitrogen content of some Nigerian Soils. Emp. J. exp. Agric. 5, 264 (1937).
- Doyne, H. C., Hartley, K. T. and Watson, W.*: West African Soil Types and Manurial Experiments in Nigeria. Third West African Agric. Conference, 1938.
- Eastern Nigeria, Agricultural Research and Training Station (ARTS)*: Umudike, Annual Report, 1965/66, pp. 9 and 12.
- Ekpete, D. M.*: Predicting responses to Potassium for Soils of Eastern Nigeria. Geoderma 8, 177-189 (1972).
- Elias, T. O.*: Some Current Problems of African Land Tenure. Trop. Agriculture, Trin., Vol. 33, No 4, pp. 287-296 (1956).
- Faulkner, O. T.*: Some experiments with leguminous crops at Ibadan, Southern Nigeria, 1925-1933. Emp. J. exp. Agric. 2, 93 (1934).
- Federal Department of Agricultural Research*: Annual Report: 1952/53, part 11, pp. 8-16.
- Federal Department of Agricultural Research*: Annual Report: 1953/54, part 11, pp. 4-13.
- Federal Department of Agricultural Research*: Annual Report: 1960/61, pp. 15-18.
- Federal Department of Agricultural Research*: Annual Report: 1961/62, pp. 53-54.
- Federal Department of Agricultural Research*: Annual Report: 1962/63, pp. 59-60.
- FAO Publication*: Shifting Cultivation. Trop. Agriculture, Trin., Vol. 34, No 3, pp. 159-164 (1957).
- FAO Publication, Rome*: Annual Fertiliser Review 1971, pp. 46-47, 158-161 (1972).
- Irving, H.*: Fertiliser Experiments with Yams in Eastern Nigeria 1947-1951. Trop. Agriculture, Trin., Vol. 33, No 1, pp. 67-78 (1956).
- Jacob, A. and von Uexküll, H.*: Nutrition and Manuring of Tropical Crops - Fertiliser Use, pp. 560-563, Third Edition, 1963.
- Keay, R. W. S.*: An Outline of Nigerian Vegetation, Forestry Vegetation Bulletin, 1953.
- Laudelout, H.*: Dynamics of Tropical Soils in Relation to their Fallowing Techniques (FAO Publication), 1958.
- Lewin, C. J.*: The maintenance of Soil Fertility in Southern Nigeria. Nigerian Agric. Dept. Third Special Bulletin, 1931.
- Nwinyi, S. C. O.*: The Contribution of Organic Matter to Cation Exchange Capacity of Eastern Nigerian Soils. African Soils/Sols Africains, Vol. XVIII, No 1, pp. 47-58 (1973).
- Nye, P. H.*: Some prospects for Subsistence Agriculture in West Africa. J.W.Afri. Sci. Assoc. 3, 91 (1957).

- Nye, P. H. and Greenland, D.J.*: The soil under Shifting Cultivation (Harpenden, England): Commonwealth Bur. Soils, Technical Communication No 511 (1960).
- Schmidt, Donald, R.*: Anthropological and Ecological considerations regarding the Transition of Shifting Cultivation in the Tropics. African Soils/Sols Africains, Vol. *XVIII*, No 2, pp. 59-68 (1973).
- Sullivan, L.J.*: What motivates US Farmers in Use of Fertiliser. Phosphorus in Agriculture, No 61, pp. 19-29 (1973).
- Teriba, F.A.*: The problem of Imminent Famine in Western State, Nigeria.
- Vine, H.*: Provisional Soil Map of Nigeria, Agric. Dept. Bull., 1951.
- Vine, H.*: Experiments on Maintenance of Soil Fertility at Ibadan, Nigeria, 1922-1951. Emp. J. Expt. Agric. 21, 65-85 (1953).
- Zschernitz, K.*: Fertilisers in the Improvement of Shifting Cultivation. FAO/SIDA Regional Seminar on Shifting Cultivation and Soil Conservation in Africa, Ibadan, Nigeria 2-21 July, 1973 (1973).

Quelques facteurs affectant l'emploi efficace des engrais dans l'agriculture du Nigéria

S.C.O. Nwinyi, Federal Agricultural Research and Training Station,
Umudike, Umuahia-Ibeku/Nigéria

Version abrégée

On présente une rétrospective des systèmes d'exploitation du sol et de la culture alternante (shifting cultivation), selon leur importance et leur impact sur le développement agricole.

On présente également pour certains pays d'Europa, d'Amérique du Nord et d'Afrique des données sur la consommation d'engrais en comparant les niveaux de 1938 à ceux de 1970/71 exprimés en poids total ainsi qu'en kg de N, de P et de K par ha.

On décrit les difficultés dues au changement de la culture alternante en un système plus productif et on mentionne également les programmes d'expérimentation effectués au Nigéria ainsi que le soutien du Gouvernement sous forme de subsides atteignant 50% du prix des engrais.

En exprimant la nécessité d'encourager une amélioration des méthodes culturales pour un emploi efficace des engrais, on met l'accent sur la nécessité de poursuivre des recherches détaillées quant à l'état de fertilité, à la teneur en différents éléments nutritifs et aux propriétés des sols, en vue d'obtenir des réponses aux engrais plus fortes, grâce aussi à l'emploi de variétés meilleures.

On met aussi l'accent sur la nécessité de développer les services pour l'analyse des sols au Nigéria, ce qui permettraient de donner des recommandations aux agriculteurs sur une grande échelle en vue de l'emploi adéquat des engrais.

Residual Effects of Phosphorus and Potassium Fertilizers on Shaded Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Ghana

Dr. Y. Ahenkorah, Cocoa Research Institute of Ghana (CRIG), New Tafo, Akim/Ghana

Summary

A 4 × 2 factorial design was used to study the residual P and K fertiliser effects on mature shaded Amazon and Amelonado cocoa (*Theobroma cacao* L.) at seven different sites in Ghana. The residual effects of both the P and K main effects were highly significant with P linear effect being dominant. There is an indication of a falling off in the response to K at higher K levels. This may be attributed to the initially good K buffering capacity of most of Ghanaian soils.

The residual effect of fertiliser strictly refers to either the favourable or the unfavourable response of crops to the major nutrients applied to previous crop. Other nutrients may remain to effect beneficial results. The decomposition of organic residues with the consequent release of nutrients including Nitrogen could be due to residual effects of the nutrients concerned. But in some cases especially in green house soils, the effect of previously applied fertiliser may actually be harmful as a result of decreasing the soil pH, offsetting the nutrient balance or accumulating excessive quantities of secondary nutrients.

Contributing over 65% of the national income, cocoa is presently the major product in the economy of Ghana. Fertiliser trials on cocoa in Ghana, however, were begun in the mid-fifties when effective control measures against pests and diseases were found. The information obtained from all the cocoa – fertiliser trials in Ghana have been summarised (*Ahenkorah and Akrofi [1969]*). Cocoa responds significantly to fertilisers especially phosphorus and potassium. Amazon cocoa and other precocious varieties tend to require greater amounts of potassium than the local Amelonado variety.

As fertiliser applications are increased, in expectation of high yields, but in the absence of any reliable soil tests, the chances of unbalance and other injurious effects may increase. With this note of caution, the paper reports some beneficial effects on cocoa yield from residual P and K fertilisers in Ghana.

1. Materials and Methods

Seven different experimental sites located at the main cocoa producing areas in Ghana were selected. All the sites were grown to both mature Amelonado cocoa and Amazon cocoa (*Theobroma cacao* L.) except at Brosankro-Mabang, which had only the mature

Amelonado variety. All cocoa were under forest shade. The Amelonado cocoa were treated with four levels of triple superphosphate and two levels of muriate of potash ($4P \times 2K$) at the following rates: $P_1 = 19.6$ kg P (17.5 lb P); $P_2 = 29.3$ kg P (26.2 lb P); $P_3 = 39.2$ kg P/ha (35 lb P/acre) and $K_1 = 37.2$ kg K/ha (33.2 lb K/acre). The Amazon cocoa had a similar design ($4K \times 2P$) with the following fertiliser doses: $K_1 = 18.6$ kg K (16.6 lb K); $K_2 = 37.2$ kg K (33.2 lb K); $K_3 = 74.4$ kg K/ha (66.4 lb K/acre) and $P_1 = 29.3$ kg P/ha (26.2 lb P/acre). In both designs $P_0 = K_0 = \text{Nil}$ and each had a range of six to eight replicates. Each plot had a net of 20 trees with two guard row trees separating the adjacent plot. After two years of pre-recording the yield data the fertilisers were first applied (hand broadcast) to all the respective plots in April 1966. The treatment was repeated in the same month for 1967. When significant responses were obtained in the 1968/69 crop season the fertiliser application on one half of each plot was discontinued, while the other portion continued to receive the annual fertiliser dose. All plots were harvested at monthly intervals.

2. Results and Discussion

Mean annual yields of cocoa from each treatment and over the five year period from three representative sites are presented in the Appendix. It would be incorrect to compare the results from one site with the other because of differences in the age of the trees, soil and climatic factors. At both Asikuma and Bechem highly significant fertiliser responses were obtained for each year and for both plots which either received or did not receive the annual fertiliser dressing. In other words the residual fertiliser effect was equally beneficial. This is more so with the ($4K \times 2P$) treatment than with the ($4P \times 2K$) treatment. Frequency of fertiliser responsiveness was greater among the Amazon variety than the Amelonado. This is not unexpected since the former is more precocious and requires fertilisers at a comparatively earlier period (after few cropping seasons) than the latter (*Ahenkorah and Akrofi [1968]*).

If one has direct access to computer facilities, several types of regression equations (estimated by the least-square procedures) could be used to obtain the yield response (y). A quadratic equation containing squared (P^2 , K^2) and cross-product PK appears reasonable (*Heady et al. [1955]*) to deal with similar data. But for cocoa, the results would still be incomplete in the absence of a weather variable. One important cause of yearly variations in cocoa yield response to phosphatic fertiliser is weather (or rainfall characteristic *ipso facto* soil moisture for example). The values of y can be visualized either as a series of y -curves caused by varying one nutrient while keeping the other constant or as a number of individual-response curves resulting from varying the two nutrients in different ratios. The ($4A \times 2B$) design specifically precludes the use of response-surface since a minimum of three rates for each treatment is required to satisfy the yield surface equation (*Cochran and Cox [1957]*), Chap. 8A.2). With these difficulties and limitations, yield data for individual crop season, adjusted by an analysis of covariance using the sum of two seasons pre-treatment yield as independent variate, were analysed after *Cochran and Cox [1957]*, Chap. 5. 25). Tables 1 and 2 give details of the statistical analysis of the 1970/71 yield of Bechem Amazon plots. The need for phosphorus fertilisers in cocoa cultivation is amply demonstrated and the analysis of the results from ($4P \times 2K$) treatment (not reported here) indicated a highly significant effect from the P linear component. In the ($4K \times 2P$)

treatment, the quadratic component of K in both plots is significant. This implies a falling off in the response at higher levels of the potash application which could be due partly to the generally good K buffering capacity of most of Ghanaian soils (*Acquaye [1965b]; Ahenkorah [1968, 1971]*). In addition, the PK linear interaction is significant for the plot which did not receive the annual fertiliser dressing. Since the main effect of P is so pronounced, it looks as if the PK interaction has been influenced more by P than K because the K linear component is not significant. Since unshaded cocoa tend to respond greater to fertilisers (*Acquaye et al. [1965a]; Ahenkorah and Akrofi [1968]*) and more so with K fertilisers for Amazons, it would be fair to conclude that fertiliser effects on cocoa yield would have been more spectacular had the tested trees been devoid of more overhead shade. If further work and more sites would indicate such beneficial residual fertiliser effects, then it means the practice of applying both triple superphosphate and potash annually would have to be reviewed. Similarly optimum level of K applied would also be determined for cocoa in Ghana.

Table 1. Analysis of variance of 1970/71 yield of annually fertilised portion of Bechem 4097 Amazon plot

Source	df	ms	F-value
Reps.	6	18,213	2.89*
P	1	35,754	5.68*
Kl	1	2,635	0.42
Kq	1	34,056	5.41*
Kc	1	5,916	0.94
PKl	1	5,554	0.88
PKq	1	10,396	1.65
PKc	1	1,805	0.28
Error	42	6,297	—
Total	55	—	—

* = significant at $P < 0.05$.

Table 2. Analysis of variance of 1970/71 yield from residual fertiliser portion of the Bechem 4097 Amazon plot

Source	df	ms	F-value
Reps.	6	34,037	5.27***
P	1	55,881	8.86**
Kl	1	1,805	0.28
Kq	1	35,552	5.51*
Kc	1	1,765	0.27
PKl	1	27,820	4.31*
PKq	1	13,860	2.47
PKc	1	1,299	0.20
Error	42	6,457	—
Total	55	—	—

*, **, *** = significant at $P < 0.05, < 0.01, < .001$ respectively.

3. Conclusion

A 4×2 factorial design was used to study the residual P and K fertiliser effects on mature shaded Amazon and Amelonado cocoa (*Theobroma cacao* L.) at seven different sites in Ghana. The residual effects of both the P and K main effects were highly significant with P linear effect being dominant. There is an indication of a falling off in the response to K at higher K levels. This may be attributed to the initially good K buffering capacity of most of Ghanaian soils.

Acknowledgement

Author wishes to acknowledge the technical assistance of the field staff of CRIG, Soil Science Division, Tafo and the Director, CRIG for permitting the publication of this paper.

4. References

1. Acquaye, D. K., Smith, R. W. and Lockard, R. G.: Potassium deficiency in unshaded Amazon cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Ghana. *J. hort. Sci.* 40, 100-108 (1965a).
2. Acquaye, D. K. and MacLean, A. J.: Potassium potential of some selected soils. *Can. J. Soil Sci.* 46, 177-184 (1965b).
3. Ahenkorah, Y. and Akrofi, G. S.: Amazon cocoa (*Theobroma cacao* L.) shade and manurial experiment at Cocoa Res. Inst. of Ghana I. First Five Years. *Agron. Jnl.* 60, 591-594 (1968).
4. Ahenkorah, Y.: Potassium-supplying power of some soils cropped to cocoa. *Soil Sci.* 109, 127-135 (1968).
5. Ahenkorah, Y. and Akrofi, G. S.: Recent results on fertiliser experiments on shaded cocoa (*Theobroma Cacao* L.) in Ghana. Third Intl. Cocoa Res. Conference, Accra, Ghana, p. 65-78 (1969).
6. Ahenkorah, Y.: The evaluation of Intensity, quantity, capacity and release of potassium in some soils of Ghana cropped to mature cocoa. Final Report FAO/United Nations Andre Meyer Research Fellowship. 30 pp., (1971).
7. Cochran, W.G. and Cox, G. M.: *Experimental Designs*. 2nd Ed. John Wiley and Sons Inc. London, (1957).
8. Heady, E.O., Pesek, J.T. and Brown, W.G.: Iowa State College Agric. Expt. Sta. Bull. 424 (1955).

4. Appendix

Mean yield* (lb dry cocoa/acre) from three representative trials

Asikuma Amelonado Cocoa (4P × 2K)

	With Fertiliser					Fertiliser application discontinued in 1968/69 season				
	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73
O	1612	1336	1414	1142	982	1584	1240	1206	990	848
K	1418	1188	1450	1336	1054	1580	1414	1212	1152	962
P ₁	1728	1668	1502	1722	1100	1728	1450	1184	1438	1134
P ₂	1418	1280	1114	1622	848	1474	1358	1202	990	898
P ₃	1304	1460	1114	1244	742	1294	1152	1120	1018	742
P ₁ K	1612	1566	1530	1566	1188	1492	1340	1042	1028	778
P ₂ K	1060	1616	1576	1662	1262	1492	1548	1272	1378	1000
P ₃ K	1584	1392	1538	1584	1078	1548	1156	1262	1106	908

Bechem 4097 Amazon cocoa (4K × 2P)

	With Fertiliser					Fertiliser application discontinued in 1968/69 season				
	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73
O	1066	1162	940	954	872	1062	1116	986	954	886
P	1094	1852	1408	1490	1184	1458	1420	1112	1176	1134
K ₁	976	1086	736	1008	880	1058	1180	930	876	622
K ₂	1080	1358	1058	1004	994	1130	1216	1140	972	1004
K ₃	1190	1448	1048	1148	1066	1222	1440	1022	1062	1012
PK ₁	1248	1412	1016	976	1134	1340	1384	858	1044	954
PK ₂	1112	1372	1104	1008	1080	972	1144	812	876	854
PK ₃	1216	1638	1330	1398	1490	1344	1112	926	926	912

Akaa 3010 Amazon cocoa (4K × 2P)

	With Fertiliser					Fertiliser application discontinued in 1968/69 season				
	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73
O	1022	858	826	798	822	1044	930	904	744	966
P	1456	1026	1144	1120	1190	1266	922	1058	1198	1172
K ₁	1102	972	1080	1030	884	1152	1094	1248	1066	1208
K ₂	1092	848	908	1040	1080	1048	826	994	990	934
K ₃	1040	966	1108	1040	1048	1066	944	1198	1180	1120
PK ₁	1252	1052	1416	1058	1170	1270	976	1202	1212	1112
PK ₂	1316	1062	1192	1080	1098	1208	926	1244	1094	1034
PK ₃	1316	1194	1308	1044	1190	1252	884	1166	1130	1080

* Potential yield based on conversion of 12 pods = 1 lb dry cocoa.

Effets résiduels des engrais phosphatés et potassiques sur le cacaoyer ombragé (*Theobroma cacao L.*) au Ghana

Dr. Y. Ahenkorah, Cocoa Research Institute of Ghana (CRIG), New Tafo, Akim/Ghana

Version abrégée

Un dispositif d'essai factoriel 4×2 a été utilisé pour étudier les effets résiduels des engrais P et K sur la maturité des cacaoyers ombragés «Amazon» et «Amelonado» (*Theobroma cacao L.*) sur sept sites différents du Ghana. Pour la variété «Amelonado» les traitements ($4P \times 2K$) étaient les suivants: $P_1 = 19,6$ kg de P, $P_2 = 29,3$ kg de P et $P_3 = 39,2$ kg de P/ha, avec $K_1 = 37,2$ kg de K/ha. Pour la variété «Amazon» les traitements ($4K \times 2P$) étaient: $K_1 = 18,6$ kg de K, $K_2 = 37,2$ kg de K et $K_3 = 74,4$ kg de K/ha, avec $P_1 = 29,3$ kg de P/ha. $P_0 + K_0 = \text{nul}$.

Les effets résiduels des effets principaux de P et de K ont été hautement significatifs, l'effet linéaire de P étant dominant. L'effet résiduel des traitements $4K \times 2P$ avec «Amazon» est comparativement plus important qu'avec les traitements ($4P \times 2K$) avec «Amelonado». La réponse à K diminue lorsque les niveaux d'apport de K sont plus élevés; on peut attribuer ceci au pouvoir tampon de K, initialement élevé dans la plupart des sols ghanéens. La fréquence de la réponse aux engrais était plus importante avec la variété «Amazon» qui est plus précoce. Il semble donc qu'à l'avenir les méthodes de l'application annuelle d'engrais PK sur cacaoyer au Ghana nécessiteraient une révision.

Crop Responses to Potash in Sierra Leone*

I. Haque, Department of Agronomy, Njala University College/Sierra Leone

Summary

Responses of eight crops to potash on the two major soils of Sierra Leone were reviewed. It is hoped that such a review may further stimulate interest in potash research. In the light of this review, future research proposals have been outlined.

* The full text of this paper may be obtained through the author.

The Effects of Potassium Supply on Growth and Nutrient Composition of Teak (*Tectona grandis* L.f.) Seedlings*

L. Ch. Nwoboshi, Department of Forestry, University of Ibadan, Ibadan/Nigeria

Summary

Seedlings of teak (*Tectona grandis* L. f.) were grown in sand culture with varying additions of KNO_3 . Growth responses and chemical composition of the plants were recorded and from these, relationship between K supply, dry weight and chemical composition were established. The dry weight increased with increasing amount of K applied up to a maximum at 109.20 ppm and remained almost constant between 109.20 and 312.00 ppm supply level. It however decreased with further increased K and N but decreased Mg concentrations in the leaf. The leaf Ca and P were also reduced but to a lesser degree. The dry weight showed a positive and highly correlated curvilinear relationship with tissue K. The root K gave the best reflection of the K status of teak seedlings and would therefore form the best part to sample. However the difference between root K and foliar K relationships with dry weight was small enough to permit the sampling of either root or foliage. The critical percentage of 1.0% K in the foliage was tentatively established for teak seedling pending further investigations on the observed synergistic and antagonistic interactions between K supply and the uptake of other nutrients.

* The full text of this paper may be obtained through the author.

Rapport du coordonnateur de la 3^e séance de travail

Prof. Dr I. Arnon, Bet Dagan/Israël;
Membre du Conseil Scientifique de l'Institut International de la Potasse

La 3^e séance a été consacrée à deux thèmes principaux :

- a) les méthodes d'investigation des problèmes de fertilisation;
- b) les problèmes de fertilisation de diverses cultures en conditions diverses en Afrique tropicale.

Considérons d'abord les *méthodes d'investigation*: Je crois que la conclusion fondamentale qui se dégage de la conférence de M. Walker est que l'époque du praticien général en matière de méthodes d'expérimentation a touché à sa fin. La théorie et la pratique de planification de l'expérimentation et son analyse statistique ont tellement progressé que, pour tirer les avantages possibles de ces changements, le chercheur doit faire appel aux spécialistes du traitement électronique des données. Grâce à ces services d'expérimentation deux choses sont possibles dorénavant :

- 1^o L'établissement d'essais très simples, mais effectués à une très grande échelle en conditions très diverses, permettant de dégager des généralisations pratiques. M. Mathieu donne un exemple des possibilités inhérentes à ces méthodes en présentant les conclusions tirées de 10 605 essais de démonstration effectués récemment en Afrique sous les conditions habituelles de l'agriculture de ce continent.
- 2^o L'établissement d'essais très sophistiqués, utilisant des dispositifs expérimentaux et des méthodes d'analyse nouveaux.

M. Loué mentionne quelques-unes de ces nouvelles possibilités, qui sont le résultat des dispositifs décrits par M. Walker :

- 1^o Le chercheur ne doit plus hésiter à combiner les analyses du sol et de la plante avec les essais en champ. Il peut se permettre le luxe de faire ces analyses avant, pendant et à la fin de la période de croissance de la culture en question.
- 2^o Il peut, et, selon M. Loué, il *doit* baser ses conclusions en matière de nutrition minérale sur un très grand nombre d'essais dans l'espace et dans le temps.
- 3^o Il peut faire une analyse plus poussée des couples *résultats expérimentaux + résultats diagnostiques*.
- 4^o Il peut y ajouter les contrôles biochimiques des essais de fertilisation par l'introduction des facteurs *variétés, eau, façons culturales, etc.*

Tout cela est devenu possible sans que le chercheur soit hanté par le cauchemar de montagnes de chiffres indigestes auxquels il aurait eu à faire dans le passé, au lieu de pouvoir pousser plus en détail ses travaux de recherche proprement dits.

Un autre fait qui se dégage de l'exposé de *M. Walker* est que les nouvelles méthodes d'expérimentation sophistiquées et l'intervention de l'ordinateur électronique ne diminuent en rien la nécessité absolue d'effectuer les essais avec tous les soins possibles et de faire des observations personnelles suivies pendant toute la durée expérimentale. Je crois qu'il s'agit là probablement du talon d'Achille de l'expérimentation à grande échelle telle qu'elle est décrite par *M. Mathieu*.

De plus, ni les méthodes sophistiquées ni l'utilisation de l'ordinateur ne rendent superflu le bon sens dans la planification des essais et dans l'analyse des résultats. *M. Walker* a donné bon nombre d'exemples dans lesquels le bon sens constitue le principal critère pour établir les dispositifs d'expérimentation et pour rendre applicables les résultats obtenus.

Un seul exemple, mentionné par *M. Obigbesan*, suffit pour montrer combien le manque de bon sens peut induire en erreur. Dans les régions où les arachides prédominent, la plupart des essais de fertilisation furent effectués sur cette culture. Or, il a été montré par *M. Anderson*, que les arachides sont la culture la *moins* sensible aux carences en potasse. Mais quelle fut la conclusion générale tirée de ces expériences? La fumure potassique est inutile dans ces régions, et ceci indépendamment de la culture considérée.

Finalement, je voudrais soulever la question des essais de longue durée. *M. Walker* insiste, et je crois avec raison, qu'il ne faut généralement pas prévoir des essais d'une durée dépassant dix ans. Au bout d'une période aussi étendue, les problèmes étudiés se sont généralement estompés. Mais il y a d'autres essais à long terme, que j'appellerais *les essais de «longue haleine»*. L'un après l'autre, les conférenciers ont donné des exemples d'essais au cours desquels les cultures ne donnaient d'abord pas de réponse à K, pour voir la situation changer brusquement après quelques années. D'où la nécessité de la «longue haleine» lorsqu'on effectue des essais de fumure potassique. Un bon exemple des risques qui existent lorsqu'on se fie aux résultats d'essais annuels (donc de «courte haleine») pour formuler des recommandations de fumure à long terme, est donné par *M. Heathcote*, qui se base sur ses travaux effectués au Nigéria. Au début, une série d'essais annuels, effectués sur des variétés non améliorées et sans protéger les cultures contre les attaques d'insectes et de maladies, avaient indiqué qu'il n'y avait pas de réponse économique à la potasse. Par la suite, dans les mêmes conditions de milieu, des essais continus en conditions de culture intensive ont indiqué que l'emploi des engrais potassiques devenait essentiel.

Autre exemple: *M. Anderson* mentionne que la plupart des essais de fumure se font sur des terres de forêts vierges récemment défrichées ou bien sur des sols ayant été soumis à une longue période de jachère. Il est évident que les résultats obtenus sous ces conditions et qui indiquent un manque de réponse à K, ne peuvent être considérés comme une réponse générale des cultures qui ne devient significative qu'après quelques années de culture.

Il me semble que le mérite principal de l'exposé de *M. Loué* est de montrer que la discussion sur la valeur relative des analyses du sol, des analyses des plantes et des essais en champ, considérées comme méthodes alternatives pour diagnostiquer les besoins en éléments nutritifs des plantes, est devenue superflue. La formule préconisée par *M. Loué* dans son exposé concis et clair, est d'appliquer les trois méthodes conjointe-

ment, dans un souci, d'une part, de valorisation de l'expérimentation et, d'autre part, de rationalisation croissante de la fertilisation, chose qui devient possible grâce aux moyens modernes présentés par M. Walker. Cette formule est attrayante et logique, mais elle est encore loin d'être appliquée à une échelle qui se justifierait en raison de sa valeur indubitable. Ceci est confirmé par l'exposé de M. Anderson qui indique que la corrélation entre analyse du sol et réponse des cultures en champ est encore largement négligée en Afrique orientale et que nombreux sont les essais en champ effectués sans analyse préalable du sol ou étude de la constitution des plantes.

M. Loué souligne aussi que la notion d'*optimum nutritif*, qui est basée sur l'analyse des végétaux, doit porter à la fois sur les pourcentages des divers éléments nutritifs dans la feuille et sur les rapports de ces éléments entre eux. Cela signifie que l'interprétation de l'analyse doit faire appel conjointement à la notion des *niveaux critiques* et à celle des *interactions*.

Passons maintenant aux problèmes de l'application des engrais aux différentes cultures en Afrique.

Le point de départ choisi par M. Richard est typique pour un grand nombre d'autres cas, notamment pour l'équilibre qui a existé dans le passé et qui permettait de maintenir la fertilité des sols – quoiqu'à un niveau souvent médiocre – et qui a été rompu à la suite de mesures d'intensification et de l'introduction de cultures d'exportation.

Pour illustrer sa thèse, M. Richard se base sur l'expérience résultant de l'introduction à une grande échelle de la culture du cotonnier dans les régions soudanaises et soudano-guinéennes. A cause de la rupture d'équilibre mentionnée, les engrais en général, et la potasse en particulier, commencent à jouer un rôle croissant dans la production, tout en permettant de maintenir la fertilité des sols. M. Richard signale aussi que la complexité des relations de K avec les autres facteurs de production est telle, qu'on est obligé de se limiter à l'étude des interactions simples, telles que les relations de K avec le climat, avec les autres éléments nutritifs et avec la fertilisation ionique. Ces mêmes problèmes d'interaction apparaissent également dans les communications des autres auteurs et il faudrait donc ajouter les relations de K avec les sols, avec les systèmes de culture, avec les cultures individuelles et les variétés.

Passons en revue quelques-unes de ces relations :

Les relations de K avec le climat

En général, comme le signale M. Mathieu, on peut admettre qu'une bonne pluviométrie, une bonne fumure et une bonne récolte vont de pair.

En conditions très humides, le lessivage considérable du feuillage et des sols résulte en une réponse plus marquée des cultures aux apports de K dans les régions forestières humides et moins bonnes dans les régions de savane plus sèches. Ce fait mentionné par M. Anderson comme caractéristique pour l'Afrique orientale me semble être tout aussi valable pour l'Afrique occidentale.

Tandis que dans les régions tropicales humides, l'alternance brutale des périodes de grandes pluies et des périodes de sécheresse constitue l'un des deux facteurs principaux qui influencent la disponibilité du potassium pour les plantes, M. Richard indique que dans les régions de savane c'est surtout le lessivage par les pluies au cours de la période de culture précédente qui aboutit à une situation de carence au dépens de la culture qui succède. Cet effet est marqué surtout dans les sols à faible capacité d'échange et à forte perméabilité, tandis que dans les sols présentant des caractéristiques opposées, l'effet est moins marqué.

téristiques contraires, ces effets sont beaucoup moins importants. Ceci nous amène à considérer les relations de K avec les sols.

Les relations de K avec les sols

Beaucoup de sols africains sont fortement désagrégés et lessivés. Généralement, comme le signale M. Anderson, quand ces sols commencent à être mis en culture, leurs teneurs en potassium sont considérables comparées à celles des autres bases. Mais, à la suite d'une production intensive, ils s'épuisent rapidement en éléments nutritifs.

L'effet du potassium dépend surtout de la capacité du sol de fixer et de libérer plus ou moins rapidement les ions potassiques. A ce sujet, M. Loué signale un fait qui émane d'un essai récent: un sol dont la teneur en K immédiatement disponible est élevée peut répondre à la fumure potassique dans un délai plus ou moins long, si ces disponibilités ne se renouvellent que lentement; inversement, un sol à teneur moyenne en K immédiatement disponible, mais à renouvellement rapide, peut, selon la culture en question, donner des réponses en champ faibles et variables. Il me semble que cette conclusion est surtout valable à court terme.

Parmi les sols dans lesquels la réponse à la fumure potassique est généralement remarquablement positive, M. Anderson mentionne les sols fortement sableux, les sols acides et les sols saturés en Ca. Il indique que les cultures établies sur des sols présentent une saturation potassique de moins de 2% de la capacité d'échange réagissent fortement à la fumure potassique.

Les relations de K avec les systèmes de culture

M. Anderson souligne le point important que nous avons déjà mentionné au début, à savoir que souvent les essais de fertilisation furent effectués sur des terres vierges ou après une période de jachère plus ou moins longue. En conséquence, le manque de réponse aux engrais potassiques, noté en ces circonstances, fut considéré et proclamé comme une conclusion générale. Or, en réalité, l'accroissement de la densité de la population humaine a provoqué une diminution marquée des périodes de jachère. En ce qui concerne la prévention du lessivage et la capacité d'acheminer les éléments nutritifs du sous-sol vers la couche arable, la plupart des cultures sont moins efficaces que la couverture végétale naturelle, d'où pénurie croissante en éléments nutritifs en général et de K en particulier.

M. Obigbesan indique que dans le cadre de systèmes de culture qui englobent le mulching, ces couvertures, formées de déchets végétaux, constituent une excellente source de potassium, d'où les interactions négatives entre le mulch et le potassium. Pourtant, il devient de plus en plus difficile de se procurer les matériaux nécessaires au mulching. M. Velly signale que même dans les sols de rizières dans lesquels il n'a pas été nécessaire d'envisager une *fertilisation potassique de redressement*, l'inclusion de K dans une fertilisation d'entretien s'est rapidement avérée comme nécessaire, et ceci même pour des niveaux de fertilisation et de production rizicole relativement peu élevés. Ce besoin augmente lorsque les apports d'autres éléments sont plus élevés et que la production devient plus intensive.

Les interactions potasse/cultures

Dans le passé, la recherche sur les besoins des cultures en éléments fertilisants a négligé surtout les besoins en K. La raison principale en était, d'après M. Anderson, la réponse pour ainsi dire générale des sols africains à l'azote, et leur carence marquée en P.

Ce n'est que depuis très peu de temps que les carences en K, plus sporadiques jusqu'à présent, commencent à attirer l'attention.

Parmi les cultures ayant des besoins considérables en K, M. *Anderson* cite notamment le théier, la canne à sucre, les bananes, le cocotier, le sisal, le tabac, les pommes de terre, le maïs, les fèves et les pâturages. Parmi celles qui ont des besoins moyens, il mentionne le cotonnier, tandis que l'arachide est considéré comme ayant des besoins minimes.

Les interactions potasse/variétés

Cette question présente deux aspects :

- a) La réponse différentielle entre variétés locales et variétés améliorées.
- b) Les différences de réponse rencontrées entre les variétés améliorées.

M. *Drouineau* a proposé l'analogie suivante : il faut considérer les nouvelles variétés à haut rendement comme la *locomotive* qui entraîne toute une gamme de mesures modernes et qui, de ce fait, fait progresser l'agriculture. J'accepte volontiers cette analogie, si M. *Drouineau*, de son côté, est prêt à accepter l'analogie que je propose et qui dit que les engrais sont le carburant qui fait marcher la locomotive. Or, nous sommes tous devenus conscients de l'importance primordiale du carburant.

M. *Obigbesan* donne un exemple de la différence entre deux variétés d'igname. Le problème a aussi été soulevé par moi-même au cours de la 4^e séance de ce Colloque et je n'insisterai donc pas davantage.

Quelques remarques pour terminer

M. *Drouineau*, en sa qualité de «coordonnateur des coordonnateurs», a demandé à chacun de nous de présenter brièvement l'essentiel de chacune des séances de travail de notre Colloque. Il me semble que le thème central qui se dégage de la plupart des conférences présentées au cours de la troisième séance est la différence essentielle entre le comportement de K dans la plupart des sols africains et celui dans les sols des pays à climats tempéré, méditerranéen et sec.

Dans les cas qui nous sont familiers, le sol constitue par rapport au potassium un excellent système tampon, qui réduit à un minimum les fluctuations du potassium disponible aux plantes et qui permet d'assurer un «fond de roulement potassique» toujours suffisant. Ceci à condition de faire de temps en temps des restitutions de K, qui sont basées sur les quantités exportées, sans qu'on ait d'ailleurs à se préoccuper particulièrement du moment auquel on applique l'engrais. Dans la plupart des sols africains, ce système tampon n'existe pas : la capacité d'échange est faible, la perméabilité des sols est grande, et le lessivage est extrêmement actif, d'où des variations très brusques dans l'approvisionnement des plantes en K.

En un mot, dans les sols sous climat tempéré, K se rapproche, au point de vue comportement dans le sol plutôt de l'acide phosphorique, tandis que dans les sols africains, il se comporte plutôt comme l'azote (sans toutefois vouloir pousser l'analogie trop loin).

Ces faits ont des répercussions sur les différences de la dynamique de K dans le sol, sur le bilan de K, et sur les pratiques agricoles. Mentionnons comme exemple seulement que si l'on peut se contenter de fumures potassiques de fond pour les sols des climats tempérés, celles-ci doivent être appliquées aux sols africains en tenant compte des exigences dynamiques des plantes.

Et enfin

Une synthèse d'une dizaine de conférences, établie par une seule personne, ne peut être que subjective, et risque de présenter plutôt les vues du coordonnateur chargé de ce travail que celles des conférenciers. Si, dans mon résumé, j'ai souligné certains aspects qui paraissent aux conférenciers comme étant d'importance secondaire; si je n'ai pas souligné suffisamment les aspects que les conférenciers jugent les plus importants – et si, au pire, j'ai négligé de mentionner certains aspects, j'espère que les conférenciers ne m'en voudront pas et je m'en excuse d'avance auprès d'eux.

4e Séance de travail
4th Working session

**Recherche agronomique et
vulgarisation en Côte d'Ivoire —
leur rôle dans le développement
de la consommation d'engrais**

**Research and extension in the
Ivory Coast — their role in the
development of fertilizer use**

Président de la séance
Chairman of the session

M. Aka Anghi
Directeur des Productions agricoles, Ministère de
l'Agriculture, Abidjan/Côte d'Ivoire

Cordonnateur
Co-ordinator

Prof. P. Quintanilla Rejado
Subdirector General de Mejora de la Calidad y
Defensa contra Fraudes, Ministerio de Agri-
cultura Madrid/Espagne; Membre du Conseil
Scientifique de l'Institut International de la Potasse

La programmation de la recherche agronomique en Côte d'Ivoire

C. J. du Plessix, G. G. Lohoury, B. D. de Dinechin et C. Lazzarino
Ministère de la Recherche Scientifique, Abidjan/Côte d'Ivoire

Résumé

L'importance et la diversité de la recherche agronomique en Côte d'Ivoire ont rendu nécessaire l'élaboration d'une méthode permettant sa programmation. Trois démarches successives ont ainsi été définies: identification normalisée, examen, et classement des programmes selon un ordre de priorité établi au mieux des intérêts de la science et du développement du pays.

L'identification repose sur trois notions fondamentales: fonction, programme et opération, dont le contenu est défini sur les plans scientifiques et financiers. A ces deux niveaux, l'examen des programmes associe chercheurs, utilisateurs, planificateurs et financiers. Les éléments de choix ainsi mis en évidence permettent de dégager un ordre de priorité, d'abord pour chaque organisme, puis à l'échelon national. Au cours des années 1972 et 1973, la mise en œuvre de ce système a permis d'identifier les programmes prioritaires pour la recherche agronomique en Côte d'Ivoire.

Cependant, pour améliorer le processus de choix, il est envisagé de recourir à un instrument plus formalisé, basé sur l'emploi d'un graphe de notation.

Sommaire

1. Introduction
2. La méthode ivoirienne de programmation de la recherche agronomique.
 - 2.1. L'identification normalisée des programmes de recherche.
 - 2.1.1. Identification du contenu scientifique des activités de la section «Recherche».
 - 2.1.2. Evaluation des activités de la section «Recherche».
 - 2.2. L'examen et le choix des programmes de recherche.
 - 2.2.1. Méthodes actuelles.
 - 2.2.2. Les améliorations méthodologiques prévues.
3. Premiers résultats de l'application de la méthode.
 - 3.1. Les modalités réelles d'application de la méthode.
 - 3.2. Résultats concernant la programmation scientifique.
 - 3.3. Résultats concernant la programmation financière.
4. Conclusion.

Bibliographie.

1. Introduction

Parmi les éléments qui ont rendu nécessaire et possible l'élaboration d'une méthode de programmation pour la Recherche agronomique ivoirienne, trois aspects de celle-ci ont été déterminants: son importance pour le développement du pays, ses dimensions et sa diversification.

Son rôle dans le développement du monde rural se situe à la fois dans le domaine des productions végétales et animales traditionnelles et dans celui de la diversité des cultures.

Ses dimensions peuvent être caractérisées sommairement par l'effectif du personnel employé: 3000 personnes dont 220 chercheurs, et son budget annuel actuel: 2,2 milliards de francs CFA (70% des dépenses de recherches effectuées dans le pays, et 6,5% du budget d'investissement de l'Etat).

Sa diversité apparaît d'abord dans celle des spéculations intéressées: café, cacao, bois, pêches, élevage, cultures vivrières, coton, palmier à huile, cocotier, bananes, ananas, caoutchouc. Elle se manifeste également dans la nature des recherches et des organismes concernés. A cet égard, adoptant la terminologie d'*Auger [1]*, il est possible d'identifier trois types de recherches agronomiques en Côte d'Ivoire:

- La «Recherche fondamentale orientée» conduite à l'*ORSTOM*, à la *Faculté des Sciences* et à l'*Ecole Nationale Supérieure Agronomique*, par un effectif total de 130 chercheurs, dont 80 à l'*ORSTOM*.
- La «Recherche appliquée» réalisée par les huit instituts spécialisés du *GERDAT* (90 chercheurs) [2].
- Les «Opérations de mise au point technique» effectuées par ces mêmes instituts dans le cadre de missions permanentes d'appui technique auprès des *Sociétés d'Etat* responsables d'opérations sectorielles de développement agricole.

Pour ces trois types de recherche, la diversité se manifeste encore aux trois niveaux respectifs des sources de financement, de la nationalité et du statut des chercheurs, et de la localisation géographique et politique des centres de décision scientifiques et financiers.

Cette diversité de la recherche agronomique, venant s'ajouter à celle des autres grands domaines de recherche aussi variés que ceux de la Médecine, des Sciences physiques et chimiques, des Sciences humaines et des Industries alimentaires, a justifié la création par le Gouvernement ivoirien du *Ministère de la Recherche Scientifique*, en septembre 1971; ainsi, ont été soulignées, à cette occasion, à la fois l'importance de la recherche scientifique pour la Côte d'Ivoire et la nécessité d'une coordination de celle-ci en vue de son orientation au mieux des intérêts de la science et du développement du pays.

Le besoin d'une méthode permettant l'identification normalisée des activités des organismes de recherches et la détermination des priorités à établir entre elles, compte tenu des besoins, s'est aussitôt fait sentir. Ainsi, depuis deux ans, l'élaboration d'une méthode de programmation de la recherche a-t-elle été entreprise au sein du Ministère de la Recherche scientifique. L'objet de notre communication est de présenter l'état des travaux faits dans cette voie, tant au niveau de la définition de la méthode que de sa mise en œuvre et des premiers résultats obtenus. Cette présentation fait suite à la première publication, sur ce sujet, faite par le professeur *Lorougnon Guédé*, *Ministre de la Recherche Scientifique*, au congrès du TMS à Tel-Aviv, en juin 1973 [3].

2. La méthode ivoirienne de programmation de la recherche agronomique

Le terme de programmation recouvre pour nous l'association des démarches suivantes: identification normalisée de programmes dans les activités des organismes de recherches, tant sur le plan scientifique que sur le plan financier, examen collectif des programmes actuels et futurs, et, dans les deux cas, détermination des priorités aux niveaux successifs de chacun des organismes de recherches, de chacun des grands secteurs de recherche et, enfin, de l'ensemble des organismes et secteurs concernés.

De 1960 à 1971, l'orientation des recherches agronomiques appliquées en Côte d'Ivoire a bénéficié des travaux effectués, chaque année, dans les comités techniques réunis par le *Ministère de l'Agriculture* pour chaque institut de recherches. Participaient à ces comités des représentants du Parlement, des ministères techniques intéressés, des utilisateurs. Le directeur et les chercheurs de l'institut disposaient généralement d'une demi-journée de séance en salle pour exposer à un groupe de 40 à 80 personnes l'état d'avancement de leurs recherches, leurs projets pour l'avenir et leurs propositions de budget; une autre demi-journée était consacrée à la visite des essais en champs. Les documents présentés variaient dans leur forme d'un institut à l'autre et les budgets, présentés sommairement, ne permettaient que rarement d'avoir un aperçu du coût de chaque service de recherche. Il était difficile, dans ces conditions, d'aboutir à une synthèse des priorités nationales pour la recherche agronomique. Ceci était heureusement compensé par la qualité des relations régulières existant entre chaque institut et le groupe d'utilisateurs concernés; ainsi, pour chaque institut, l'essentiel des recherches nécessaires était-il assuré et c'est bien ce qui a permis à la recherche agronomique de contribuer aussi efficacement au développement agricole du pays.

Néanmoins, l'accroissement des ressources nécessaires à cette démarche a fait apparaître un décalage de plus en plus important entre les projets de recherches souhaitables et les moyens disponibles pour leur financement; ainsi, devenait plus aigu le problème des priorités nationales. C'est pourquoi, de 1969 à 1971, le Ministère de l'agriculture avait institué une commission restreinte chargée d'examiner, dans cette perspective, les activités des instituts de recherche agronomique appliquée.

Devant cette situation, le Ministre de la recherche scientifique a estimé nécessaire la mise au point d'une méthode de programmation, applicable d'abord à la recherche agronomique et ensuite aux autres secteurs de recherches. Adoptant alors une démarche familière à notre formation de chercheurs, nous avons d'abord entrepris un effort de documentation. Nous avons été ainsi un peu surpris de constater le décalage existant dans la littérature européenne et internationale (à l'exception de la documentation nord-américaine que nous n'avons pu consulter), entre l'abondance des recommandations générales pour la coordination des recherches dans les pays en voie de développement et la rareté de l'indication de méthodes directement opérationnelles pour pratiquer cette coordination.

Des recommandations générales nous avons cependant retenu les suivantes: nécessité d'identifier des programmes précis et comptabilisés [4, 5], participation des chercheurs au choix des programmes en liaison avec les planificateurs [4, 5, 6], possibilité, parfois controversée, du recours à des graphes de comparaison utilisant des techniques d'analyse de systèmes [7, 8] pour faciliter la structuration des choix qui ne peuvent être que collectifs [9] et situés à des niveaux successifs de généralités croissantes [10]. (A cet égard, nous devons à *Maquart, Gras et Mamy* [11] une publication très détaillée sur l'emploi d'une technique d'analyse de système débouchant

sur la construction d'un graphe de comparaison pour la programmation de la recherche du département d'agronomie de l'INRA.)

La mise en œuvre de ces recommandations peut être examinée à deux niveaux : d'abord celui de l'identification des programmes et ensuite celui de l'examen et du choix de ceux-ci.

2.1. L'identification normalisée des programmes de recherche

Cette première phase a été, bien entendu, conçue en fonction de la phase suivante, celle du choix. Parce qu'il ne peut y avoir de choix digne d'une politique scientifique nationale qu'entre des programmes précis, et non entre des organismes, notre préoccupation a été de permettre le passage du financement d'organismes à celui du financement de programmes. Par financement, nous entendons soit l'allocation de ressources ayant vocation de complément par rapport à d'autres sources de financement soit, fait moins fréquent, la prise en charge complète de programmes.

Nous avons d'abord été amenés à considérer que les activités des organismes de recherches, quelle que soit la nature de celles-ci, pouvaient être de trois types : recherche proprement dite, exploitation (conduite d'une plantation par exemple), et prestations de services (assistance technique à des opérations de développement...). A chacun de ces types de classement nous avons fait correspondre la notion de «section», premier élément de classement, au niveau de généralité le plus élevé, des activités des organismes de recherche.

Alors que ces trois sections sont toujours présentes dans les activités des instituts de recherche agronomique appliquée, pour les laboratoires de la Faculté des Sciences seule la section recherche est représentée.

Dans les limites de cette communication, nous nous bornerons ici à l'analyse du contenu de la section «Recherche», qui est seule concernée par la programmation. Cette analyse porte successivement sur l'identification du contenu scientifique et l'évaluation du coût financier de cette section.

2.1.1. Identification du contenu scientifique des activités de la section «Recherche»

Considérant que la recherche doit se caractériser par ses produits, plus que par ses objectifs, nous avons établi une distinction entre les ateliers de fabrication des produits que sont les laboratoires ou services de recherche et les activités scientifiques qui s'y déroulent.

Aux laboratoires nous avons donné le nom de «fonction», tandis que les activités ont pu être classées, selon un niveau de généralité décroissant, en : «programmes», «opérations» et «actions de recherche».

A. La «fonction» permet d'identifier la place du laboratoire ou du service dans l'organigramme fonctionnel de l'organisme. Ainsi, pour les instituts de recherche agronomique appliquée, les laboratoires ou services d'amélioration des plantes, de défense des cultures, de technologie, etc., sont autant de «fonctions»; à la Faculté des sciences le département de botanique et de biologie végétale comprend les «fonctions»: amélioration des plantes, physiologie végétale et botanique.

B. La notion de «programme» désigne un ensemble d'«opérations» de recherches, à terme défini, ayant des produits identifiés avec précision. Ces notions de durée et de produits sont fondamentales pour l'identification d'un programme.

La durée est appréciée de deux manières: par le temps nécessaire à la réalisation complète du programme, et par la datation des années de rendez-vous possibles pour les décisions à prendre concernant la poursuite, l'infléchissement ou l'arrêt du programme. Cette notion de rendez-vous intervient surtout dans les programmes à long terme tels que les programmes d'amélioration des plantes; par exemple, un programme d'amélioration interspécifique du riz pluvial, initialement programmé sur 15 ans, pourrait voir sa durée modifiée, au vu des résultats des trois premières années de croisement.

Les produits constitués de l'assemblage des résultats des opérations sont directement utilisables par des agents extérieurs à l'unité de recherche considérée. Ils sont classés par type d'utilisateurs:

- agents producteurs de biens et services (sociétés de développement, sociétés privées, populations villageoises...).
- autres chercheurs (communauté scientifique nationale et internationale).
- organismes d'enseignement et de formation; ce troisième type de produit est assez rarement cité, alors qu'il est important de le prendre en considération dans une programmation de la recherche dans les pays en voie de développement, là où la formation des cadres, chercheurs ou non, est prioritaire.

Le rattachement de l'activité scientifique d'une fonction à un programme implique donc l'identification d'au moins une sorte de ces trois produits. Enfin un produit ne peut appartenir à plusieurs programmes.

C. L'«opération» apparaît comme l'unité de mesure des activités scientifiques qui constitue l'articulation entre les notions de fonction et de programme.

Par rapport à la notion de fonction, l'opération constitue l'unité de gestion liée à l'emploi groupé des facteurs de production de l'atelier «laboratoire». Elle constitue une unité de comptabilisation des coûts, et de financement. C'est l'addition du coût des opérations qui indique le coût du programme. Au niveau des financements, elle représente une unité de choix pour le lancement ou la progression d'un programme. Par rapport à la notion de programme, l'opération regroupe un ensemble d'«actions» de recherche dont l'agrégation des résultats élémentaires fait apparaître un produit homogène qui conditionne la valeur du produit du programme. A l'inverse des coûts, la somme des produits d'un programme n'est pas la somme des produits des opérations, dans la mesure où la seule agrégation des produits des différentes opérations du programme peut entraîner des effets de structure.

Une opération doit, en principe, occuper au minimum un chercheur qui en assume la responsabilité scientifique et administrative. A ce titre, elle constitue également une unité de décision. Il peut cependant arriver qu'un chercheur ait à répartir ses responsabilités entre deux ou trois opérations au maximum.

Parce qu'elle contribue directement au programme, l'opération doit pouvoir également être caractérisée par sa durée. A cet égard, nous sommes convenus de distinguer deux types d'opérations: les opérations programmées qui ont une durée déterminée; les opérations non programmées qui correspondent à des activités permanentes liées à la recherche dont elles constituent un support (relevés météorologiques, collections vivantes, inventaires, etc.).

D. L'«action» de recherche représente l'unité élémentaire de mesure de l'activité scientifique; ainsi une opération de sélection végétale, dans un programme d'amélioration d'une plante, peut comporter les actions suivantes: introductions de variétés

nouvelles, observations de ces variétés en collections, choix de géniteurs, tests d'aptitude à la combinaison, études de descendance, expérimentation multilocale.

A l'inverse des programmes et des opérations, l'action de recherche n'intervient pas dans les procédures de choix. Elle ne constitue une unité de compte et de décision que pour l'organisme de recherche concerné.

Ainsi définis, les programmes et les opérations donnent lieu à deux types de documents descriptifs: un fichier permanent destiné à être intégré à l'inventaire du potentiel scientifique et technique (avec actualisation scientifique) et des documents de travail pour les Commissions de programmes.

Les fiches programmes sont renseignées par deux types de données: externes et internes. Les données externes portent sur la nature des produits attendus, les liaisons avec les projets de développement et les dates prévisibles de l'obtention des produits. Les données internes ont trait au degré d'incertitude lié à la probabilité de réussite, aux fonctions intéressées, au contenu exprimé en opérations, aux disciplines concernées, au coût et à l'échéancier de financement, et aux collaborations extérieures attendues; une appréciation sur l'importance du programme pour l'organisme en cause est également fournie.

Les fiches opérations indiquent la nature et le niveau de contribution au programme, la description des produits attendus, les caractéristiques scientifiques et administratives de la mise en œuvre: Organisme et fonctions intéressées, liste et localisation des actions de recherche, chercheurs responsables, durée, probabilité de réussite, intérêt scientifique propre, support extérieur nécessaire, coût et échéancier de financement. Les documents préparés pour les Commissions de programmes comportent un rappel de la structure de l'organisme de recherche, une information sur l'avancement actuel de la recherche (résultats de la campagne écoulée) et les modifications proposées; et cela, pour la totalité des programmes et opérations.

2.1.2. Evaluation du coût des activités de la section «recherche»

Les rubriques budgétaires et comptables adoptées en programmation financière sont homologues de celles retenues pour la programmation scientifique. Les notions de fonction et d'opération, communes aux deux systèmes, sont utilisées concrètement pour former l'ossature des budgets.

Les activités liées à la section recherche sont classées en trois sous-sections: recherche, administration et services, les deux dernières étant considérées comme des supports techniques de la recherche.

Chacune des sous-sections est parfaitement identifiable par les moyens physiques permanents dont elle dispose (personnel, matériel, locaux). L'inventaire de ces moyens étant dressé et le coût de leur fonctionnement estimé, il reste à les répartir ou à les imputer dans les opérations de recherche, dont la description permet leur affectation aux fonctions de recherches correspondantes, et cela au mieux et dans les limites de la capacité de recherche de chaque fonction.

D'une manière générale les moyens sont:

- décrits ou quantifiés au niveau des fonctions avec indications de leur imputation ou de leur répartition dans les opérations de recherche, sur la base notamment des renseignements fournis par les fiches budgétaires établies pour les actions de recherche;

- analysés, corrigés et estimés au niveau de l'administration et des services;
- imputés dans les comptes de charges par nature pour la comptabilité.

Ces moyens ont en fait deux origines: ceux appartenant aux fonctions (moyens endogènes) et ceux à solliciter auprès d'un organe spécialisé de l'organisme de recherche ou à l'extérieur (moyens exogènes)

La procédure d'évaluation, d'imputation et de répartition est sensiblement la même quelle que soit l'origine de ces moyens.

Les recettes diverses éventuelles (ventes de produits de parcelles expérimentales, de matériel végétal, d'animaux, etc.) sont affectées à la sous-section services. Le solde du compte de cette sous-section, déficitaire dans la majorité des cas est appelé charges résiduelles.

Ces charges résiduelles des services et les charges de la sous-section administration sont ensuite réparties dans les opérations de recherches, de telle sorte que le document budgétaire final du fonctionnement de la section recherche ne contient plus que les budgets des opérations de recherche.

Cependant, les dépenses d'investissements correspondant à des immobilisations et gros équipements nouveaux, compte tenu de la difficulté de leur imputation à un programme particulier, sont imputées globalement à la section recherche.

La balance générale des charges de fonctionnement et d'investissement et des produits éventuels fait apparaître, le plus souvent, un solde déficitaire exprimant un besoin de financement pour ces objets bien définis que sont les opérations de recherches.

Les sources de financement étant connues, il est alors possible de dresser le compte de financement énumérant d'une part les emplois (opérations et programmes) et d'autre part les ressources et leurs affectations aux emplois. Cette affectation fait l'objet d'une concertation entre les bailleurs de fonds, notamment dans le cadre de la Commission de budget correspondant à l'organisme considéré.

Les liaisons que l'on peut établir entre les opérations, les programmes, les fonctions et les sources de financement sont traduites dans une matrice de répartition qui permet de connaître, année par année, l'évolution des coûts des opérations, des programmes et des fonctions, l'utilisation des contributions financières et leur répartition dans les mêmes rubriques.

Le contrôle budgétaire, que prolongent et complètent les budgets analytiques, est à la fois un instrument de gestion pour les directions des organismes et un instrument de vérification de l'emploi des crédits pour les bailleurs de fonds qui, eux aussi, à la lumière des résultats obtenus, peuvent mesurer l'efficacité de leur concours financier.

2.2. *L'examen et le choix des programmes de recherches*

2.2.1. Méthodes actuelles

Dès le début de 1972, avant même que ne soit élaborée la méthode d'identification normalisée des programmes de recherches qui vient d'être décrite, une procédure d'examen et de choix annuels des programmes a été mise en place. Pour l'année 1972, chaque organisme a présenté ses programmes selon ses propres normes, les budgets n'étant examinés que globalement. En 1973, la méthode d'identification du contenu scientifique des programmes a pu être testée sur trois instituts de recherche agronomique, tandis que la méthode d'évaluation financière n'a pu être testée, dans le détail,

que pour un seul institut, la distinction entre l'évaluation des trois grandes sections ayant cependant été menée à bien pour les huit instituts.

La procédure d'examen et de choix des programmes se déroule en trois étapes:

- les commissions de programmes,
- les commissions de budget,
- les commissions de synthèse.

Les catégories de participants à ces trois types de commissions sont indiqués sur le tableau 1.

L'examen séparé des programmes et des budgets procède d'un souci de plus grande liberté pour l'examen du contenu scientifique des programmes et l'inventaire des programmes nécessaires du point de vue des utilisateurs.

Il existe une commission de programmes pour chaque organisme ou groupe de laboratoires, selon la dimension des organismes. Par contre il n'existe pour le moment de commissions de budget que pour les organismes dans lesquels la part du financement ivoirien a une importance relative suffisante.

Tableau 1. Composition des Commissions d'examen et de choix des programmes de recherche

Instances	Présidence	Participants				
		MRS	Autres Ministères	Organismes de recherche	Utilisateurs	Organismes de financement
Commission de Programmes	Directeur de l'Organisme de recherche	DAS	Plan et ministères techniques concernés	Directeurs, Chercheurs, Chercheurs autres organismes	Techniciens SODE Secteur privé	
Commission de budget	Directeur de cabinet du MRS	STUFOR DAS	Finances et Plan	Directeur	Utilisateurs, bailleurs de fonds	MPC
Commission de synthèse	Directeur de cabinet du MRS	DAS STUFOR CT 2	Présidence de la République Plan Agriculture Production animale Reforestation			

MRS: Ministère de la recherche scientifique.
DAS: Direction des affaires scientifiques.
MPC: Mission permanente de coopération.

STUFOR: Service de tutelle financière des organismes de recherche.
SODE: Sociétés de développement.
CT 2: Conseiller technique du MRS pour la politique de recherche

A. Les commissions de programmes

Quatre objectifs sont visés :

- faire le point des résultats acquis dans les programmes en cours,
- apprécier l'opportunité de la poursuite, de l'infléchissement ou de l'arrêt de ces programmes,
- examiner puis choisir, par ordre de priorité, les programmes (ou opérations) nouveaux,
- dégager des voies de coordination possibles interorganismes pouvant conduire à des programmes pluri-organismes.

Cinq catégories de participants sont présents :

- les chercheurs de l'*organisme concerné*,
- des chercheurs d'autres *organismes de recherches*, compétents dans les disciplines en cause,
- des *utilisateurs* hautement qualifiés : techniciens des *sociétés de développement*, du *secteur privé* et des *Ministères techniques*,
- deux représentants de la *direction des affaires scientifiques* du *Ministère de la Recherche scientifique*,
- au minimum un représentant du *Ministère du Plan*.

Au total 20 à 30 personnes sont ainsi réunies pour chaque commission, dont la durée est le plus souvent d'une journée. La présidence de la séance de travail est délibérément confiée au *directeur de l'organisme concerné*, afin de bien concrétiser la reconnaissance par le Ministère de la Recherche scientifique de la responsabilité qui incombe aux organismes eux-mêmes quant au contenu scientifique et aux résultats de leurs programmes. La direction des affaires scientifiques n'intervient que dans l'animation de la réunion et dans le constat final des décisions prises. Une attention particulière est portée à la participation effective des utilisateurs dans la phase de choix des priorités.

B. Les commissions de budget

L'objectif des commissions de budget est d'examiner les prévisions budgétaires de l'année à venir, à la lumière des résultats de l'année écoulée et de l'exercice en cours. Il est possible ainsi d'apprécier l'évolution, sur trois années successives, des charges, des produits et des besoins de financement.

Le budget de fonctionnement de l'année à venir est examiné à trois niveaux :

- stricte reconduction des programmes en cours («maintien du potentiel»),
- renforcement de programmes en cours («actions renforcées»),
- initiation d'opérations nouvelles dans le cadre de programmes nouveaux («opérations nouvelles»).

Les immobilisations correspondantes sont examinées dans une perspective parfois pluriannuelle, notamment dans le cas des programmes financés entièrement par la Côte d'Ivoire.

Lors de cette commission aucun engagement de financement n'est pris pour les actions renforcées ni pour les opérations nouvelles. Seul est indiqué le taux d'accroissement maximum admis pour les charges de maintien du potentiel.

Présidées par le *directeur de cabinet du Ministre de la Recherche scientifique*, les commissions de budget sont animées par le *chef du Service de tutelle financière* des orga-

nismes de recherche du Ministère de la Recherche scientifique représentant le *directeur des affaires administratives et financières* du Ministère. Participent à ces commissions des représentants des administrations et organismes suivants: *Direction des affaires scientifiques du Ministère de la Recherche scientifique, direction du budget général et du budget spécial d'investissement et d'équipement du Ministère de l'Economie et des Finances, Ministère du Plan et Ministère technique* utilisateurs, *Sociétés de développement* assurant des financements de programmes; enfin, le Secrétariat d'Etat français chargé de la Coopération, assurant une part importante des financements de la recherche agronomique, est représenté par un conseiller de la *Mission Permanente de Coopération* ou par le chef de mission lui-même. Au total, huit à dix personnes sont réunies pour chaque commission de budget pour des séances de travail d'une durée moyenne d'une demi-journée.

Les organismes de financement mis à contribution sont globalement les suivants: Ministère ivoirien de l'économie et des finances, Secrétariat d'Etat français chargé de la Coopération, Sociétés de développement, secteur privé et université.

C. Les commissions de synthèse

Les commissions de synthèse ont pour objectif actuel de déterminer les choix budgétaires à faire entre les demandes de mesures nouvelles des différents organismes. Dans une première étape, seules deux commissions de synthèse sectorielles ont fonctionné: l'une pour l'ensemble de la recherche agronomique (huit instituts du GERDAT), l'autre pour la Faculté des sciences. Les options entre les grands secteurs restent pour le moment du domaine du Ministère de la Recherche scientifique, en attendant la mise en place prochaine du Conseil Scientifique de la Recherche, instance interministérielle. Les commissions de synthèse sont présidées par le *directeur de cabinet du Ministre de la Recherche*. Participent à ces commissions des représentants de la *Présidence de la République, des Ministères du Plan, de l'Agriculture, de la Production animale et de la Reforestation, des directions des affaires scientifiques et des affaires administratives et financières du Ministère de la Recherche*.

Les programmes et les budgets ainsi retenus en commissions de synthèse font ensuite l'objet d'ultimes concertations, d'une part, avec les Ministères ivoiriens de l'économie et des finances du plan, et, d'autre part, en cas de besoin, avec les co-financiers étrangers (France essentiellement, et bientôt Allemagne), dans le cadre de commissions mixtes bilatérales.

2.2.2. Les améliorations méthodologiques prévues

Telle qu'elle vient d'être décrite, la méthode de programmation de la recherche agronomique appelle encore quelques améliorations, pour qu'elle puisse devenir un outil pleinement adapté aux besoins de la Côte d'Ivoire en matière de définition de politique scientifique. Les améliorations prévues portent dans deux domaines: les prises de décision concernant le choix des programmes et la gestion des organismes de recherche d'une part, et l'inventaire du potentiel scientifique et technique d'autre part.

A. Les prises de décision

A.1. Le choix des programmes

L'expérience des deux premières années d'application de la procédure des commissions

(de programmes, de budget et de synthèse) montre que le classement des priorités est parfois malaisé. Certes, cette expérience a été réalisée avant l'application généralisée de la méthode normalisée d'identification des activités, mais il n'en reste pas moins que les participants, chercheurs ou utilisateurs, peuvent éprouver des difficultés pour situer leurs objectifs respectifs à la fois les uns par rapport aux autres et dans la perspective du *Plan de développement national*. L'utilisation d'une méthode plus rigoureuse de comparaison des programmes semble donc indispensable.

La méthode choisie est globale; elle est fondée sur la consultation et l'accord de participants à des groupes de réflexion; elle hiérarchise les niveaux de choix.

Le processus de prise de décision est global en ce sens qu'il porte sur l'ensemble des activités de recherche agronomique, intéressant la Côte d'Ivoire. Cet ensemble est considéré comme un système unique, où sont distingués des sous-systèmes, notamment sur des bases géographiques.

Ce processus est fondé sur la consultation et l'accord d'interlocuteurs choisis pour leur compétence institutionnelle. Il met donc en œuvre un instrument de comparaison permettant d'agrèger les choix individuels.

Ce processus hiérarchise les niveaux de choix: il s'agit d'agrèger des séries de choix et de les confronter à leurs conséquences.

La structure générale de l'instrument de comparaison est celle d'un graphe, ou image graphique du cheminement du programme dans la réalité en suivant ses effets.

Le «graphe général» de la recherche agronomique comprend trois niveaux composés respectivement d'une classe d'objets:

- niveau inférieur: les programmes, définis par leurs produits,
- niveau intermédiaire: les projets de développement,
- niveau supérieur: les objectifs ou axes de développement liés au Plan de développement national.

Chacun des objets d'un niveau donné conduit à l'obtention d'objets appartenant au niveau immédiatement supérieur. Le graphe se lit ainsi: un programme contribue à des projets qui correspondent à des objectifs du plan. On définit ainsi des «cheminements», sur lesquels portent les comparaisons et dont la notation se fait:

- sur des critères attachés aux objets des différents niveaux,
- sur des liaisons entre objets de niveaux différents; ces liaisons sont représentées sur le graphe par des arcs reliant les objets concernés; les arcs sont notés suivant une échelle traduisant l'importance de la liaison.

Les notes sont pondérées, de façon à mettre en évidence les conséquences possibles des choix. En faisant varier la pondération, on utilise le graphe comme une sorte de règle à calcul.

L'emploi d'une notation chiffrée diminue la subjectivité des comparaisons. Il faut, cependant, remarquer que la comparaison ne se fait pas dans l'absolu, mais par rapport à des critères choisis en fonction d'une certaine vision des choses. Le graphe éclaire la relation entre les choix faits sur les critères et les choix faits sur les programmes. Ce transfert de choix des critères aux programmes améliore la connaissance des conditions et des conséquences de la prise de décision.

La construction du graphe se fait par itérations successives reliées par des groupes de notation (fig. 1):

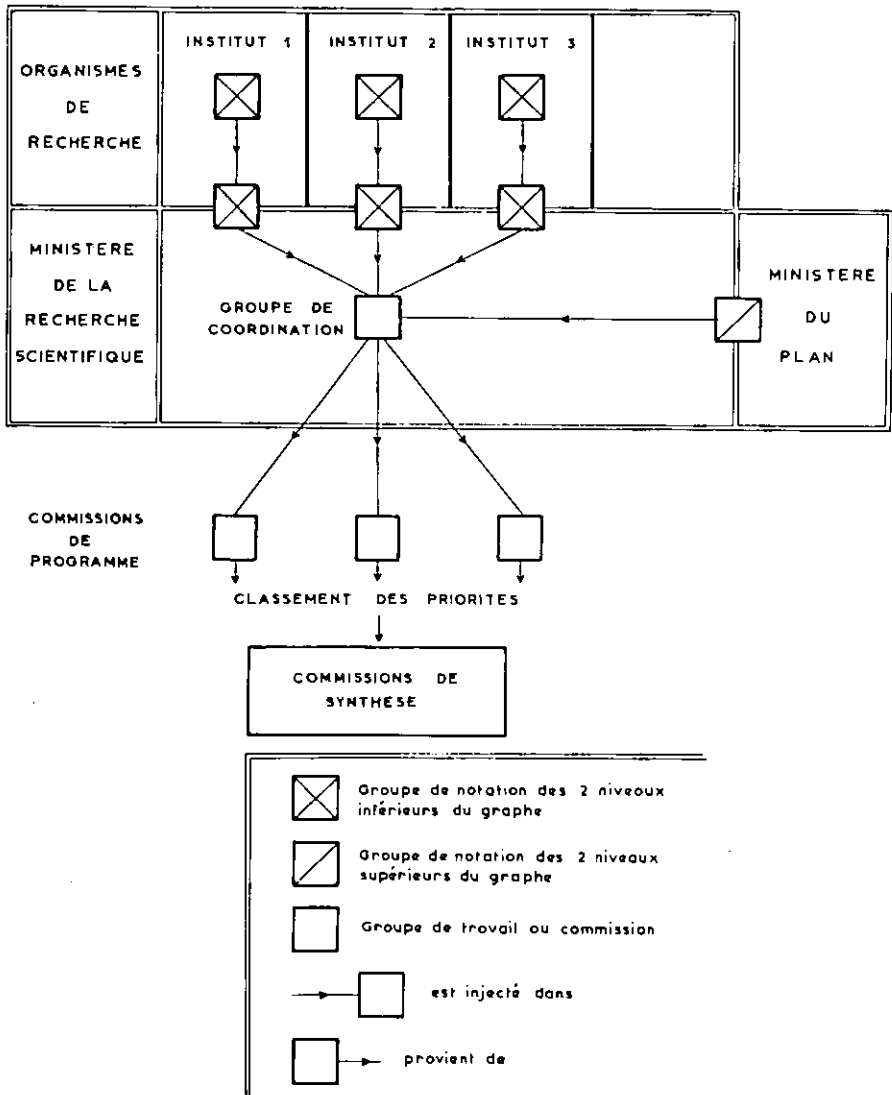


Fig. 1. Construction du graphe général – son insertion dans la procédure de programmation.

- pour les deux niveaux supérieurs, un groupe associe les Ministères de la Recherche scientifique et du Plan;
- pour chaque commission de programmes, un groupe associe le Ministère de la Recherche scientifique et l'institut concerné; il est relié à un groupe interne à l'institut et travaille sur les deux niveaux inférieurs;

- au sein du Ministère de la Recherche scientifique, un groupe de coordination centralise les résultats et les communique aux commissions de programmes.

La construction du graphe intervient au niveau du groupe de coordination. Les autres groupes travaillent sur des matrices.

La méthode n'est pas encore opérationnelle. Une première tentative est actuellement réalisée sur le sous-système que constitue la recherche agronomique dans le Sud-Ouest ivoirien, pour lequel un graphe est en cours d'élaboration. Un deuxième essai, portant sur une autre région, sera ensuite entrepris.

C'est après avoir tiré la leçon de ces deux expériences que pourra être envisagée la construction du graphe général de la recherche agronomique.

A.2. La gestion des programmes

Le graphe général sera complété par un second graphe portant sur l'exécution des programmes. Les niveaux de ce graphe comportent les objets suivants :

- niveau supérieur: les programmes,
- niveau 2: les opérations de recherche,
- niveau 3: les fonctions de recherche,
- niveau 4: les organismes de recherche.

B. L'inventaire du potentiel scientifique et technique

La réalisation de l'inventaire du potentiel scientifique et technique (PST) de la Côte d'Ivoire est en cours de préparation, avec l'appui de l'*UNESCO*. Cet inventaire portera classiquement sur les points suivants :

- dispositif général et moyens physiques,
- ressources humaines,
- ressources financières,
- activités des organismes de recherche (recherche, développement expérimental, enseignement, collectes de données, études),
- information et documentation.

Comme l'ensemble du système, l'inventaire reposera sur les trois notions fondamentales de programme, fonction et opération, d'où la nécessité d'utiliser une codification appropriée. Le traitement électronique des données est envisagé.

La méthode et la procédure de programmation permettent de collecter un grand nombre d'informations normalisées directement exploitables pour l'inventaire.

Les fichiers «programmes» et «opérations» sont en effet mis à jour annuellement à l'occasion des commissions de programmes. Leur emploi dans l'inventaire du PST est actuellement à l'étude, la principale difficulté résidant dans la nécessité de bien distinguer ce qui est «programmation» (a priori) de ce qui est «inventaire» (a posteriori). Il semble possible de parvenir à une solution qui éviterait d'interroger deux fois les organismes de recherche sur leurs activités.

La réalisation de l'inventaire exige enfin la mise au point d'une terminologie normalisée concernant les disciplines scientifiques. La notion de discipline est relative et dépend de l'accord de la communauté scientifique; ce travail de normalisation sera donc entrepris en liaison étroite avec les organismes de recherches, de façon à adapter aux besoins ivoiriens les nomenclatures existantes.

3. Premiers résultats de l'application de la méthode

Les premiers résultats d'application de la méthode, enregistrés au cours des deux premières années d'élaboration et de mise en œuvre progressive, peuvent être appréciés dans trois directions :

- examen des modalités d'application,
- résultats concernant la programmation scientifique,
- résultats concernant la programmation financière.

3.1. Les modalités réelles d'application de la méthode

Ces modalités peuvent d'abord être appréciées au niveau de l'étendue de l'application des procédures de commissions de programmes et de budget. Ainsi, le nombre des commissions de programmes est-il passé de huit dans le cycle de programmation octobre 1971-juin 1972, à 24 dans le cycle suivant octobre 1972-juin 1973; pour le prochain cycle, le nombre vraisemblablement maximum sera atteint avec 34 commissions de programmes.

A cette évolution numérique correspond un élargissement des secteurs de recherche concernés; ainsi, pour le premier cycle, seules ont été examinées les activités des organismes de recherche agronomique appliquée; pour le deuxième cycle, la recherche fondamentale orientée effectuée à l'ORSTOM et à l'Université a pu être examinée en même temps que les autres activités de recherche de la Faculté des sciences et celles des Facultés des lettres et des sciences économiques. Pour le prochain cycle, la procédure des commissions de programmes sera étendue aux laboratoires de recherche de l'École nationale supérieure agronomique en même temps qu'à la recherche médicale.

En ce qui concerne les commissions de budget, leur progression a été moins rapide: 8 en 1972, 12 en 1973 et probablement 14 en 1974. Ceci est dû au fait qu'il n'y a pas eu de commission de budget pour la recherche fondamentale orientée effectuée à l'ORSTOM et que des regroupements ont été possibles pour les recherches universitaires.

Un deuxième niveau d'appréciation des modalités d'application de la méthode réside dans l'accueil qui lui a été fait, dans ses deux phases d'identification et de choix des programmes, par les divers interlocuteurs.

D'une manière générale nous admettons volontiers que la méthode a d'abord inquiété les chercheurs, ne serait-ce que par la somme d'efforts impliqués dans la conception et la mise en forme des documents demandés.

Cependant, des réactions positives sont progressivement apparues dont la première est sans doute la ponctualité avec laquelle les documents ont toujours été préparés, et les diverses commissions réunies.

Une deuxième réaction, plus dynamique, est apparue dans l'attitude de la majorité des équipes de recherches qui ont vu, dans le cheminement proposé pour la programmation de la recherche, une possibilité de mieux situer leurs activités par rapport aux besoins du développement du pays et aux exigences de la communauté scientifique nationale. Ceci a été particulièrement manifeste pour les organismes de recherche fondamentale orientée qui, traditionnellement, étaient parfois les moins bien préparés à une telle démarche, du moins dans le cadre d'une programmation nationale

concerté. Les réactions très positives des équipes de l'ORSTOM et de l'Université méritent d'être soulignées à cet égard. Dans le cas de l'Université, il convient d'indiquer que, loin de vouloir mettre un frein à la recherche libre, nous avons surtout voulu identifier des domaines de recherche pour lesquels un soutien particulier s'avérait justifié, compte tenu de notre double critère : avancement des connaissances et utilité pour le développement.

Enfin, cette réaction positive des chercheurs s'est traduite par l'expérimentation spontanée de la méthode d'identification normalisée des programmes dans trois instituts de recherche agronomique appliquée, la méthode d'évaluation des coûts par programme ayant pu être testée dans l'un de ces trois instituts.

A l'extérieur de la communauté scientifique, la méthode a toujours rencontré un écho très favorable, tant de la part des utilisateurs que des divers ministères concernés. La contribution de spécialistes de la programmation des Ministères de l'Economie et des Finances et du Plan nous a notamment été précieuse. En outre, l'institution d'un système d'interlocuteurs privilégiés, dans les ministères techniques, désignés sous l'appellation de «correspondants-recherche», a permis d'accroître l'efficacité de la coordination interministérielle impliquée par la mise en œuvre des diverses commissions.

3.2. Résultats concernant la programmation scientifique

Les résultats de la programmation scientifique peuvent être appréciés à deux niveaux : l'ordre de priorité des programmes et le type d'actions de coordination interorganismes auquel nous avons abouti.

En ce qui concerne les priorités, nous nous contenterons de citer celles retenues pour la recherche agronomique appliquée dans le cadre des programmes soumis au cofinancement français par l'intermédiaire du GERDAT.

Le tableau 2 indique les ordres de priorités retenues pour les années 1974 et 1975 parmi les 24 opérations nouvelles présentées aux commissions de programmes des instituts du GERDAT. Il ne s'agit que d'indications prévisionnelles, les budgets n'étant pas encore arrêtés à la date de rédaction de cette communication. Il est admis que les opérations de la liste 1974, qui ne seraient pas retenues au terme des négociations budgétaires pour cet exercice, seront reportées en tête des priorités 1975.

Tableau 2. Classement par ordre de priorité des opérations nouvelles de recherche pour les instituts du GERDAT

Prévisions 1974	Prévisions 1975
1. Agro-économie Savane	1. Technologie café et cacao
2. Génétique croisement interspécifique riz pluvial (opération N° 1)	2. Génétique croisement interspécifique riz pluvial (opération N° 2)
3. Cytogénétique <i>E. melanococca</i>	3. Prospections nouvelles origines de cocotiers
4. Agrostologie	4. Lutte biologique contre <i>coelenomenodera</i>
5. Génétique hévéa	5. Sélection panicum
6. Génétique coton irrigué	6. Génétique ananas
7. Agro-économie forêt	7. Physiologie de l'hévéa

L'examen de ce tableau permet de dégager des tendances quant aux priorités de la recherche agronomique appliquée en Côte d'Ivoire.

L'amélioration des plantes est le premier secteur prioritaire avec 8 opérations nouvelles demandées sur 14, soit 57%. Parmi ces opérations, deux auront une incidence directe sur l'amélioration de la qualité des produits agricoles (Cytogénétique *E. Melanococca* et Génétique *ananas*); s'ajoutant ainsi à l'opération technologie café et cacao, elles portent à trois le nombre d'opérations ayant cette finalité. Viennent ensuite, à égalité, d'une part deux opérations centrées sur l'élevage: Agrostologie des pâturages naturels et sélection panicum, et, d'autre part, deux opérations d'agro-économie ayant pour produit escompté la définition de systèmes d'exploitation pour les zones de savane et de forêt. Amélioration des plantes, qualité des produits agricoles, alimentation des bovins et agro-économie apparaissent donc comme quatre secteurs de recherches prioritaires dans la limite des instituts et des sources de financement considérés. Une perspective plus globale conduirait à considérer le secteur élevage dans son ensemble (avec les programmes d'amélioration génétique) au même niveau d'importance que celui de l'amélioration des plantes. De même, le rapprochement des priorités de la recherche agronomique de celles des sciences humaines conduit à privilégier toutes les recherches susceptibles de conduire à une meilleure connaissance du milieu rural et de ses réactions face aux diverses innovations qui lui sont proposées pour son intégration dans le développement général du pays. (Ceci rejoint les recommandations faites par R. Dumont [12] en 1968 au colloque d'Abidjan sur les priorités de la recherche agricole en Afrique.)

Quant aux actions de coordination scientifique initiées dans les commissions de programmes, nous pouvons citer la concertation qui s'est engagée entre le Département d'agronomie de l'ORSTOM et les instituts du GERDAT, dans le cadre d'un séminaire ayant pour ordre du jour une réflexion sur les orientations possibles pour les nouveaux programmes des agronomes de l'ORSTOM à prévoir au-delà de 1975, compte tenu de l'arrivée à terme, à cette époque, des programmes en cours actuellement.

De même, dans les domaines des sciences humaines d'une part et de l'agro-économie, d'autre part, une réflexion collective est engagée entre les trois instituts du GERDAT travaillant en zone de savane, l'ORSTOM - sciences humaines, et les instituts de recherches en science humaines et économiques de l'Université. L'objectif de cette réflexion est la coordination des programmes ayant trait aux zones de savane.

Enfin, d'ores et déjà, apparaissent dans plusieurs domaines des programmes pluridisciplinaires et pluriorganismes.

3.3. Résultats concernant la programmation financière

D'une manière générale, deux tendances se sont manifestées au cours de l'application de la méthode: d'une part, les documents fournis pour les commissions de budget ainsi que les travaux de ces commissions permettent d'aboutir à une estimation plus précise des charges et des produits prévisibles, et donc des besoins de financement; d'autre part, une évolution des esprits favorable au passage du financement d'organismes au financement de programmes est maintenant chose acquise. La conjonction de ces deux tendances permet un dialogue plus ouvert avec les représentants des diverses sources de financement qui ne sont pas insensibles à nos efforts pour mieux cerner la finalité et le niveau des ressources nécessaires au développement rationnel

de la recherche. Par ailleurs, deux effets plus ponctuels de la programmation financière méritent d'être soulignés. L'analyse des comptes d'exploitation a pu faire apparaître, pour un institut donné, l'importance du coût de stations régionales, satellites d'une station centrale; l'effort de réorganisation qui a suivi ce constat a permis à l'institut concerné d'une part, de réduire les dépenses en cause, et d'autre part, de réussir l'ivoirisation d'un poste de chef de station régionale.

Autre résultat à répartir au bénéfice des programmations scientifiques et financières combinées: il apparaît possible d'identifier des programmes que l'on peut arrêter, les moyens ainsi dégagés pouvant être consacrés à des programmes nouveaux. En toute logique, la confirmation à l'avenir de la possibilité d'une telle démarche devra permettre de dynamiser les ressources affectées au «maintien du potentiel» en envisageant qu'une part d'entre elles puisse permettre l'initiation de nouveaux programmes, du fait de l'achèvement de programmes en cours depuis un certain temps.

4. Conclusions

La méthode de programmation que nous venons de décrire nous apparaît bien ivoirienne pour deux raisons qui se situent aux niveaux de son principe de base et de sa finalité.

Le principe de base est, en effet, le recours à des concertations successives en vue d'aboutir à une coordination d'actions hiérarchisées selon un ordre de priorité défini par un consensus collectif. En insistant sur le caractère concertant de notre démarche, nous avons le sentiment de rester fidèle à la vivante tradition ivoirienne du dialogue, sans cesse repris à tous les niveaux et, dans notre cas, étendu aux étrangers associés à l'avancement et à l'utilisation de la recherche.

La finalité de la méthode n'est autre que la constitution d'un outil efficace mis à la disposition du Gouvernement ivoirien pour le développement d'une politique scientifique nationale. A cet égard, la méthode répond à trois impératifs:

- Parce qu'elle débouche sur un ordre de priorités nationales à respecter entre les programmes de recherche, elle facilite l'ajustement des ressources disponibles aux besoins de la recherche au mieux des intérêts combinés du développement du pays et de l'avancement des connaissances de la communauté scientifique nationale et internationale. Cette définition des priorités s'inscrit parfaitement dans la perspective définie par les Ministères du Plan, et de l'Economie et des Finances, en 1972, pour que s'organise dans chaque ministère la rationalisation des choix budgétaires dans le cadre du système ivoirien de programmation des actions de l'Etat.
- L'identification de programmes à durée déterminée sur des périodes allant de trois à quinze ans permet de préciser l'évolution des besoins en personnel de recherche. Une telle précision ne peut qu'être favorable à l'insertion dans les équipes actuelles d'une proportion croissante de chercheurs nationaux, d'autant mieux préparés à leur métier que le profil de leur emploi aura pu être précisé sur la base des programmes destinés à leur être confiés.
- Enfin, la notion de programme permet de donner une nouvelle base concrète à la coopération scientifique bilatérale ou multilatérale, dont la nécessité persistera non seulement en raison du déficit encore important en chercheurs nationaux mais en fonction de l'intérêt pour toute recherche nationale d'entreprendre, en association

avec des équipes étrangères, des travaux de haut niveau, tels que les programmes ivoiriens d'amélioration des plantes ou de sciences humaines, et d'occuper ainsi une place enviable au sein de la communauté scientifique internationale. Il demeure que cette ouverture vers la coopération internationale ne pourra s'affirmer qu'avec l'accroissement de l'efficacité de la méthode de programmation proposée pour la définition d'une politique scientifique nationale. Nous ne pouvons, en cela, que souscrire à l'opinion de *Spraey [13]*, lequel considère que «la politique internationale» (en matière scientifique) «ne peut se substituer à des politiques nationales déficientes et l'organisation au niveau international ne peut servir à pallier le défaut des organisations nationales».

Il nous reste maintenant à dire combien le travail présenté dans cette communication n'a été possible que grâce à la qualité du contexte dans lequel il se poursuit. En effet les orientations précises données par le Ministre de la Recherche scientifique, le professeur *Lorougnon Guédé*, au fur et à mesure de l'avancement de nos travaux, permettent à notre groupe, dans le cadre d'une direction par objectifs, d'effectuer simultanément les recherches nécessaires à l'élaboration de la méthode et l'application de celle-ci dans des conditions optimales de créativité.

Outre les auteurs, participent à notre groupe, au sein du Ministère, *J. P. Trouchaud*, le Doyen *Ch. V. Diarrassouba*, *D. Mascolo* et *M. Diabate* et, à titre de consultants, *D. Maquart [14]* et *J. Lefort [15]*. Dans le domaine des méthodes de comparaison des programmes, nous devons souligner l'importante contribution de *D. Maquart*, dont l'expérience en matière de formalisation des processus de décision nous a été très précieuse.

Enfin, ce travail n'a été possible que grâce à la participation active des organismes français impliqués dans la coopération scientifique franco-ivoirienne, qu'il s'agisse des chercheurs ou des responsables scientifiques et administratifs jusqu'aux niveaux les plus élevés. L'élaboration de notre méthode a notamment bénéficié de l'examen critique fait par les spécialistes français rencontrés lors des réunions d'experts visant à redéfinir les modalités de la coopération scientifique entre les deux pays.

Bibliographie

1. *Auger P.*: Tendances actuelles de la Recherche Scientifique: étude sur les tendances principales de la Recherche dans le domaine des sciences exactes et naturelles, la diffusion des connaissances scientifiques et leur application à des fins pacifiques. UNESCO, 262 p., 1961.
2. *Lanfranqui J.*: Les liaisons de la Recherche en Côte d'Ivoire avec l'organisation française de la recherche agronomique dans les pays d'Outre-mer (10^e collage de l'IIP-ABIDJAN, décembre 1973).
3. *Lorougnon Guédé J.*: Le rôle de l'information scientifique dans le système ivoirien de Recherche et développement. XX^e Congrès du TIMS, Tel-Aviv, juin, 1973.
4. *Bergman D.*: Réflexions sur les problèmes de l'affectation des ressources aux recherches agronomiques. Conférence de travail OCDE «La gestion de la recherche agronomique», p. 81-116, Paris, 1970.
5. *Bérard J. P.* et *Vernède H.*: La détermination des programmes de recherche sur les ressources naturelles, leur coordination et leur articulation avec les plans de développement économique et social dans les pays africains. Conférence Internationale sur l'organisation de la Recherche et la formation du personnel en Afrique en ce qui concerne l'étude, la conservation et l'utilisation des ressources naturelles. UNESCO Lagos, p. 53-78, 1964.
6. *Walsh M. T.*: Quelques aspects de la gestion de la recherche agronomique. Conférence de travail OCDE «La gestion de la recherche agronomique», p. 41-58, Paris, 1970.

7. *Piganiol P., de Hemptine Y. et Vu Cong L.*: Développement national, innovation technologique et programmation de la recherche. Colloque UNESCO: «Déploiement de l'activité scientifique Intertropicale». Yaoundé (1967). Etudes et documents de politique scientifique UNESCO N° 11, p. 21-34 (1969).
8. *Irving G. W.*: Activités déployées dans le domaine de la programmation de la recherche. Conférence de travail OCDE «La gestion de la recherche agronomique». p. 117-128, Paris, 1970.
9. *de Hemptine Y.*: Les structures de planification des gouvernements pour la politique scientifique. Document interne UNESCO SC/WS. 488, mai, 1972.
10. *Arnon I.*: Planning and policy making for research and development in agriculture. Israël-Latin American symposium on Science policy and organization of research, Tel-Aviv, 1970.
11. *Maquart D., Gras R. et Mamy J.*: Essai de programmation de la recherche. Annales Agronomiques INRA N° hors série (1971).
12. *Dumont R.*: Discours au Colloque sur la priorité de la recherche agricole dans le développement économique de l'Afrique. Abidjan, Tome 1, p. 99-107, 1968.
13. *Spraey J. et al.*: Le développement par la science. UNESCO, 1969.
14. *Maquart D.*: Proposition pour la programmation de la recherche en Côte d'Ivoire. Rapport interne Ministère de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire, mai, 1973.
15. *Lefort J.*: La recherche agronomique dans le Sud-Ouest ivoirien. Rapport interne Ministère de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire, mars, 1973.

Programming of Agricultural Research in Ivory Coast

C. J. du Plessix, G. G. Lohoury, B. D. de Dinechin and C. Lazzarino, Ministry for Scientific Research, Abidjan/Ivory Coast

Extended Summary

The policy which we have described appears to us peculiarly Ivorian for two reasons involved in its conception and execution.

Its basis is, in effect, reliance on successive discussions involving traditional means to determine an order of priorities by a consensus of opinion. In insisting on full cooperation in the settling of our affairs we are remaining faithful to the Ivorian tradition of dialogue at every level and, in our case, extending it also to strangers who are associated with the advancement and utilisation of research.

The result of the method is none other than the establishment of an effective tool in the hands of the Government to develop a national scientific policy. In this respect the method satisfies three demands:

- Because it results in a national order of priority as between research programmes, it facilitates the allocation of available resources in the combined interests of national development and the advancement of science both nationally and internationally. This definition of priorities is clearly seen in the views of the Ministers of planning, economy and finance in 1972, laying down priorities for each ministry for budgetary choices in accordance with Government policy.
- The identification of programmes of definite duration of from three to fifteen years allows proper planning to meet the needs for research personnel. Such precision cannot fail to be helpful to the introduction into the teams of a growing number of national research workers, the better prepared for their profession the more closely their function is defined.
- Thus the idea of the programme enables us to give a new and firm base to bilateral and multilateral cooperation, for which there will continue to be a need, not only because of the yet appreciable shortage of national research workers but also because of the need for national research to undertake, in association with foreign workers, high level investigations such as the Ivorian programmes for plant breeding or in the human sciences and thus to assume a significant position in the international scientific community. Truly this move towards international cooperation could not be effective without proper planning for a national scientific policy. In this we can only subscribe to *Spraey's* [13] opinion that 'international policy' (in scientific matters) 'is no substitute for lack of national policy and organisation on the international level cannot serve to make up for defects in national organisations'.

Les liaisons de la recherche en Côte d'Ivoire avec l'Organisation Française de la Recherche Agronomique dans les pays d'outre-mer

J. Lanfranchi, Inspecteur général de l'agriculture outre-mer, Conseiller scientifique permanent, Groupement d'études et de recherches pour le développement de l'agronomie tropicale (GERDAT), Paris/France

Résumé

Dans un premier paragraphe sont rappelées les principales caractéristiques des Instituts de recherche agronomiques appliquées exerçant leurs activités dans les régions tropicales: orientation vers la recherche à court et moyen terme, conçue pour exercer une action à l'échelon mondial, liaisons étroites avec les professionnels. Cette organisation générale qui a valu aux Instituts des succès remarquables devait cependant être modifiée et complétée en raison de l'évolution scientifique des programmes poursuivis et de la nécessité de renforcer la cohésion du dispositif.

C'est dans cette perspective qu'a été créé le GERDAT, groupement d'intérêt économique constitué des Instituts de recherche agronomique tropicale, de la Caisse Centrale de coopération économique et du Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères.

Le fonctionnement de cet organisme est ensuite étudié dans ses rapports avec les Etats où s'exerce son activité et en particulier la Côte d'Ivoire. Ces rapports se caractérisent essentiellement par:

- l'établissement en commun de projets pluriannuels comportant un financement par programmes et non plus par Institut;
- une concertation pratiquement permanente au double plan scientifique et financier dans le cadre d'une commission mixte.

1. Les instituts de recherche appliquée et le GERDAT

Dans les Etats Africains et à Madagascar, les recherches agronomiques sont conduites, à l'heure actuelle et pour l'essentiel, d'une part par les Instituts membres du *GERDAT* et d'autre part par l'*ORSTOM*.

Nous ne sommes pas qualifiés pour parler de ce dernier organisme qui compte de nombreux représentants à cette conférence, et dont la qualité des travaux, de caractère fondamental, orientés vers la connaissance du milieu naturel et du milieu humain, est mondialement connue et appréciée.

Quant au *GERDAT*, s'il est de création récente, puisqu'il est apparu en juin 1970, les instituts qui le composent ont été mis en place entre 1942 et 1960. Auparavant des travaux de recherches étaient effectués dans des conditions précaires et avec des moyens très insuffisants, dans quelques Etats africains et à Madagascar, par les services de l'agriculture.

Nous rappelons que les huit instituts de recherche regroupés au sein du *GERDAT*, sont les suivants:

- CTFT (*Centre Technique Forestier Tropical*)
- IEMVT (*Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire Tropical*)
- IFAC (*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer*)
- IFCC (*Institut Français du Café du Cacao et autres plantes stimulantes*)
- IRAT (*Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et de Cultures Vivrières*)
- IRCA (*Institut de Recherches sur le Caoutchouc en Afrique*)
- IRCT (*Institut de Recherche du Coton et des Textiles exotiques*)
- IRHO (*Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux*).

Il convient d'y ajouter le CEEMAT (*Centre d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical*), actuellement rattaché directement au GERDAT.

Ces organismes ont en commun certaines caractéristiques qu'ils sont seuls à posséder, en Europe tout au moins, et qui confèrent à cette branche de la coopération technique française un caractère singulier et bien souvent irremplaçable :

- *Orientation vers la recherche à court et moyen terme en vue d'une application aussi rapide que possible.*
- *Organisation conçue pour exercer une action à l'échelon mondial :*
Sièges et laboratoires centraux en France pour assurer la liaison nécessaire avec les utilisateurs et avec les grands organismes scientifiques français et internationaux.
Stations et centres de recherches en zone de production afin d'étudier les problèmes agronomiques sur place dans les conditions écologiques et dans le milieu socio-économique où ils se posent.
Structure juridique assurant une grande souplesse de fonctionnement indispensable à l'efficacité, tout en ménageant le contrôle nécessaire sur l'emploi des fonds publics mis à la disposition des instituts.
- *Liaisons étroites chaque fois que possible avec les milieux professionnels intéressés aux activités des Instituts.*

Cette conception générale assure aux Instituts par l'intermédiaire des sièges centraux, le soutien permanent de la recherche fondamentale française et étrangère, et par les échanges qui se font entre les diverses stations, le bénéfice de l'expérience acquise dans toute la zone intertropicale. Elle est dans une large mesure à l'origine des succès indéniables obtenus par la recherche agronomique tropicale française, notamment en Côte d'Ivoire.

La création du GERDAT est cependant apparue indispensable pour deux raisons principales :

- L'évolution des programmes poursuivis par les instituts qui entraînait une révision des méthodes d'approche: passée, en effet, la phase pionnière, les recherches ont pris un caractère de plus en plus scientifique, faisant appel à des disciplines plus fondamentales. Cette orientation, compte-tenu du coût des équipements nécessaires postulait un regroupement des moyens ainsi que la création d'équipes communes, atteignant une «masse critique» de chercheurs et évitant les double-emplois.
- La nécessité de renforcer la cohésion du dispositif de recherches agronomiques tropicales, tant à l'égard des autorités françaises appelées à se prononcer sur la répartition des moyens octroyés, qu'à l'égard des Etats où s'exercent ses activités, à un moment où la nature des relations réciproques, notamment en matière de recherche, connaît une évolution logique.

Instance de concertation et de coordination ayant vocation à se saisir des problèmes communs à tous ses membres, le GERDAT a donc comme but essentiel d'accroître l'efficacité des services en assurant le plein emploi des équipements. Pour remplir efficacement son rôle, le GERDAT doit assumer certaines responsabilités jusqu'ici du domaine des instituts et sans doute plus particulièrement les suivantes :

- l'administration générale du personnel et des finances
- la documentation et l'édition
- la négociation avec les Etats.

Il doit, en outre regrouper ou créer des services scientifiques spécialisés soit de routine, soit de recherche novatrice lorsque celle-ci est jugée indispensable à la bonne exécution de plusieurs programmes. Ce dispositif scientifique pourvu de chercheurs ayant acquis une spécialisation poussée apparaît comme le complément obligatoire de l'infrastructure outre-mer. Participant à la formation, il peut être, en outre, associé de façon très intime aux organismes de recherches français grâce à une concertation permanente *INRA - ORSTOM - GERDAT*.

Cette définition du rôle du GERDAT appelle un certain nombre de remarques :

- Le regroupement et la création de nouvelles activités scientifiques communes, débouchant sur une structure «horizontale» interinstitut, *doivent préserver le dispositif éprouvé, basé sur l'équipe pluridisciplinaire spécialisée sur une plante*, en particulier lorsqu'il ne s'agit pas de cultures associées ou entrant dans un assolement.
- L'orientation plus scientifique des programmes des équipes du GERDAT ne doit pas faire perdre de vue la *nécessité de travailler à court ou moyen terme*. Dans cette perspective les notions de délais et de rentabilité sont aussi importantes que les notions proprement scientifiques, afin que puissent être résolus les problèmes précis définis dans l'espace et dans le temps, au profit immédiat de collectivités humaines particulières.

Le chevauchement inévitable de ce type de recherche avec la recherche «fondamentale» rend impossible toute classification absolue a priori, mais, pour chaque cas, la limite est suffisamment apparente pour qu'une coordination entre les programmes permette d'éviter les double-emplois.

- Élément du patrimoine scientifique français, la recherche agronomique tropicale *constitue aussi un instrument privilégié de la coopération française avec le tiers monde*. Compte tenu de ce double caractère, et pour conserver son efficacité, elle doit, tout en disposant d'une certaine autonomie à l'égard des pays, pouvoir répondre à leurs demandes, pour des opérations entraînant des résultats à court et moyen terme, et participer aussi à des projets de développement.

2. Fonctionnement du GERDAT

Groupement d'intérêt économique constitué par les huit *Instituts de recherche agronomique appliquée* la *Caisse Centrale de Coopération Economique* et le *Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères* le GERDAT est géré par un administrateur auquel les pouvoirs sont conférés par l'*Assemblée Générale*.

Celle-ci comprend 17 membres dont 8 représentent la puissance publique, un la caisse centrale, et 8 les instituts de recherche.

Elle est chargée de fixer l'organisation intérieure du Groupement, d'approuver le budget et le règlement intérieur, de statuer sur les comptes et de délibérer sur toutes les questions soulevées par la mise en œuvre des moyens proposés pour la réalisation des buts du groupement.

Le groupement est assisté d'une autre assemblée: le *Comité Scientifique*. Le rôle de celui-ci est d'examiner les programmes en vue de faciliter leur harmonisation, d'assurer les liaisons nécessaires avec la recherche fondamentale et de proposer des choix. Il est composé de personnalités choisies en raison de leur compétence, notamment au sein des grands organismes scientifiques et de l'université, et d'un représentant de chacun des instituts. Il comprend des spécialistes des disciplines fondamentales auxquelles fait appel la recherche agronomique. Dans chacune de ces disciplines sont constitués des *Groupes de travail* présidés par la personnalité choisie en raison de sa compétence. Les chefs des divisions scientifiques intéressées des instituts font partie du groupe, aux travaux duquel sont associées toutes personnalités dont le président désire s'assurer le concours.

L'examen auquel procède le Groupe de travail porte sur les programmes des Instituts, en cours ou proposés dans le cadre des objectifs de développement des Etats où s'exercent leurs activités.

A l'issue de cet examen, le président du groupe établit à l'intention des membres du Comité scientifique un rapport détaillé sur l'intérêt scientifique de ces programmes, leur ordre d'urgence et les moyens nécessaires à leur exécution.

Ces rapports sont portés à la connaissance de l'assemblée plénière du Comité scientifique puis de sa commission de synthèse. Celle-ci composée de membres de ce comité, directeurs d'organismes comme l'INRA ou l'ORSTOM ou jouissant d'une grande notoriété dans le monde scientifique, est surtout chargée de définir ou d'orienter la politique scientifique générale du GERDAT.

Ces instances formulent sur les programmes et les choix souhaitables ou envisagés, des recommandations à l'intention de l'assemblée du GERDAT, qui les examine à l'occasion de la session budgétaire.

Un ordre de priorité, notamment pour les actions nouvelles, est alors établi et soumis à l'approbation du Secrétariat d'Etat aux Affaires Étrangères et à la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

Cette démarche permet à l'administration du GERDAT, compte-tenu des crédits obtenus pour l'année suivante, de définir l'ensemble des programmes financés.

3. Concertation avec les états et en particulier avec la Côte d'Ivoire

Outre la France, où les installations scientifiques sont en cours de regroupement à Montpellier, et l'étranger traditionnel de la zone intertropicale, les instituts membres du GERDAT interviennent dans des Etats africains et à Madagascar dans le cadre des conventions passées avec ces Etats.

Ils y disposent d'une cinquantaine de stations auxquelles s'ajoutent de nombreux points d'essais.

En Côte d'Ivoire, en particulier, le dispositif comprend quatorze stations principales de recherches couvrant l'ensemble des cultures tropicales, les forêts, l'élevage et la médecine vétérinaire, et, en outre, treize stations secondaires ou points d'essais.

Le financement des activités de ces stations est assuré grâce à une formule associant la France et les Etats auxquels elle apporte son aide, par parts égales pour les opérations dont le lancement est décidé en commun.

Jusqu'à ces dernières années, les projets de programmes et de budgets, préparés par les Directions locales des Instituts, étaient examinés par un Comité technique qui émettait un avis et formulait des observations, sans engager pour autant la puissance publique sur le plan du financement.

Ces documents envoyés aux Directions générales et groupés avec ceux en provenance des autres Etats, après modification éventuelle, constituaient le projet de budget de chacun des Instituts. Les programmes qu'il comportait étaient ensuite ajustés en fonction des crédits finalement alloués par le Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères et les Etats concernés.

Ainsi les programmes retenus en définitive, conditionnés dans un premier stade par cette allocation budgétaire à un Institut et sa répartition décidée par le Directeur général de celui-ci, pouvaient être remis en cause et encore réduits si la Côte d'Ivoire ne pouvait pas aligner sa subvention sur celle de la France.

Le défaut d'un tel système était double, même sur le plan strictement scientifique, puisque d'une part aucun ordre d'urgence ne pouvait être mis en évidence, chaque Institut opérant pour son propre compte, et que, d'autre part, la Côte d'Ivoire avait certaines difficultés à faire prévaloir ses propres choix en l'absence de structures de synthèse et de concertation.

Le «passage à l'enveloppe recherche» ou, autrement dit, le financement de la part française du coût de la recherche agronomique tropicale, par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, et la création du GERDAT survenue pratiquement au même moment, ont modifié les données du problème :

En même temps qu'était prise la décision de financer des programmes de recherches sélectionnés en fonction d'objectifs opérationnels de développement plutôt que des structures de recherche à dynamique propre, ces programmes pouvaient être étudiés et passés au crible par les différentes instances du GERDAT.

Cette procédure pour rationnelle et justifiée qu'elle soit du côté français, était insuffisante et aurait même risqué de réduire encore la participation des Etats à la décision, si rien n'était fait chez ceux-ci dans le domaine de la programmation et si un mode de concertation efficace n'était pas mis en place.

Les 29 et 30 mai 1972 se tenait à Paris, à l'initiative de M. *Yvon Bourges*, Secrétaire d'Etat aux Affaires Etrangères, une réunion des Ministres africains et malgache responsables de la recherche scientifique et technique, afin d'examiner les problèmes nouveaux posés par la coopération en matière de recherche scientifique et technique liée au développement.

Au cours de cette réunion, il est apparu que les conventions générales régissant la coopération scientifique et technique entre la France et les Etats francophones de l'Afrique tropicale ne répondaient plus exactement aux besoins de ceux-ci. – Cependant, plusieurs Etats, dont la Côte d'Ivoire, ont estimé que, plutôt que d'apporter des adaptations voire des modifications à ces conventions, il était préférable, pour l'instant, de chercher à améliorer les modalités d'application de ces textes. Dans cette perspective, un certain nombre de recommandations ont été adoptées dont nous citons les principales :

– *Programmation*: Il est rappelé qu'il appartient à chacun des gouvernements de déterminer les programmes de recherches en fonction des priorités répondant aux exigences

du développement et qu'il est donc souhaitable que ces programmes soient élaborés sur une base pluriannuelle.

– *Evolution des structures*: On a reconnu la nécessité de mise en place de structures nationales de recherches, pour assurer la programmation, la gestion, l'exécution et le contrôle des activités scientifiques et pour être les interlocuteurs naturels des organismes français.

– *Formation et mission des chercheurs nationaux*: Il a été estimé souhaitable que de grands efforts soient faits pour le recrutement et la formation spécialisée de chercheurs africains.

– *Concertation*: Pour répondre à la nécessité de mettre en œuvre une concertation au plan bilatéral, il a été convenu que serait créée dans chaque Etat une Commission mixte paritaire ayant pour mission de définir dans le cadre des objectifs de recherches des Gouvernements, les programmes qui seront poursuivis et les modalités des concours français.

Du côté de la Côte d'Ivoire les choses allèrent très rapidement puisque dès la réunion des Experts franco-ivoiriens du 8 au 10 janvier 1973, le Ministère de la recherche scientifique ivoirien proposa une méthode permettant d'établir un inventaire des programmes de recherche et de leur coût, et, donc, de déboucher sur une répartition par programme et non par organisme.

Sans entrer dans le détail de cette méthode de programmation scientifique et financière applicable aux Instituts du GERDAT implantés en Côte d'Ivoire, nous retiendrons que la description des programmes et des opérations, grâce aux fiches standard proposées, permet une excellente appréciation relative.

D'autre part, le caractère pluriannuel des projets facilite singulièrement la concertation dans le cadre de la commission mixte ou d'éventuelles commissions administratives locales.

Enfin, l'abandon du financement «institutionnel» pour un financement par programme permet d'envisager des programmes comportant l'action concertée de plusieurs organismes.

La première commission mixte franco-ivoirienne s'est réunie les 29, 30 et 31 mai 1973 et a marqué la première étape de l'application des nouvelles mesures de programmation et de concertation décidées conjointement entre la France et la Côte d'Ivoire.

4. L'avenir

Les structures définies ci-dessus, sont à des degrés divers, en cours de mutation. Il ne faut donc pas s'étonner du caractère évolutif des relations franco-ivoiriennes en matière de recherche agronomique.

Pour l'immédiat, il est envisagé d'introduire une dérogation au principe «50-50» selon lequel le coût des opérations de recherches effectuées en Côte d'Ivoire est partagé à égalité entre ce pays et la France. Il est d'ailleurs à noter que certains programmes sont d'ores et déjà financés entièrement par la Côte d'Ivoire. Dorénavant les organismes français exécuteront trois catégories de recherches:

– programmes retenus d'accord parties sur proposition de la Côte d'Ivoire et faisant l'objet d'un financement conjoint,

- programmes propres à la Côte d'Ivoire, qu'elle finance entièrement et dont elle confie la réalisation aux organismes français,
- programmes propres à ces derniers, qu'ils réalisent avec l'accord ivoirien et dont ils assurent l'entier financement.

Le Centre de formation des chercheurs tropicaux mis en place par la Caisse Centrale de Coopération Économique, est chargé de répondre aux besoins exprimés par les Etats africains et notamment la Côte d'Ivoire selon une planification liée à la programmation de la recherche.

L'utilisation de ces chercheurs qui seront, dans un premier temps, associés à des équipes françaises, conduira probablement à la constitution d'équipes mixtes, puis d'équipes complètes de chercheurs ivoiriens qui prendront progressivement en charge leurs propres programmes.

The Connections of Research in the Ivory Coast with the French Organization for Agricultural Research in Overseas Countries

J. Lanfranchi, Inspecteur général de l'Agriculture outre-mer, Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (GERDAT), Paris/France

Extended Summary

1. The Applied Research Institutes and the GERDAT

In the French speaking African Countries agricultural research is carried out mainly by the Institutes that are members of GERDAT, and by ORSTOM.

«GERDAT» was created in June 1970. The eight Research Institutes which make it up have a very wide scope: animal breeding and tropical veterinary medicine, forests, fruits, coffee, cocoa, tea, food crops, rubber, cotton and tropical fibre plants, oil plants.

These Institutes chiefly promote short and medium term research with a view to early application.

They have been organised in:

1. Central offices and laboratories in France.
2. Stations and research centres in the African Countries.

This organisation has brought undoubted success to the Institutes.

However, the creation of GERDAT appeared absolutely necessary for the following reasons:

1. Need to regroup research facilities and to create joint teams.
2. Need to reinforce the cohesion of the tropical agronomical research system.

GERDAT is a group with responsibilities on the economic plane, made up of the tropical agronomical Research Institutes, the Central Office for Economic Cooperation and the Secretary of the Foreign Office of France.

GERDAT must take upon itself responsibilities which were, up to now within the scope of the Institutes (staffing and financial administration – documentation and publishing – negotiation with countries). It must also regroup or create specialised scientific services.

2. Running of GERDAT

GERDAT is supervised by a Director whose powers are conferred by a General Assembly.

The Group is also served by a Scientific Committee (programme studies, their harmonization, collaborations required, selection). The working method is one of working committees for each line of activity, examining the programmes and making suggestions. These are referred to the assembly of GERDAT which in turn authorises the schemes, which are financed according to the available grants.

3. Consulting the Governments

The running of GERDAT is examined in its relationship with the countries where its activity is performed.

Progress in this field is characterised by the following features:

- Framing of the research on a pluriannual basis by the governments
- Setting up of national structures for research, in the countries themselves
- Increasing training of African scholars.

In the case of the Ivory Coast the setting up of the new system has been rapid, assisted by:

- The working out in common of schemes, to run for some years, relying on financing 'per program' and no longer 'per Institute'.
- A permanent consultation on the scientific and financial level through the medium of a joint French and Ivorian committee.

Les recherches de base et le développement

Prof. G. Aubert, Chef de la Section de Pédologie de l'ORSTOM,
membre et ancien président de l'Académie d'Agriculture,
membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer, Paris/France

Dans cet exposé, nous n'envisageons que l'étude et le développement – l'une en vue de l'autre – du milieu terrestre, encore que les principes de base que nous pourrions exposer en un temps aussi court, sont probablement valables pour le milieu aquatique, marin comme continental, autant que pour le milieu terrestre.

1. Pourquoi une recherche de base orientée vers le développement ?

1.1. Une première raison de cette recherche porte sur la nécessité de connaître les ressources disponibles, leur localisation, leurs caractéristiques et les conditions de leur exploitation. La recherche de base envisagée ici doit donc comporter, comme fondement essentiel, la *connaissance du milieu* à développer, tant physique ou biologique qu'humain, et l'*inventaire* au moins des ressources disponibles, sinon même des réserves probablement transformables, peu à peu, en ressources.

1.1.1. Parmi ces *ressources*, il en est qui peuvent être regroupées comme «*non renouvelables*». C'est le cas des *ressources minérales*, minerais, ou éléments de base pour la fourniture de l'énergie, comme le pétrole ou le gaz naturel par exemple.

On pourrait imaginer que ces ressources soient bien connues. En fait, en trop de pays, il n'en est rien; en de nombreux cas, si la présence de tel ou tel gisement a été déjà repérée, trop souvent sa localisation et son extension n'ont pas été vraiment précisées, ni son importance ou ses caractéristiques réellement déterminées.

Un effort important doit être réalisé dans ce sens; il commence par une cartographie géologique ou hydrogéologique à moyenne échelle, et il se continue par une étude d'ensemble sur le gisement, ses caractéristiques et ses possibilités.

L'étude du gisement, par les méthodes géologiques et géophysiques habituelles, permet de déterminer l'intérêt possible de son exploitation. Avant de l'entreprendre réellement, un gros travail reste encore à réaliser nécessitant en particulier la mise en place d'un élément-pilote de façon à préciser tous les aspects de son utilisation. Il s'agit alors d'un travail appliqué et non d'une recherche de base.

Dès le moment où une possibilité d'exploitation est envisagée, elle entraîne obligatoirement la nécessité d'une détermination aussi précise que possible, du potentiel

humain utilisable pour cette mise en valeur et l'étude de son développement possible sinon de son remplacement éventuel.

1.1.2. D'autres *ressources*, ou éléments du milieu doivent être considérés comme *renouvelables*. C'est le cas des éléments du *climat*, pluies, température, éléments constitutifs de l'atmosphère aussi bien que des *eaux* superficielles et de celles de nappes souterraines. Leur inventaire est indispensable, tant en qualité qu'en quantité; et cela d'autant plus que leurs variations d'année en année peuvent être considérables. Leur utilisation ou la défense contre les dégâts que ces éléments peuvent provoquer: inondation, remontée excessive de nappes phréatiques, etc., se fondent sur leur état moyen en même temps que sur leurs situations maximales. Ce n'est qu'au bout de plusieurs années ou même à la suite de plusieurs dizaines d'années d'observations et d'études que de tels renseignements sont obtenus. La recherche de base doit précéder très largement, ici encore plus qu'ailleurs, la mise en valeur. Etudes climatiques, hydrologiques, etc., ne sont jamais assez poussées ni assez tôt; les échecs de plans d'aménagement comme ceux du Tanganyka après la guerre, les désastres récents de la plaine de Kairouan en Tunisie en sont de tristes exemples.

A cette catégorie de ressources renouvelables appartiennent aussi la *flore* et la *faune*. Comment ne pas insister sur l'urgence des études de base, inventaire bien sûr, mais aussi études sur la biologie des éléments qui les composent quand on se souvient par exemple des problèmes posés par le développement du Quelea, ce tout petit oiseau qui, pratiquement, pendant des années, s'opposa à toute extension de la riziculture dans la basse vallée et le pseudodelta du Sénégal; des désastres causés par les invasions de criquets; ou dans ce pays par la pullulation en certaines régions, des rats, des singes, des éléphants; ou en Afrique orientale, des effets si néfastes pour les sols d'une excessive protection des antilopes et gazelles.

Dans le cas de la végétation des exemples analogues pourraient être cités, mais ici, en Côte d'Ivoire dont la carte de la végétation dressée par l'ORSTOM existe déjà à 1:500 000 ne doit-on pas penser surtout à la nécessité d'acquisition de connaissances de base bien plus approfondies sur la biologie des grands arbres acajous ou autres de ce pays et les possibilités de reboisement; aussi bien d'ailleurs que sur l'utilisation plus poussée de tous les éléments de la forêt? N'arrive-t-il pas trop souvent que sur les 300 m³ sur pied par hectare l'on n'en utilise que 10 ou 15 m³ en gâchant tant d'autres que l'on ne sait, pratiquement, comment valoriser?

1.1.3. Il est enfin une ressource de première importance sur laquelle les études de base devraient être beaucoup plus poussées: le *sol*. Dans un pays comme la Côte d'Ivoire, un premier inventaire d'ensemble en a été réalisé, depuis qu'après quelques premières études localisées avant guerre, une prospection régulière a été entreprise dès décembre 1946 par les pédologues, principalement de l'ORSTOM. Elle a mené aux cartes pédologiques de l'ensemble du pays, d'abord à 1:2 000 000 puis, plus récemment, à 1:500 000, document que la France ne possède même pas encore pour son propre territoire. Mais les prospections et cartographies régionales doivent être beaucoup plus poussées, à la fois des paysages et des sols à 1:200 000 par exemple. Cet inventaire de l'ensemble du territoire doit être poursuivi régulièrement année après année. Il pourra nécessiter partiellement des travaux de cartographie de détail. Au fur et à mesure des besoins, il sera complété par des prospections et cartographies

très détaillées à 1 : 50 000 ou 1 : 20 000, mais essentiellement dans les secteurs où une mise en valeur est envisagée à court terme.

Bien entendu, de même que l'inventaire de la flore ou de la faune doit être complété par des études très précises sur la *biologie* – au sens le plus total – *des espèces*, de même celui des sols ne prendra sa réelle dimension qu'appuyé sur des *recherches typologiques* extrêmement poussées. A ce point de vue les pédologues africains ou français, autant que ceux d'autres pays, s'aperçoivent de plus en plus qu'il y a encore beaucoup à découvrir, ne serait-ce que sur le plan, pourtant fondamental, des organisations, à l'intérieur de chaque horizon, d'horizon à horizon dans chaque sol, et entre sols dans chaque chaîne pédologique ou unité biogéodynamique.

Il est remarquable que de telles recherches, si fines, sur les sols de ces régions inter-tropicales, qui permettront, comprenant mieux leur dynamique, de mieux les utiliser, seront certainement très profitables aussi pour une meilleure connaissance des sols des régions tempérées.

1.1.4. L'étude du *milieu humain* est tout aussi indispensable. Qu'il s'agisse de sociologie, de démographie, etc., les études de base orientées vers le développement y sont particulièrement nécessaires avant toute mise en valeur régionale ou locale.

Etant trop ignorant de ces disciplines, il ne m'est pas possible d'insister sur cette «ressource» pourtant d'une telle importance. Je veux souligner cependant l'intérêt fondamental, avant toute action nouvelle de développement, des recherches détaillées sur le mode d'utilisation actuelle des terroirs correspondants et sur les coutumes et pratiques agricoles des populations. Les Sérères et les Foulpes du Sénégal, les Cabrais du Togo, les Bambaras du Mali les populations de la région centrale de ce pays nous ont beaucoup appris sur la typologie, les caractéristiques et les possibilités d'utilisation de leurs terres!

1.2. L'inventaire et la connaissance des espèces ou des types constituant ces diverses catégories de «ressources» n'est pas le seul objectif de ces études de base. Elles doivent apporter aussi les éléments pour répondre à cette question: *quelles modifications subiront ces ressources* lors des opérations de mise en valeur, au fil des ans, des décennies. Là certainement se trouve le problème le plus difficile. Sa solution nécessite des études approfondies sur toutes les caractéristiques susceptibles d'être appréhendées, de chacune de ces ressources, ainsi que sur leurs «raisons d'être» et sur leurs relations avec les autres éléments du milieu.

Ainsi dans toute une partie de la zone forestière de ce pays, les sols sont plus riches en bases et en éléments pour les plantes dans leur 15 ou 20 centimètres supérieurs que dans leurs horizons plus profonds. Savoir que c'est le résultat du cycle biogéochimique extraordinairement intense de l'écosystème forestier de ces régions permet de prévoir qu'il n'en sera plus de même sous les cultures à moins de remplacer la forêt naturelle par une forêt cultivée d'hévéas, palmiers à huile, cacaoyers, etc., et d'essayer de prendre les mesures nécessaires pour parer à cette modification néfaste, si le plan de culture ou d'aménagement prévoit d'y faire pousser maïs, manioc, cotonniers ou arachides.

En bien des cas, ce travail doit s'appuyer non seulement sur des recherches de base dans le pays même, mais aussi sur une comparaison très fouillée avec ce qui a déjà pu être observé dans des cas analogues de mise en valeur en d'autres pays. Cela suppose d'ailleurs l'utilisation d'une classification et d'une typologie de chaque «ressource»

qui puisse avoir une signification générale ou mondiale. Enfin cette recherche doit également s'appuyer sur une expérimentation plus appliquée et là s'affirme une fois de plus la liaison indispensable entre recherche de base orientée et recherche appliquée. Les actions conjointes entre l'ORSTOM, les services techniques ivoiriens et les divers instituts du GERDAT, sur l'érosion, le ruissellement et la circulation des eaux dans les sols, ou sur l'évolution des sols sous culture mécanisée en sont de bons exemples.

2. Les méthodes applicables à ces études de base orientées

vers le développement sont multiples. Pour qu'elles soient efficaces, elles doivent correspondre à un effort à la fois d'analyse de chacun des éléments constitutifs du milieu et susceptibles d'intervenir directement ou indirectement dans cet effort de mise en valeur, mais aussi de synthèse permettant de comprendre ou de prévoir non seulement les réactions et interactions des éléments les uns sur les autres ou vis-à-vis des autres, mais aussi les meilleures utilisations possibles – dans un contexte économique et politique donné – de ce milieu, et enfin les évolutions probables de chacun des éléments au cours de la mise en œuvre des opérations de développement puis de leur exploitation.

2.1. La méthode la plus anciennement utilisée et, à première vue, la plus simple, est celle des *études successives*. Un exemple ivoirien en est le développement de l'hévéaculture dans le sud du pays. Les planteurs possibles s'appuyant sur l'IRCA et l'IFC et ayant étudié le problème sur le plan humain et économique, mais aussi agronomique, les données météorologiques indispensables étant connues, N. Leneuf de l'ORSTOM a réalisé les travaux pédologiques nécessaires, et tout paraissant suffisamment favorable, les premiers secteurs de plantation ont été mis en place dans la savane de Dabou et dans la zone de la Comoé.

2.2. Il est bien certain que, dans cette approche, l'effort de synthèse risque d'être insuffisant, et il repose tout entier sur le «planificateur». Une méthode très en vogue maintenant est celle dite des «*études régionales interdisciplinaires intégrées*». Elle fut lancée et mise au point il y a 25 ans en Australie. Elle fait intervenir les divers spécialistes ensemble, si possible en une seule équipe où la synthèse, interdisciplinaire, se réalise presque en même temps que l'analyse elle-même. Valable dans certains cas, cette approche n'économise pas les efforts des spécialistes et l'analyse y est beaucoup plus coûteuse, au moins en temps d'hommes, que dans le cas précédent.

Sans aller aussi loin dans la confusion spatiale et temporaire des études nous cherchons à réaliser pour tous les spécialistes qui le peuvent une simultanéité des travaux, laissant cependant chacun travailler à sa cadence. Peut-être de telles études perdent-elles en interdisciplinarité. Je crois par expérience, qu'elles gagnent en efficacité réelle.

Comme exemples on peut citer certaines études en cours en ce pays même: étude de la limite forêt-savane, étude des phénomènes de cuirassement, étude du cycle altération-pédogénèse-érosion-sédimentation et pétrogénèse, etc.

Je tiens particulièrement à insister sur le fait qu'en beaucoup de cas les études multi-ou interdisciplinaires nécessitent la mise en commun d'études de base même orientées et d'études appliquées. Les exemples en sont nombreux en Côte d'Ivoire.

Faut-il souligner l'importance des études régionales interdisciplinaires faites, il y a

déjà bien des années, par diverses équipes où se retrouvaient personnels des services ivoiriens, chercheurs de l'ORSTOM, ingénieurs et spécialistes du BDPA, de la SEDES, etc., autour de Man, de Bouaké, de Korhogo ou dans la région du Sud-Est. Des représentants de nombreuses spécialités, statisticiens, économistes, sociologues, géographes, agronomes, hydrologues, pédologues y collaboraient.

Puis-je rappeler l'œuvre, que je crois valable, faite plus récemment pour la planification de la mise en valeur de la Côte d'Ivoire forestière par le *BPDA*, le *CTFT* et l'*ORSTOM* avec l'appui des services ivoiriens?

D'autres travaux en cours, multi- ou interdisciplinaires, réalisés sous forme d'actions conjointes par l'*ORSTOM*, l'*IRAT*, le *GERDAT*, les services techniques ivoiriens portent sur les interactions sols-plantes fourragères en divers milieux écologiques de ce pays, ainsi que sur l'étude du ruissellement, de la circulation des eaux en général, de l'érosion. Beaucoup d'autres pourraient être cités.

3.

Puis-je, en terminant, faire remarquer que sur ce plan des recherches de base orientées vers le développement, la *Côte d'Ivoire dispose de moyens importants*. C'est, à côté de certains éléments des services ivoiriens, en particulier l'*Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture* et l'*Université d'Abidjan*, plus ou moins appuyées par la Coopération technique de divers pays, l'équipe de l'*ORSTOM*, si diversifiée puisqu'elle fait porter ses efforts sur les milieux physique, biologique, humain, mais aussi océanique et qu'elle développe ses recherches depuis bientôt près de 30 années; en décembre 1946 j'étais déjà ici, avec une équipe de jeunes pédologues orstomiens, pour y étudier les sols que l'on appelait alors latéritiques; et d'autres équipes, surtout de biologistes, y étaient depuis plus d'un an déjà. Sur le plan de la connaissance du sous-sol les équipes des *services géologiques* ont fait un travail remarquable; il est complété au fur et à mesure des besoins, en particulier par les ingénieurs du *BRGM*.

Enfin, reprenant ce que j'indiquais précédemment, j'ajoute que ces recherches de base peuvent être réellement fructueuses pour le développement parce qu'elles ont la possibilité, en ce pays plus qu'en beaucoup d'autres, de s'appuyer et de se prolonger sur et par les études d'organismes de recherche plus appliquée, de coopération, tel que le *GERDAT* avec ses nombreux instituts tous si actifs en ce pays, le *BDPA*, la *SATEC*, la *SEDES* lorsqu'il en est besoin, ou de nombreux *organismes étrangers*, aussi bien que du *Gouvernement Ivoirien*, comme en particulier le jeune mais actif *Service des Sols* de Côte d'Ivoire.

Un seul souhait me paraît indispensable: que comme dans le passé et encore mieux que dans le passé, dans toutes les années à venir où il sera demandé à ces divers organismes de travailler en ce pays, une *collaboration* pleine et franche et qui puisse ainsi être fructueuse, se développe.

Basis Research and Development

G. Aubert, Chef de la Section de Pédologie, ORSTOM, Paris/France

Extended Summary

Experiences in many developing countries prove that the development pattern of a country without comprehensive knowledge of the natural and structural features involves too a great risk with serious failures and large financial losses. Referring to examples, the author shows that the design of a developing program can only be prepared in full knowledge of all essential conditions of production, gathered by a vast fundamental investigation. The inventory to be built up in this frame has to collect firstly data on all not restorable inputs as soils, kind, importance, localisation of occurrence of raw materials, conditions of their exploitation, further kinds and quantities of elements for energy production, water balance etc. All these data are to be elaborated for geological, hydrological and soil maps. Besides of the mentioned elements the inventory should comprise also the restorable elements, like the climatic factors, data on the superficial and ground water, the flora, the fauna, considering especially possible damages of future cultures by animals, particularly insects widespread in the zone considered. The same is true for the particularities of autochthonous plants. Of decisive importance for the success of a design are particularly the demographic, sociological, juridical, structural conditions, the development of the traffic system, the level and structure of consumption and the soils as well as the traditional agricultural techniques. Considerations are also necessary in regard to possible changes of existing conditions provoked by the execution of the development designs. The author further describes the methods of investigation and underlines the necessity and the value of integrated, interdisciplinary regional research; he mentions the collaboration and the success of the organisations founded in the Ivory Coast – partly stimulated from abroad – like the ORSTOM, GERDAT and the technical services of the Government of the Ivory Coast.

Travaux récents réalisés par l'IRAT en matière de fertilisation potassique des sols tropicaux

R. Chaminade, Directeur de Recherches honoraire à l'INRA,
Conseiller Scientifique à l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières
(IRAT), Paris/France
Membre de l'Académie d'Agriculture

La doctrine de travail de l'IRAT en matière de fertilité et de fertilisation des sols tropicaux a été exposée au Colloque d'Antibes de l'IIP (septembre 1970). Cette doctrine repose sur les lois générales de l'agronomie (loi du minimum, loi des accroissements moins que proportionnels) qui s'appliquent à l'agronomie tropicale, aussi bien qu'à celle des régions tempérées.

Rappelons que la méthode comporte les stades suivants :

- 1^o Diagnostic des carences du sol, de leur gravité et de leur hiérarchie;
- 2^o correction des carences; adaptation de la fertilisation au sol; fertilisation de redressement;
- 3^o maintien de la fertilité du sol sous culture – fertilisation d'entretien.

Nous examinerons ci-après les principaux résultats obtenus récemment par l'IRAT en ce qui concerne la fertilisation potassique des sols tropicaux.

1. Détermination des carences

La méthode utilisée est celle des essais en vases de végétation : on compare le rendement d'une plante test en présence d'une fumure complète ou carencée en l'un des éléments minéraux de la nutrition; des coupes successives de la plante test permettent de suivre l'allure de l'épuisement des réserves du sol en l'élément considéré.

Appliquée à de très nombreux sols tropicaux la technique a mis en évidence une corrélation entre la nature et l'intensité de la pédogenèse et l'état des réserves potassiques du sol. On peut dégager de l'ensemble des essais les conclusions suivantes :

- a) Dans les sols ferrugineux tropicaux, la carence potassique se manifeste rarement à la première coupe de la plante-test; bien que pauvres en potassium échangeable, ces sols renferment sous forme de minéraux en voie d'altération, des réserves potassiques facilement mobilisables.

Il faut noter toutefois, que, si le potassium de ces sols est sous une forme particulièrement mobile, le niveau global des réserves est faible. Les rendements de la plante-test en présence d'une fumure carencée en potassium peuvent se maintenir sans fléchissement pendant plusieurs récoltes mais, dès l'épuisement des réserves, la chute de rendement est brutale.

Dans ce type de sol, il est très fréquent que la réaction aux engrais potassiques ne se manifeste pas dans l'immédiat. Mais, lorsque la production est intensifiée, en particulier par la correction de la carence phosphatée et des applications suffisamment élevées d'azote, la carence potassique apparaît rapidement.

- b) Dans les sols à évolution ferrallitique, une carence potassique sérieuse, nécessitant une fertilisation de redressement a été mise en évidence sur les sols très évolués des Hauts-Plateaux malgaches dérivés de roches acides (granito-gneiss) ou de matériaux d'origine basaltique.

Une étude systématique des sols de la Réunion réalisée par *J. Fritz* sur 135 échantillons a mis en évidence une carence en potassium dans 35 sols à évolution ferrallitique poussée.

En résumé les essais de détermination de carence potassique des sols tropicaux permettent d'aboutir aux conclusions suivantes:

- 1° les carences immédiates en potassium sont plus rares que les carences en phosphore.
- 2° les réserves potassiques des sols tropicaux sont généralement faibles. L'intensification de la production agricole, particulièrement à la suite de la correction des carences phosphatées et l'application d'engrais azotés, provoque en quelques années l'apparition de carences potassiques.

2. Fertilisation potassique de redressement

La fertilisation de redressement a pour but d'amener les réserves du sol à un niveau suffisamment élevé pour que leur mobilisation, au cours de la croissance des plantes, couvre les besoins de celles-ci, même en période de pointe.

Cette fertilisation comporte l'application au sol de quantités d'engrais supérieures aux prélèvements de la récolte en cours. Ces engrais sont stockés dans le sol et en accroissent le capital de fertilité.

La nécessité d'une fertilisation potassique de redressement se manifeste dans le sol où le diagnostic des carences en vases de végétation a révélé dès la première coupe une chute de rendement de 40 à 50% en l'absence d'apport de potassium; il s'agit en général de sols ferrallitiques très évolués.

L'essai suivant réalisé à Madagascar sur sol ferrallitique humifère dérivé de basalte montre un cas typique de fertilisation potassique de redressement.

Culture: Maïs

Fumure uniforme:

N	200 kg/ha
P ₂ O ₅	500 kg/ha
Dolomie	3000 kg/ha

Rendements kg grains/ha

0 de K ₂ O	380 kg/ha
90 kg/ha K ₂ O	2360 kg/ha
180 kg/ha K ₂ O	3360 kg/ha
270 kg/ha K ₂ O	3940 kg/ha
360 kg/ha K ₂ O	4690 kg/ha
600 kg/ha K ₂ O	5900 kg/ha

Pour atteindre un rendement de 59 quintaux un apport de 600 kg de K_2O est nécessaire. Cet apport dépasse très largement les prélèvements de la récolte.

Lorsque la fumure de redressement potassique est nécessaire, des précautions sont à prendre dans les sols à faible capacité d'échange pour éviter les pertes par drainage et la consommation de luxe. Il sera conseillé d'échelonner le redressement sur plusieurs années en apportant des fumures dépassant sensiblement (de 30 à 50%) les besoins de la récolte en cours.

3. Fertilisation d'entretien

Par définition, cette fertilisation a pour but de maintenir le niveau des réserves du sol en compensant les causes d'appauvrissement. La fertilisation d'entretien devra donc, au minimum être égale aux exportations des récoltes.

Dans le cas de la fertilisation d'entretien potassique, pour des sols qui, bien que ne réagissant pas dans l'immédiat à la fumure potassique, ont un niveau de réserves très faible, on peut se demander s'il y a lieu d'appliquer préventivement une fumure d'entretien sans attendre la manifestation de la carence.

Pour répondre à cette question, des essais ont été réalisés par l'IRAT sur sols ferrugineux tropicaux, d'une part en vases de végétation et d'autre part en plein champ. On peut conclure de ces essais que l'application préventive d'une fumure d'entretien potassique dans des sols à très faible capacité d'échange, risque de provoquer une consommation de luxe: cette pratique apparaît ainsi inefficace pour maintenir le niveau des réserves. Il est donc nécessaire de surveiller très attentivement la nutrition potassique des récoltes et d'appliquer une fumure d'entretien dès l'apparition des premiers symptômes de carence.

Ces conclusions ne sont valables que dans le cas de sols à très faible capacité d'échange où le potassium, du fait de sa grande mobilité est très facilement absorbé par les végétaux.

Le niveau de la fumure d'entretien est évidemment variable suivant la nature des cultures. D'après *J. Velly [1]*, les fumures d'entretien suivantes peuvent être conseillées, dans des sols en bon état de fertilité:

Tabac	150 à 200 kg K_2O /ha
Soja fourrager	60 kg
Soja grains	60 à 90 kg
Maïs	90 kg
Arachides	30 kg
Pommes de terre	90 kg (avec apport de 20 t de fumier)
Patates douces	90 kg
Manioc	90 kg

Il est important de noter que la fumure d'entretien potassique peut être fortement réduite par enfouissement des résidus de récoltes. C'est ainsi, par exemple, qu'une récolte de 20 q de mil exporte au total (paille + grains) 100 à 120 kg de K_2O /ha. Sur ce total les exportations de grains ne représentent que 20 à 25 kg.

4. *Conclusion*

- a) Les carences immédiates en potassium des sols tropicaux sont relativement rares, mais le niveau des réserves potassiques de ces sols est faible.
L'intensification de la production agricole, en particulier à la suite de la correction des carences phosphatées et l'application d'engrais azotés, provoque dans un délai de quelques années l'apparition des carences.
- b) Dans des sols à très faible capacité d'échange et ne réagissant pas, dans l'immédiat, à la fumure potassique, l'application préventive d'engrais potassique risque de provoquer une consommation de luxe; il y a lieu de surveiller l'alimentation potassique des récoltes et d'intervenir dès que se manifesteront les premiers symptômes de carences.

Référence

1. *Velly J.*: Fertilisation potassique des sols tropicaux. *Agr. trop.* XXVII, p. 966 (1972).

Vulgarisation et commercialisation des engrais en Côte d'Ivoire

Ministère de l'Agriculture de la République de Côte d'Ivoire,
Direction générale du Développement agricole, Abidjan/Côte d'Ivoire

La croissance démographique et l'évolution économique des pays du tiers monde en général, et de la Côte d'Ivoire en particulier, nécessitent une progression toujours plus rapide de la production agricole, laquelle constituera pour ces pays, pendant encore de nombreuses années, une des principales sources de revenus.

Il est donc urgent de mettre tout en œuvre pour planifier et augmenter cette production. La présence en Côte d'Ivoire d'organismes et instituts spécialisés dans la recherche agronomique, et dont les résultats peuvent être mis à la disposition du monde rural par l'intermédiaire des sociétés de développement, est un des plus sûrs garants de l'amélioration souhaitée.

Qui dit «accroissement de la production», pense dans une agriculture évolutive «augmentation des rendements».

Si la fertilisation des sols n'est évidemment pas le seul critère à considérer pour obtenir cette augmentation, toutes les recherches démontrent que très souvent, l'absence ou l'inadaptation de la fertilisation des sols en font un facteur limitant important.

Cette fertilisation peut être considérée sous divers angles : organique, minéral ou les deux associés ; mais dans tous les cas, il est essentiel de rester attentif à l'évolution de la fertilité et de restituer au sol le maximum possible de matière végétale, sans toutefois être trop obnubilé par le problème de la fumure organique, car d'autres facteurs, tels que celui des ressources minérales, sont beaucoup plus préoccupants.

Les engrais minéraux doivent par conséquent à l'avenir jouer un rôle prépondérant dans l'évolution des rendements en milieu tropical.

Cependant, leur vulgarisation, bien qu'étant progressive depuis quelques années, se heurte encore à de nombreuses difficultés du fait :

- de leur prix de revient trop élevé par rapport à ceux de nombreux produits agricoles,
- de leur manque d'efficacité, parfois, sur les rendements, par suite d'une inadaptation des fumures, ce qui peut provoquer des déséquilibres nutritionnels ; des doses utilisées ; de l'interférence sur les cultures d'autres facteurs plus ou moins contrôlables et dont la climatologie n'est pas un des moindres, etc. Tout ceci intervient pour diminuer le rapport output/input, qui peut devenir de ce fait antiéconomique,
- de la quasi-impossibilité d'utiliser actuellement des engrais sur des cultures non ou partiellement encadrées, soit par manque d'information, de motivation ou de trésorerie en milieu paysan, soit par suite de non-récupération des avances en engrais

si l'organisme fournisseur ne peut assurer correctement la commercialisation de la production.

1. Evolution des quantités d'engrais utilisées (en tonnes)

Types d'engrais	1968	1969	1970	1971	1972
Simple azotés	5 689	6 685	9 725	11 609	19 630
Simple phosphatés	1 701	1 750	3 673	3 339	4 810
Simple potassiques	9 116	8 409	14 614	18 460	21 611
Complexes	145	67	221	170	460
Composés	14 695	15 204	19 529	21 866	28 817
Amendements	3 470	3 196	5 670	5 295	7 157
Total	34 816	35 311	53 432	60 739	82 485

La classification mentionnée ci-dessus est celle adoptée par le *Service de la Statistique du Ministère de l'Agriculture* de Côte d'Ivoire.

Notons une nette augmentation de la consommation d'engrais à partir de 1970 et signalons que pour 1972 60% du tonnage total provient de la nouvelle usine de la *SIVENG* créée en Côte d'Ivoire.

Si l'on considère les unités-fertilisantes utilisées actuellement pour les trois éléments principaux (azote, phosphore, potassium), la consommation représente pour chaque élément:

- K_2O 62% du total
- N 24% du total
- P_2O_5 14% du total

2. Nature des engrais utilisés

2.1. Engrais simples azotés

- sulfate d'ammoniaque 63%
- urée 28%
- nitrates divers 9%

Notons que la part du sulfate d'ammoniaque qui était d'environ 50% a augmenté en 1972 du fait de la production de cet engrais par la *SIVENG* et de l'interdiction de l'importation d'urée (sauf dérogations spéciales).

2.2. Engrais simples phosphatés

- scories thomas 70%
- super simple, phospal, bicalcique et divers 30%

Les scories sont utilisées en particulier dans les bananeraies.

2.3. Engrais simples potassiques

- chlorure de potassium 75%
- sulfate de potasse 25%

Ces engrais sont utilisés seuls ou en complément sur bananier, palmier, cocotier, ananas.

2.4. Complexes

- nitrates de potasse 93%
- scories potassiques 7%

Utilisation uniquement sur bananier.

2.5. Composés

Ces engrais dits «ternaires» sont fabriqués par la SIVENG, en fonction des données des instituts de recherche, et contiennent tous, en dehors des trois éléments principaux : N, P₂O₅, K₂O, une certaine proportion de soufre (8 à 12%) ainsi que parfois des oligo-éléments (1 à 4%). Parmi les plus employées nous citerons les formules suivantes :

14-14-14 + bore (cotonnier)	35%
11- 9-30 et 8-4-20 (ananas industriel)	40%
12-15-18 (cacaoyer)	10%
10-10-20 et 12-6-20 (bananier)	8%
10-18-18 (riz)	6%

Le moins que l'on puisse dire est que la diversité des formules proposées à la vulgarisation ne peut que gréver leur coût de fabrication d'une part, et que, d'autre part, la proportion de soufre n'est pas négligeable et vient s'ajouter à celui du sulfate d'ammoniaque pour les cultures recevant des épandages complémentaires d'azote en cours de végétation.

2.6. Amendements

- dolomie et chaux magnésienne (bananier) 85%
- sulfate de magnésie, kiésérite (ananas, cocotier) 15%

3. Productions de la SIVENG (en tonnes)

Types d'engrais	1971	1972
Sulfate d'ammoniaque	10 016	15 638
Superphosphate 18	194	1 460
Phosphate tricalcique	451	610
Composé	25 200	34 853
Total	35 861	52 561

Sur ce total, il a été effectivement vendu en 1972 : 49 542 t, dont 4026 t à l'exportation dans les pays limitrophes.

4. Evolution des prix à la tonne (en francs CFA départ Abidjan)

Types d'engrais	1972	1973	Pour-cent d'augmentation
<i>Productions SIVENG</i>			
Sulfate d'ammoniaque	10 600	16 000	51
Superphosphate	12 000	17 000	42
10-10-20.....	23 100	26 600	13
12- 6-20.....	22 100	24 600	12
12-15-18.....	23 000	27 900	21
14-14-14.....	25 000	28 100	12
10-18-18.....	25 000	28 600	14
<i>Engrais importés</i>			
Chlorure de potassium	19 400	21 960	13
Urée	28 000	35 200	26
Sulfate de potasse	27 200	28 110	3
Kiésérite	22 600	28 850	28

L'augmentation des prix est générale, mais, si elle reste dans des limites «acceptables» pour certains engrais, pour d'autres par contre elle atteint un pourcentage très élevé. C'est notamment le cas des deux engrais azotés: sulfate d'ammoniaque et urée.

Nous tenons cependant à signaler qu'à prix égal l'azote est plus intéressant sous forme d'urée: le coût du transport est inférieur par suite de sa plus grande concentration; les risques d'acidification des sols ou de phytotoxicité sur certaines cultures par excès de soufre sont moins à craindre.

5. Utilisation des engrais en vulgarisation

Les principales cultures peuvent être subdivisées en deux groupes:

– Cultures annuelles (coton, riz et vivriers)

Seule la culture cotonnière a un fort coefficient d'utilisation d'engrais (90% des superficies). La fertilisation sur riz n'est encore que très fragmentaire: 3000 t environ, soit sur 15% des surfaces et plus spécialement en riz irrigué ou de bas-fond.

Quant aux cultures vivrières, les apports directs d'engrais sont inexistantes, et elles ne bénéficient que des arrière-actions de la fumure dans les rares cas d'assolements suivis.

– Cultures pérennes et d'exportation (caféier, cacaoyer, ananas frais ou de conserve, bananier, palmier à huile, cocotier, hévéa) qui valorisent la journée de travail au-delà de 400 francs.

Les engrais sont en général utilisés sur toutes ces cultures, avec cependant des différences importantes:

– bananier et ananas frais	40 000 t
– ananas de conserve	15 000 t
– palmier et cocotier	10 000 t
– cacaoyer	3 000 t
– canne à sucre	2 000 t

(la caféiculture ne reçoit pour l'instant pratiquement pas d'engrais.)

La vulgarisation de la fertilisation minérale progresse en Côte d'Ivoire, mais beaucoup de cultures ne sont pas ou très peu concernées par cette progression, laquelle reste encore très fragile et peut être brutalement stoppée si l'on n'améliore pas, d'une façon ou d'une autre, la rentabilité des engrais.

Pour illustrer cela nous pouvons prendre deux exemples :

- le cotonnier en savane,
- l'ananas industriel de conserve en zone forestière.

- *La culture cotonnière*

C'est une culture de savane fortement encadrée, pour laquelle la vulgarisation de la fumure a pu être généralisée après adoption de normes culturales strictes notamment en ce qui concerne la protection phytosanitaire.

Le coefficient d'utilisation des engrais atteint 90% des surfaces cultivées en moyenne générale et 100% des surfaces dans les régions Nord et Ouest qui sont les plus aptes à cette culture.

Il est conseillé par l'IRCT d'appliquer au semis une fumure de base contenant :

- 14% d'azote,
- 14% de phosphore,
- 14% de potassium
- 8% de soufre
- 1% de bore

A la dose de 200 kg/ha en culture manuelle et pouvant aller jusqu'à 300 kg/ha en culture mécanisée.

Cette fumure doit être complétée, en priorité dans les savanes nord, par un apport complémentaire d'azote à la floraison à raison de 50 kg/ha d'urée ou, à défaut, de 100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque.

Aux tarifs actuels, le prix de cession au cultivateur d'une telle fertilisation est de 8000 fr. CFA, ce qui représente par rapport à 1971, une augmentation de 40%, alors que le prix d'achat du coton graine au producteur n'a été relevé dans le même intervalle de temps que de 15%.

Avec les doses d'engrais sus-indiquées, on obtient sur des essais multilocaux des gains de rendement de l'ordre de 400 à 500 kg/ha de coton graine.

En vulgarisation, il n'est pas facile de chiffrer le gain moyen obtenu; mais, compte tenu de l'interférence sur les rendements d'autres facteurs limitants moins bien contrôlés que sur des essais, la plus-value doit se situer autour de 200 à 300 kg/ha.

A 45 fr. par kilo de coton graine de première qualité, les 8000 fr. actuels représentent la valeur de 180 kg de coton graine; nous sommes donc, dans certains cas, à la limite de l'absorption par le coût de l'engrais de l'augmentation de rendement procurée par la fumure. Celle-ci serait, bien entendu, mieux rentabilisée par une conduite plus rationnelle de la culture et surtout par une protection insecticide plus poussée (ce qui est réalisé sur les essais IRCT). Mais dans l'état actuel des choses, toute augmentation de prix peut se traduire par une réticence, voire une désaffection des paysans vis-à-vis de l'engrais, ce qui serait un obstacle pour l'avenir de cette importante production de savane, dont le plan de développement prévoit une extension à 100 000 ha pour l'horizon 1980.

– *Ananas de conserve*

Une étude récente montre que pour cette spéculation paysanne, la journée de travail n'est plus valorisée qu'à 365 fr. fin 1972, contre 473 fr. en 1966: soit une diminution relative de 30%; alors que la fumure minérale accusait pendant la même période une augmentation de 86%.

On préconise actuellement pour l'ananas, des épandages fractionnés d'une fumure contenant:

- 8% d'azote,
- 4% de phosphore,
- 20% de potasse
- 4% de magnésie

à raison de 5 t/ha, devant donner dans de bonnes conditions d'utilisation des rendements de l'ordre de 75 à 80 t/ha d'ananas.

Or, les rendements actuels en milieu paysan sont estimés à 60 à 65 t/ha, ce qui représente au minimum un manque à gagner théorique de 66 000 fr./ha.

Or, cette perte ne pourra aller qu'en s'aggravant avec l'augmentation du prix des engrais, si leur effet sur la culture reste au même niveau du fait d'autres facteurs (encadrement, mauvais respect des normes culturales, etc.).

Ces deux exemples, exposés de façon succincte, sont suffisamment éloquents pour se passer d'autres commentaires.

Nous dirons donc, en conclusion, que si nous sommes conscients de l'utilité des engrais sur les rendements en milieu tropical, nous ne perdons pas de vue que leur utilisation à plus grande échelle est subordonnée à la résolution de nombreux problèmes tant du point de vue technique qu'économique.

Nous sommes cependant persuadés que les très gros efforts consentis actuellement par la Côte d'Ivoire dans plusieurs domaines, et notamment dans celui de l'éducation de masse, porteront bientôt leurs fruits et que ceci concourra à mieux assimiler et utiliser les techniques modernes de l'agriculture.

Extension and Marketing of Fertilizers in Ivory Coast

Ministry of Agriculture of Ivory Coast, General Management of Agricultural Development, Abidjan/Ivory Coast

Extended Summary

Population growth and economic development both demand that there shall be a significant improvement in agricultural production, since agriculture is a principal source of revenue. A guarantee for development is the existence of organisations and institutes specialised in agricultural research whose results can be put at the disposal of the farmer through the development agencies.

The use of mineral fertilizers, along with other means, plays a dominant role in the raising of yields but there are difficulties which hamper development:

- The high price of fertilizer in relation to some agricultural prices.
- Lack of fertilizer response due to the interference of other limiting factors.
- The difficulty of using fertilizer on crops grown under primitive systems.

The Ivory Coast used, in 1972, about 20 000 m.t. nitrogenous, 5000 m.t. phosphatic and 22 000 m.t. potassic fertilizers with 460 m.t. complex and 29 000 m.t. mixed fertilizers and 7000 m.t. amendments. Fertilizer consumption has increased sharply since 1970 (see Table I, in French version) and 60% of fertilizer used in 1972 came from local factories. All locally manufactured compound fertilizer contains sulphur and trace elements in addition to N, P and K.

The most popular formulae are:

Cotton 14-14-14 + B

Canning pineapple 11-9-30 + 8-4-20

Cacao 12-15-18

Banana 10-10-20 + 12-6-20

Rice 10-18-18

Table 2 (see French version) shows production in local factories and Table 3 (see French version) the evolution of fertilizer prices.

Among annual crops 90% of cotton and 15% of rice received fertilizer but food crops, in practice, only benefit from residual effects as they follow the above in the rotation.

Fertilizers are used on all plantation and export crops: 40 000 m.t. on banana and dessert pineapple, 15 000 on canning pineapples, 10 000 m.t. on oil palm and coconut and 3000 on cacao.

200-300 kg/ha of 14-14-14 + 8S + 1B is used on cotton with 25 kg N/ha at flowering. Though the price of fertilizer to the farmer has risen by 40% since 1971, the price he receives for his seed cotton has only gone up by 15%. In some cases, especially if the spraying programme is incomplete, fertilizer is only marginally profitable and this could eventually prejudice the farmer and be a serious obstacle to the progress of the development plan. There is a similar problem with canning pineapple. Between 1966 and 1972 the price of fertilizer (\$ m.t./ha of 8-4-20 + 4 Mg) has risen by 86% while the return for a day's work has fallen by 30%.

There is no doubt at all about the value of fertilizers but the wider extension of their use depends upon the resolution of a number of problems, technical as well as economic. Nevertheless the great efforts being made by the Government of the Ivory Coast, not least in the field of education, must surely soon bear fruit and result in the wider adoption of improved practices.

Methods for Introducing Fertilizer Use into Farming Practice

Prof. Dr. *I. Arnon*, former Director of the Volcani Institute for Agriculture Research; Member of the Scientific Board of IPI, Bet Dagan/Israel

Summary

Agriculture has a crucial role to play in the developing countries, and a pre-condition to 'take-off' in agriculture is the introduction of new agricultural inputs. Of these, fertilizer use can be considered a 'lead practice' because it not only has strikingly visible effects, but it also predisposes farmers to adopt other improved practices. In particular in the humid tropics, the basic problem is the restoration and maintenance of soil fertility, for which fertilizer use is the only practical solution.

However, the introduction of a single improved practice at a time, has serious drawbacks, because of the interlocking links between all production factors, and an appropriate package programme, based on the concept of 'Minimum Essential Needs Strategy' is, therefore, described in the paper. However, the adoption of improved practices is not a purely technological problem, it is also dependent on a number of technical, social and economic factors, as well as an appropriate infrastructure and supporting services, which are briefly described.

1. Introduction

A formidable task faces the developing nations. The 1960's have been called a decade of development. However, the most important social and economic change that has actually taken place in the developing countries is a population explosion that makes it much more difficult for them to solve their economic problems. The flow of financial resources from developed countries is not increasing, but has leveled off; there is also a reduction in private long-term investment, due to a slowing down of development, to internal political instability and to boundary conflicts.

The demand of the developed countries for the traditional export commodities of the developing countries has also fallen off, whilst outlets for new exports have not developed sufficiently. The considerable income gap between developed and developing countries is widening, and food production per capita is declining. Two-thirds of the people in developing countries suffer from malnutrition; disease and illiteracy in addition to certain social customs generally handicap any programme aimed at increasing productivity in agriculture (*Myrdal [1965]*).

There are many opinions as to the 'preconditions' which are essential if a 'take-off' into 'self-sustaining growth' is to be achieved by developing countries, but two essential facts are now generally acknowledged:

- a) *Agriculture has a crucial role to play, and 'take off' in agriculture is the first essential step.* The economic development of low-income countries predicated a considerable increase in the production of agricultural commodities.
- b) *These requirements cannot be achieved by reliance on traditional agriculture.*

In the developing countries most of the farmers are still in the subsistence class, notwithstanding the tremendous advances in agricultural technology made in the course of the twentieth century. Even in Mexico, a country that has pioneered the 'Green Revolution', about 70% of the farmers still produce at subsistence level, and in most other developing countries the situation is still worse.

Traditional or subsistence agriculture cannot contribute much to the overall development of the country, because its production capacity is low and most of the income is used for feeding the food producers themselves. Simply increasing the input of traditional factors of production with the existing state of the art gives too low a rate of return to induce further investment. Hence, a breakthrough is possible only by providing 'improvements in the quality of the inputs', namely, new *agricultural inputs* with a relatively high pay-off. Virtually all these 'new' inputs of potential promise must come from *outside* traditional agriculture – improved varieties, fertilizers, equipment, pesticides, etc., and their success depends on their being used efficiently.

2. *General Problems of Applying Improved Technology*

Transforming traditional agriculture into modern agriculture is accompanied by profound changes in the factors of production and their relative importance. If efforts to transform agricultural production are to be successful, technology has to be improved in a wide variety of fields. All this has to be accompanied by a complex infrastructure which services agricultural production and which is able to provide the necessary supplies and facilities for both production and marketing. The farmer must feel that his efforts will be worthwhile and in accordance with his wants. Incentives, such as appropriate pricing, credit, land reform and other measures, have to be provided, to motivate the farmer to change his methods of production, notwithstanding the risks involved.

Research has to provide the necessary know-how; education is essential to make the farmer receptive to new ideas and capable of applying new technologies; extension services are needed to provide the link between research and the farmer.

New social forms and structural changes in rural society are also needed to enable the farmer to cope with the new complexities with which he will be increasingly faced, as he moves from traditional to modern agriculture.

The traditional farmer will, as a rule, show little responsiveness to proposals to adopt new techniques unless:

- a) their effects are rapidly and strikingly visible;
- b) there is a considerable margin between costs and benefits;
- c) the benefits are short-term, or convincingly proven.

The principal reasons that traditional farmers do not adopt new methods, unless the expected increase in income is quite considerable in relation to the cost involved, are:

- a) they cannot be certain that the increase is due to the new technique and not to exceptionally favourable climatic conditions;
- b) the higher income must be sufficiently attractive to offset the risk of losing the investment involved;
- c) the additional physical effort must appear to be worthwhile to farmers who value leisure in its own right.

3. Fertilizers for Increased Production

In the course of twenty years (1946 to 1966) world fertilizer consumption increased by 543 percent, while the cultivated acreage increased by less than 20 percent. During the 10-year period ending 1971/72, world fertiliser production and consumption more than doubled, reaching a total of NPK of 76.7 and 73.6 million tons, respectively (Couston, 1973).

Most of the world's fertilizers are used in the already developed countries. In the early 1960's, Europe, North America and Japan, used nearly 90 percent of the world's supply of all fertilizers on less than 40 percent of the world's arable land (OECD [1967b]).

In the few developing countries that have used fertilizers on a relatively large scale, these have enabled considerable increases in agricultural production. For example, in India, increased fertilizer use was estimated to be responsible for 4.6 million tons out of the 11.2 million tons increase in food production during the second Five-Year Plan (FAO [1967b]). It is, however, difficult to separate out the effects of other improved practices which, in addition to making their own specific contribution to yield increases, greatly enhance the response of the crop to fertilizer applications.

Over all the regions and countries of the fertilizer programme of the *Freedom from Hunger Campaign* of the FAO, nitrogen had positive effects in 97 percent of the locations, phosphorus in 90 percent, and potassium in 85 percent (Couston [1967]). The most successful fertilizer treatment increased yields by an average of 60 percent and was profitable in over 90 percent of all locations. If the other production inputs had also been introduced, the overall effect on productivity would have been greater. The value/cost ratio averaged from 4 to 8, indicating that the investment in properly used fertilizers is highly profitable (Olson [1968]).

4. The Need for Fertilizers in the Humid Tropics

If one attempts to state in a single sentence the main problem facing agriculture in the principal climatic regions of the world, one could say that for the temperate regions, it is the scarcity of labour; for dry regions – naturally – the lack of water; and in the humid tropics, the maintenance of soil fertility.

The rapid loss of nutrients as a result of leaching in the humid tropics was overcome in the past by reliance on 'shifting cultivation'. In this system, a few years of crop cultivation usually exhausted the store of soils nutrients built up during many years under forest cover. When yields became too low even for the simple requirements of the subsistence farmer, the cultivated area could be allowed to revert to forest, and a new plot of land would be cleared. However, this system is gradually, and in many parts of Africa

even rapidly, breaking down under the impact of population pressures. As population density increases, the fallow period under forest cover become progressively shorter, and fertility restoration less and less effective. After a critical population density is achieved, the fallow period is so short that the forest can no longer be regenerated, and the original vegetation is replaced first by scrub, then by coarse grass and finally, with decreasing vegetative cover, erosion takes heavy toll of the soil, further increasing the pressure on the remaining forest land.

The only available solution to the problem of nutrient deficiencies caused by a breakdown of the traditional 'shifting cultivation' system, is the rational use of fertilizers.

In *plantation crops* the impact of fertilizers is considerable from the start. These crops are mostly grown under favourable rainfall regimes, high yielding varieties are generally planted, and modern techniques are used. Fertilizers applied under these conditions have proven able to produce striking increases in yield. For example, in Ghana, under a combination of high-yielding varieties, reduced shade and efficient disease and pest control measures, fertilizers have been found to increase yields of cacao more than ten-fold, to 3000 kg per ha. (*FAO [1962]*). Fertilizers applied on improved varieties of oil-palm, made possible earlier bearing (at the age of 3 to 4 years, instead of the usual 7-10 years) and increased the yields of palm kernels and palm oil, three- and six-fold, respectively (*Ministry of Economic Planning [1961]*).

The situation is, however, generally quite different in regard to food crops. During the early stages of development of traditional farming, though plant nutrients are the major limiting factor, the yield increases in food crops due to fertilizers are, of necessity, limited. Marginal productivity of increments in fertilizer on most food crops is low because other essential production factors that interact with fertilizers are not yet present.

Limited knowledge of the most effective way of using fertilizers may also reduce their impact. Factors such as optimal rates, the best timing of application, the most suitable nutrient carrier, and combinations of fertilizers in the right proportion, are highly relevant to the overall effects obtained. Faulty or negligent application techniques, such as uneven distribution of the fertilizers, may also reduce their effectiveness. These problems fade as knowledge concerning fertilizer application increases as a result of research, and know-how of the farmers improves through education and extension.

5. Fertilizers as a Lead Practice

Despite these problems, use of fertilizers is already important in the early stages of development, for practical and for psychological reasons: practical because the returns are quick and little capital is required; the use of fertilizers is probably the most responsive single factor for increased yields per hectare or per unit of water. Fertilizers also have the great practical advantage that they can be successfully applied by the individual farmer who has the necessary initiative, without his being dependent on his neighbours. By contrast, many other practices, such as insect and disease control, are almost certainly doomed to failure, for obvious reasons, unless organized collectively and carried out in a planned fashion over fairly large areas. The psychological reasons are that few inputs have such strikingly visible effects on the crop. The fertilizer itself is a tangible input, so that the relation between cause and effect is most evident. For these reasons, fertilizer application is considered a 'lead' practice which predisposes

the farmer to adopt other improved practices. Every improvement in varieties and in management practice that increases yields, also increases fertilizer requirements. Increased amounts are needed to make possible the potential yield increase due to improved practices, and to replace the additional nutrients removed from the soil. Fertilizers bear such a highly complementary relationship to other yield increasing practices, that the amounts of fertilizers used per hectare of land have been found to be a reliable index of progress in the adoption of yield-increasing technologies in general. *Williams and Couston [1962]* report a 0.87 coefficient of correlation between fertilizer consumption and grain yields in 40 countries. Generally, the countries with low levels of fertilizer use and yield value* of crop production are the relatively developing countries; high levels of fertilizer use and yield-value of crop production characterize countries with a modern, highly productive agriculture and an efficient industrial sector.

6. Complementary Nature of Technological Factors

Agricultural progress cannot, as a rule, be piecemeal. There is little point in introducing improved varieties if they are unable to develop their potentials owing to lack of nutrients; there is no justification in adopting practices aimed at producing what might become a bumper crop, if disease prevention and pest control are not carried out and a large part of the crop is thereby lost. Living standards will hardly rise if weed control is ineffective because it has to be carried out by back-breaking manual labour.

For these reasons, programmes aimed at introducing a single improved practice at a time, such as applying fertilizers, using good seeds, controlling pests etc., usually give poor results. An example, showing the need for fertilizer application *before* improved varieties can give highly increased yields, is described by *Kellogg [1962]*. In fertilizer trials on maize in India, the increases obtained over unfertilized local varieties were of 1290 kg/ha from hybrid seed alone; 1110 kg/ha from the application of fertilizer alone, and 3480 kg/ha from the combination of the two.

Another aspect that adds to the argument against single practices, even when effective, is that, at best, they provide only small increases in yield over traditional farming and therefore have very little impact. Increases of 10 or even 20 percent over an average grain yield of 500–600 kg/ha that is usual for traditional farming are smaller than the normal variations in yield due to climate, and will, therefore, not even be attributed by the farmer to the improved practice. It is also doubtful whether the increase is sufficient to justify the cost of the input required. In the early stages of development, it is almost essential that spectacular increases of at least double or triple the normal yield be obtained. This is usually not possible with a single practice, even one as effective as fertilizers, but may be reasonably expected with an appropriate 'package'.

Because of these highly important interrelationships among various factors, the effectiveness of a development programme will, therefore, depend on the ability to find an appropriate combination of simultaneous changes.

It is characteristic of developing and underdeveloped countries 'that nearly everything seems to need doing at once' (*Kellogg [1962]*).

* *Yield Value*: The Yield-Value index of crop production per ha is obtained by multiplying the production of each recorded crop by its regional price-weight, aggregating these values, and then deviding the total number of ha of crops (*Williams and Couston [1962]*).

Because of the interlocking links between all production factors, one cannot dispute from the technical viewpoint, the need for a package programme, covering all aspects of a development plan. However, equally characteristic of developing countries, are the limitations in human resources and capital, which simply make it impossible to tackle everything at the same time. Indeed, it is the inherent complementarity of agricultural factors that makes the planning of a logical, coordinated action programme, each stage of which is dependent upon the others, so extremely difficult. This is probably the main cause for the poor performance of most agricultural development plans.

Between the extremes of a complete 'package program', highly desirable, but not always feasible, on one hand, and the concentration on a single factor, usually ineffective, on the other, is a viewpoint called 'Minimum Essential Needs Strategy' (*Gaitskell [1968]*). This consists in giving priority to a minimum number of factors that must be applied simultaneously, in order to interact concurrently if they are to have an appreciable impact on development, whilst others have to be added in sequence as the means become available.

Certain techniques, when applied in combination, can give spectacular results in a very short time. A combination of improved variety, appropriate fertilization, adjusted plant population, and efficient weed control and plant protection, can give increases in yield that range up to several hundred percent. The expenditure required from the farmer for these inputs is apt to be very low in relation to the additional yield produced, provided only that the prices for fertilizers and pesticides are not inflated as a result of deliberate policy, dependence on unscrupulous middle-men, unrealistic distribution costs, or other man-made factors that disrupt the cost-ratio of crop and input factors.

6.1. *Package programmes*

An interesting approach to the large-scale introduction of improved practices into traditional farming is the so-called 'Package programme' (*Malone [1965]*).

The basic concept underlying the programme is that agricultural progress will be more rapid, and the adoption of improving practices will be more effective if:

1. A 'package' of complementary, improved production practices, locally adjusted to climate, soil and irrigation conditions, is established by specialists.
2. The 'package' deal is applied across an entire farming community, by helping whole groups of farmers in each village to make a break with tradition. The package of improved practices includes provision of clean seeds treated against seed-borne diseases, equipment for improving seed-bed preparation, fertilizers, plant protection measures and where needed, effective irrigation practices. The 'package' is adapted to each locality, but always consists of a combination of interacting practices.
3. The technical supplies (seeds, fertilizers, pesticides, and implements) needed for the execution of the programme, and the necessary credits to finance the plans, are made available to the villages in time and in sufficient quantity together with a number of supporting services that are required for this purpose: these include suitable transport and marketing arrangements, adequate storage facilities, seed and soil testing laboratories, workshops, and credit institutions.

4. A general educational programme clarifying the benefits to be derived from the package plan, including demonstration plots, is executed. Each demonstration is carried out on two plots in a farmer's field, on one of these plots the 'package' of improved practices is applied, whereas the other is farmed in the traditional way.
5. A simple farm plan is worked out with each farmer participant, indicating the crops he intends to grow and the supplies he will require.

The implementation of the package plan has shown that farmers take the first steps away from tradition more quickly and more successfully if they do it as a group, together with their neighbours.

7. Social and Human Factors

The development of agriculture is not a purely technological problem. Its success is frequently dependent on an understanding of the society in which it is to take place, a knowledge of the social and economic factors that condition the farmer's responsiveness to technological change, and the ability to obtain willing cooperation of the people involved.

7.1. The farmer

In advanced countries the farmer is a man of business, with a fairly high degree of business acumen and a positive attitude to agricultural science. He is on the look out for improvements which will bring him higher profits. He has his eye on the market and he has the necessary skill to adjust his farm business to changing conditions.

In contrast, in the underdeveloped and developing countries, agriculture is carried on by farmers who are very small producers and who produce more for subsistence than for market. They generally have a low standard of education and a restricted mental horizon.

Many subsistence farmers show what has been called the 'target income' mentality. This means that there is a tendency to regard a certain level of income as sufficient, and to consider additional income as not worth the extra effort required to obtain it (*de Wilde and McLoughlin [1967]*).

The per capita annual income of these farmers is commonly between US\$80 and \$150. The soil they farm is usually exhausted and the land resources of the individual farmers are limited. Crop failures do not simply mean a reduced income, but may result in outright starvation. It is small wonder, then, that these farmers hesitate to adopt new and untried practices.

As the farmers of advanced countries differ from the farmers of underdeveloped and developing countries, so the agricultural extension problems also differ. In an advanced country the problem is how to communicate effectively the results of research to a farmer who is mentally prepared to accept new practices that will give him higher returns. In contrast, in the underdeveloped and developing countries, one must not only solve the problem of how to communicate information but also that of how to motivate the farm operator to accept technological change and use improved practices to his advantage.

Experience has shown that in the developing countries, it is generally the more prosperous farmers who are inclined to adopt new technologies, which involve higher in-

vestments and risks, but promise higher returns. As a result, the gap between the poorer and the richer farmers continues to increase.

However, the resistance to change generally attributed to farmers, *should not be exaggerated*. Given the proper incentives and supporting services and using appropriate extension methods, farmers adopt new practices more easily than is generally assumed.

7.2. *Social factors*

Of equal importance to the human element in influencing the adoption of new farm practices is the social framework which must also be taken into consideration in planning development programmes. There are many causal relationships and connections between purely economic factors and social and cultural conditions which cannot be ignored or excluded from economic analysis and planning.

To mention only a few of these social problems: the nature of the leadership and the degree of control it exercises over the community, in particular where leadership is in the hands of a gerontocracy, committed to primitive agricultural techniques and to tribal customs which may hamper progress; the role and status of women, nomadism, etc.

8. *Economic Factors*

Adopting new practices, with all the uncertainty and risks that this involves, can be critical for farmers who produce barely enough for survival. Traditional methods of farming, have at least proved over the centuries, that they are fairly well adapted to the local conditions. The rate at which farmers in a traditional framework will adopt a new practice will therefore depend on its profitability, with due allowance for risk and uncertainty*. Strong incentives are, therefore, essential in order to induce the subsistence farmer to plunge into commercial agriculture. These must aim at improving profitability and reducing risks, at least for a more or less protracted transition period. Experience in developing countries has shown that increases in agricultural productivity can be obtained in a relatively short period if incentives that are favourable to the farmer are provided. The principal incentives are prices and subsidies, production credit, tax structure and policy, and land tenure arrangements. As these subjects will be treated in detail in the paper to be presented by Mr. Steiner, we will only outline a few outstanding aspects.

8.1. *Prices and subsidies*

A system of efficient pricing is one of the basic economic requirements for the development of agriculture. There are three sets of prices to be considered: of *farm products*, of *agricultural inputs*, and of *consumer goods* and *services* that farmers have to buy.

8.1.1. *Prices of farm products*

Prices can be used to change cropping patterns, first by encouraging a shift from low to higher yields and subsequently from low-value to high-value crops. The unfortunate

* There must be a sufficient margin between returns and cost, and this is estimated as five to one initially for fertilizers (*Nelson [1967]*).

tendency in most developing countries is to base pricing more on the need for low food costs in cities than on the production incentives needed by farmers, thereby impairing the effectiveness of agriculture in contributing to the overall development of the economy, and reducing the incentive to use improved technology.

8.1.2. Prices of agricultural inputs

For modernising production, farmers must buy fertilizers, chemicals for the control of pests, diseases and weeds, tools, equipment, machines and fuel. In most developing countries the prices of these inputs are excessively high. A *balance* must be maintained between the prices the farmer obtains for his products and the cost of the inputs he is being encouraged to make.

8.1.3. Prices of consumer goods and services

The prices of the consumer goods and services that farmers buy are the key to the purchasing power of the net income earned by the farmers, hence their importance. In underdeveloped and developing countries these prices have been rising relative to the prices the farmers obtain for their products.

The *stability* of the three sets of prices described above is also of considerable importance.

Stability of prices cannot be achieved by legal means only; these will be realistic only if there exists an *adequate transport system and storage facilities*. Nor can stability of prices be absolute. A certain amount of fluctuation must be allowed according to the success of the harvest and the time that has elapsed since the last harvest. If prices remain stable throughout the year, much greater storage capacity will have to be provided. The stability of prices should be tempered by flexibility between a minimum and a ceiling price.

8.1.4. Subsidies

Subsidies of agricultural prices or inputs are generally justified in the early stages of development to stimulate the introduction of new crops or the adoption of new techniques, that have been proven to be beneficial. The subsidies must be large enough to make the desired adoption sufficiently attractive in the eyes of the farmer and reduce the element of risk involved; however, it is usually desirable that a reasonable part of the cost should be borne by the farmer. Once the innovations are accepted, and the farmers know the benefits that accrue to him, the subsidies can be gradually reduced and finally discontinued.

The great advantage of subsidizing an input such as fertilizers rather than increasing the prices of the commodity produced, is that the subsidies directly encourage the use of inputs that increase productivity. By contrast, if the price of the product is increased, progressive and backward farmers profit equally. At the same time, the political and economic consequences of increasing the price of food and fibres to the non-farming population are involved. However, the two methods should not be considered as mutually exclusive, and a judicious policy of prices and subsidies has to be established in accordance with each specific situation.

8.1.5. Credit

A good system of agricultural credit, supplied at reasonable cost, is of considerable importance in promoting agricultural development. It is particularly justified in the form

of short-term loans for recurring seasonal inputs such as seeds, fertilizers, or pesticides and longer-term loans for the establishment of new crops, perennial crops, the establishment of settlers on new land, the purchase of implements or machinery, etc.

The high cost of credit is one of the main reasons why subsistence farmers do not adopt improved practices more rapidly which require cash outlays.

In a survey carried out in the CENTO countries, it was found that the main reason given by farmers for not using fertilizers was *money*. They had no money of their own to invest and if they borrowed money they had to pay double the amount after the crop was harvested. Interest rates range from 60 to 250 percent (*Central Treaty Organization [1962]*).

Experience in developing countries has shown the absolute necessity of providing short-term credit at reasonable cost to farmers buying inputs such as fertilizers, insecticides, etc., even when the prices of the inputs are subsidized. The credit must be available at the time when the inputs are purchased and must be extended until the crop is marketed.

9. *Infrastructure and Services*

Agriculture in developing countries consists generally of two sectors, subsistence farming and the production of commodities for export.

For a change to be possible from subsistence to commercial farming, facilities are needed to produce, distribute, and supervise the use of the materials required for improved agricultural production. Good seed of improved varieties must be grown, cleaned, and distributed by special organizations set up for the purpose. Government control of the quality of fertilizers, feedstuffs, and, in particular, pesticides and fungicides is essential if the farmer is not to be cheated and the efforts of extension to introduce improvements are to be made ineffective.

New markets, marketing techniques, and a transportation system, therefore, have to be developed.

The fact that excess labour supply in many overpopulated countries can be utilised for the creation of a productive rural infrastructure (*Lefebvre and Datta Chandhuri [1971]*), can in itself be a major contribution to agricultural development.

10. *Supporting Services*

Agricultural productivity has increased most in countries that have invested appreciable sums in agricultural research and the education of the farmer (*Christensen and Stevens [1962]*).

The remarkable success of farmers in Japan in increasing productivity per unit area and per farm worker, is ascribed by Schultz (1964) first and foremost to the public investments in agricultural research and in schooling of the farming community. The ability of the farmers to adopt new practices was thereby enhanced even when the latter complex and difficult.

10.1. *Agricultural research*

An essential element in the transformation of traditional agriculture is an appropriate agricultural research programme and the necessary infrastructure needed to carry it

out. Research on production factors such as fertilizer use, that have a rapid and considerable impact on yields, does not require expensive or sophisticated basic research in the early stages. It is usually well within the capabilities of developing countries, provided the minimum research infrastructure is available. This includes a network of experiment stations with testing facilities and a competent staff which can carry research to the point of final application.

Research findings do not automatically transform themselves into agricultural practices; even in the best of cases there is usually a considerable time lag between the development of a new technique and its application. Whilst there is every justification for the experiment station to be one step ahead of farming practice in the region, it is the acme of futility when the work of the experiment station has practically no impact on the farming community it is supposed to serve. Unfortunately, this is too often the case in many developing countries.

10.2. *Extension*

It is a truism to state that close links between research and the farming community are essential if research findings are to contribute to agricultural progress. For this, a strong extension service is needed. The extension worker is the first to try out, under normal farming practice, the new ideas resulting from research, to investigate their economic justification, and to adapt them to the realistic necessities of agricultural production. This he does in relation to different types of farming and to varying environmental conditions. Reciprocally, he brings the problems of the farmer to the research worker, and may even contribute to their solution.

It is generally agreed that the objectives of extension work in agriculture are not only to bring about an improvement in farming through the application of science and technology, but also to promote the social, cultural, recreational, intellectual, and spiritual life of the rural people. There is also general agreement, especially in developing countries, that whilst the advisory service has to adapt itself to the existing social framework of the farmers, it must also be active in promoting change towards a more progressive social framework as a pre-requisite for technological change.

Penders [1956] correctly stresses the need to ensure participation of the farmers themselves in the extension work, which includes formulating policies and requirements, planning the programme, and carrying it out. The contribution of well-chosen local leaders can be considerable. This is possible not only in developed countries, but can, with suitable encouragement, be adopted also in developing countries.

An interesting approach has been developed and adopted in the Ivory Coast. This is primarily concerned with motivating farmers themselves to take an active part in extension. In this approach, called 'animation rurale', the key person is the so-called 'animateur', a farmer selected by the villagers themselves, to act as liaison between the farmers and the extension agents (called 'conseillers'). Both 'animateurs' and 'conseillers' receive the same training at special training centres, the former are unpaid volunteers and the latter are recruited and paid by the extension service. The main advantage of this approach is 'to create in the village a receptivity to change and a sense of participation' (*Wilde and McLoughlin [1967]*). This enables the extension organization to work more efficiently as well as to concentrate on problems that the villagers themselves feel as being the most urgent.

A difficult problem is that of determining the minimum of extension workers required to make a significant impact on the agriculture of the region. The desirable ratio of extension workers to farmer will, of course, depend on the specific conditions prevailing in each region, such as potentialities for increased production or diversification, the technical and educational level of the farmers, the density of the farming population, the mobility and dedication of the extension worker, to name just a few.

A tentative and rule of thumb conclusion, established at a conference on extension in East Africa, sponsored by FAO, is that the minimum objective should be a ratio between 1:350 and 1:1000 (FAO 1962).

10.3. *Liaison problems between research and extension*

While the need for close cooperation between research and extension appears to be axiomatic, its achievement in most countries is the exception rather than the rule. Extension work and research are usually organized in different services, and there exists a general tendency towards separation of interests and even alienation between the two. This may easily lead to a situation in which the extension worker, instead of serving as a link between research and the farmer, becomes, on the contrary, an obstacle between them. Lack of contacts between research and extension workers easily lead to conflicting conceptions and opposing instructions to farmers, to the detriment and confusion of the latter.

Practically everybody is agreed that such a situation is incompatible with the needs of the agricultural community and must be avoided, nowhere more vigorously than in developing countries. Lip service to this idea is, however, not sufficient, nor can the problems be solved only by contacts at the individual level.

The two services of research and extension, though they have a common goal, have basic differences in their methods of work and objectives, and therefore require distinct and separate administrative machinery in order to ensure their efficient functioning. This can, however, strengthen the centrifugal tendencies, which can be counteracted by the following means (*Arnon [1968]*):

1. Setting up a *common organizational framework* for the two administrative units, thereby assuring maximum cooperation between the two and enabling a fair amount of movement of personnel between research and extension – what the French aptly call ‘ambivalence du personnel’. The policy and programme of the two services should be formulated jointly, whilst the implementation of policy remains the separate responsibility of each service, at least so far as its own aspects is concerned.
2. Reducing the differences in the atmosphere in which research and extension are carried out, differences which make them drift apart even further, by:
 - a) Having the extension workers participate in establishing the research programme, determining priorities, etc.
 - b) Co-opting into the research programme extension workers who have the suitable qualifications. This especially applies in regional experimental work, that can also serve for demonstration purposes. A method called ‘prevulgarisation’ has been adopted in certain areas, in which approaches and methods developed at the experiment stations are tested in pilot sectors, in the peasant milieu, before their general adoption.

- c) Locating regional extension services, wherever possible, at the regional experiment station.
3. Organizing, in common, certain units which serve both services – such as libraries, central laboratories for the diagnosis of fertilizer requirements and others for disease identification, etc.

10.4. *Education*

In countries with a considerable proportion of illiterates in the population, the vast majority of these are usually concentrated in the rural areas.

Whilst it is possible to train illiterate persons in the use of agricultural machinery and even influence them to use improved technologies, there is no doubt that it is more difficult to do so and costs of maintenance will be considerably greater than is the case with literate people. The efficacy of extension methods is also considerably reduced in the former case and a greater number of extensionists are required.

In research on the effect of literacy on the rate of modernization, it was found that people who have two or three years of schooling are not much different in their attitudes from those who have no education; the education threshold in most developing countries appears to be at least four to five years of schooling (*Rogers [1969]*). The policy generally followed in developing nations is to attempt to allocate a little education to almost everyone. In view of the above findings, it would appear to be a wiser strategy to concentrate educational opportunities only upon children who can be carried through postprimary education (*Rogers [1969]*). Alternately, this could be considered as the minimum objective for all children.

11. *Summary*

Whilst fertilizer use is a key element and a 'leading practice' in the transformation of subsistence into commercial farming, its adoption into farming practice is dependent on a number of technical, social and economic factors which must be taken into consideration if the contribution of this important tool to technological progress is to be fully effective

12. *References*

- Arnon, J.*: The Organisation and Administration of Agricultural Research, Elsevier Publishing Co. Ltd., London, 1968.
- Central Treaty Organization*: Travelling Seminar for Increased Agricultural Production, Regional Tour Report, Office of U.S. Coordinator, CENTO Affairs, Ankara, 1962.
- Christensen, R. P. and Stevens, R. D.*: Putting Science to Work to Improve World Agriculture, pp. 158-176 in *Food: One Tool in International Economic Development* (ed. *E. O. Haroldsen*), Iowa State University Press, Ames, 1962.
- Couston, J. W.*: Physical and Economic Summary of Trial and Demonstration Results. FFMC Fertilizer Program, 1961-1962, 1964-1965. Food and Agriculture Organization of the U.N. Rome, 1967.
- Couston, J. W.* Review of the Current Market Situation, Trends and Prospects for Fertilizer Supplies and Prices. Paper presented to the Ad Hoc Government Consultation on Fertilizers. Food and Agriculture Organ. of the U.N., Rome, 1973.

- FAO: Africa Survey Report on the Possibilities of African Rural Development in Relation to Economic and Social Growth, Food and Agriculture Organization of the U.N., Rome, 1962.
- FAO: Fertilizers. Ann. Rev. Wld. Production, Consumption and Trade. Food and Agriculture Organization of the U.N., Rome, 1967.
- Gaitskell, A.: Problems of policy in planning the Indus Basin investment in West Pakistan, pp. 183–213, in: Economic Development of Tropical Agriculture (ed., *W. W. McPherson*) University of Florida Press, Gainesville, 1968.
- Kellogg, C. E.: Using agriculture resources for economic development in underdeveloped countries, pp. 148–157, in: Food, One Tool in International Economic Development (ed. *E. O. Haroldsen*), Iowa State University Press, Ames, 1962.
- Lefebvre, L. and Datta Chandhuri, M.: Regional Development Experiences and Prospects in South and Southeast Asia, Mouton, Paris, 1971.
- Malone, C. C.: Some responses of rice farmers to the Package Program in Tanjore District, India. *J. Farm Econ.* 47: 256–269, 1965.
- Ministry of Economic Planning: Notes on Eastern Nigeria Oil Palm Grove Rehabilitation Scheme, Enugu (mimeopr.), 1961.
- Myrdal, G.: The 1965 McDougall Memorial Lecture. Food and Agriculture Organization of the U.N., Rome, 1965.
- Nelson, L. R.: Fertilizer requirements for increased food needs, pp. 95–118 in: The World Food Problem, Vol. III, U.S. President's Science Advisory Committee, Washington, D.C., 1967.
- O.E.C.D.: Supply and Demand Prospects for Chemical Fertilizers in the Developing Countries, O.E.C.D., Paris, 1967.
- Penders, J. N. A.: Methods and Programme Planning in Rural Extension, H. Veenman and Zonen, Wageningen, 1956.
- Rogers, E. M.: Modernization among Peasants, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1969.
- Schultz, T. W.: Transforming Traditional Agriculture, Yale University Press, New Haven, 1964.
- Wilde, J. C., de and McLaughlin, P. F. M.: Experiences with Agricultural Development in Tropical Africa. John Hopkins Press, Baltimore, 1967.
- Williams, M. S. and Couston, J. W.: Crop Production Levels and Fertilizer Use. Food and Agriculture Organization of the U.N., Rome, 1962.

Les facteurs influençant l'utilisation des engrais minéraux dans la pratique agricole des pays en voie de développement

I. Arnon, National and University Institute of Agriculture, Bet Dagan/Israël

Version abrégée

L'adoption de techniques agricoles modernes dans la pratique telle que la fumure minérale par exemple, est fonction de quatre domaines d'activité essentiels, qui sont étroitement liés entre eux:

- a) *La recherche*, qui doit trouver l'information nécessaire pour une application efficace de la nouvelle technologie.
- b) *La vulgarisation*, qui doit se préoccuper de l'adoption de la nouvelle technologie au niveau individuel de la ferme.
- c) *Les conditions préalables et essentielles* – économiques, sociales et d'infrastructure – qui doivent assurer la possibilité d'adopter la nouvelle technologie et créer les conditions permettant aux agriculteurs de tirer profit de leur initiation.
- d) *Une stratégie appropriée*, qui permettra de mettre en action les trois premiers domaines d'activité mentionnés d'une manière efficace et coordonnée dans le cadre d'un plan national et régional bien conçu.

Dans le bref résumé, nous ne pouvons que signaler quelques aspects – non pas plus importants que les autres – mais trop souvent ignorés ou négligés.

La recherche:

La plupart des pays en voie de développement possèdent une organisation de recherche agronomique plus ou moins développée. Les principaux problèmes qui limitent l'efficacité de cette organisation

sont en général a) l'adoption et l'exécution d'un programme de recherches *approprié* aux conditions et aux besoins prioritaires de l'agriculture qu'il doit servir, et b) l'assurance pour que le travail de la recherche soit efficace dans la pratique agricole du «hinterland» de la station expérimentale. En général, c'est ce dernier aspect qui est le plus décevant dans la réalité de la plupart des pays en voie de développement.

La vulgarisation:

Une méthode de vulgarisation intéressante, adoptée en Côte d'Ivoire, mérite d'être signalée. Cette approche, nommée «animation rurale» est basée sur la participation active des agriculteurs dans l'exercice de la vulgarisation. Un cultivateur, choisi par les villageois, devient l'animateur et sert d'agent de liaison entre les autres cultivateurs et le vulgarisateur que l'on nomme «conseiller». L'animateur et le conseiller reçoivent la même préparation professionnelle dans des centres d'instruction spéciaux. Ce système permet à la vulgarisation de se préoccuper de problèmes que les villageois eux-mêmes considèrent comme prioritaires et assure un travail de vulgarisation plus efficace.

Un problème général et fréquent, qui limite simultanément l'efficacité de la recherche et de la vulgarisation, est le manque de liens appropriés entre eux. De nombreux moyens sont suggérés dans le texte original du présent travail pour surmonter, partiellement du moins, ce problème clef.

A part les problèmes d'ordre général concernant l'adoption de la technologie moderne dans la pratique, chaque nouvelle technique agricole pose des problèmes spécifiques. En ce qui concerne les engrais minéraux, une utilisation efficace exige entre autre une connaissance suffisante du mode d'emploi, des quantités économiques à appliquer et des formules équilibrées, etc. L'emploi des engrais est un des premiers pas dans le passage de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture moderne, et pour cette raison, il est considéré comme une pratique pionnière (lead practice), qui prédispose le cultivateur à adopter d'autres techniques modernes (à tel point qu'il a été démontré que la quantité d'engrais utilisée par ha constitue un indice bien fondé du progrès enregistré dans l'adoption de techniques modernes).

Pourtant, malgré les effets immédiats et souvent spectaculaires des engrais, il n'est généralement ni possible ni désirable de les appliquer en l'absence des autres facteurs agronomiques. L'effet complémentaire des facteurs de production est tellement supérieur à la somme de leurs effets isolés, que seul un ensemble approprié de technologies devrait être appliqué simultanément. Pour donner un exemple, le plus simple – la «révolution verte» est généralement associée avec l'adoption de variétés de céréales améliorées. Pourtant, il a été prouvé par de nombreuses expériences que l'effet de ces variétés potentiellement productives, sans appliquer en même temps des engrais minéraux, est généralement minime. L'utilisation d'engrais fait partie intégrante de la «révolution verte» au même degré que les variétés améliorées, et pour cette raison, elle est souvent nommée: «révolution variétés-engrais».

Il serait évidemment souhaitable de mettre en œuvre simultanément, *toutes* les pratiques agricoles considérées comme optimales. Entre les deux extrêmes – d'une part le «paquet» technologique complet, désirable en soi, mais peu réaliste, et, d'autre part, l'application d'une seule pratique améliorée telle que la fumure, relativement simple, mais peu efficace – il existe ce que l'on appelle la «Stratégie des besoins essentiels minima». Cette stratégie consiste à appliquer simultanément un nombre minimum de pratiques, qui, par interaction, produisent un effet appréciable, et à en introduire d'autres au fur et à mesure lorsque la situation le permet. Par exemple, l'application simultanée de variétés améliorées, d'une fumure appropriée, de semis à temps, en lignes et à densité optimales, et d'un désherbage soigné – toutes des pratiques relativement simples et n'exigeant pas d'investissements exagérés – peut donner une augmentation considérable des rendements.

Les conditions préalables et essentielles:

Il existe de nombreuses conditions sociales, économiques et d'infrastructure, sans lesquelles il est impossible d'appliquer efficacement l'ensemble des techniques améliorées ou sans lesquelles le cultivateur ne peut pas sur le plan pratique jouir des fruits de son investissement.

L'expérience a démontré que l'adoption de techniques nouvelles par des cultivateurs traditionnels, peut être relativement rapide si on réussit à créer la motivation nécessaire.

Quelques éléments qui stimulent cette motivation sont:

La *réforme agraire*, essentielle pour assurer au cultivateur de profiter des fruits de ses efforts; toutefois, il faut signaler que ce problème est beaucoup moins aigu en Afrique tropicale que dans les autres parties du monde en voie de développement.

Un système de *prix* raisonnable et stable, notamment pour les prix que le cultivateur reçoit pour ses produits agricoles et pour les prix des moyens de production essentiels – services et produits industriels que le cultivateur doit acheter. Malheureusement, pour des raisons politiques, la tendance quasi

2. *Factors impeding fertiliser use*

There are a series of factors which hinder the large scale use of fertilisers in tropical Africa at present. Their individual effect is significant, their combined effect often considerable.

Subsistence agriculture and subsistence economy versus a market oriented and monetised economy.

The economies of most countries in tropical Africa are characterised by a high proportion of a traditional, subsistence economy and a relatively small part of a market oriented and monetised economy. This form of a subsistence economy emerged over centuries and has one important objective i.e. to produce for the actual demand of the family. The two important production factors, labour (family labour) and land were amply available and the incentive to produce in excess of the family's demand existed only to enable people to barter for other essential commodities.

While the part of the agricultural production which remained within the subsistence economy amounted in 1962 to 57%, it is estimated that the figure dropped to 50% in 1972, and forecasts for 1985 still indicate 42% (FAO [2]). Despite a relative decrease of the subsistence economy it will in absolute terms still increase by 1.8% per year until 1985.

The subsistence economy has restrained cultivators from producing more than their family needed and prevented them from adopting more rapidly modern agricultural techniques. This phenomenon is not so much a result of a mental inertia but because insufficient cash was generated to afford the purchase of farm requisites and inputs including fertilisers and because market incentives were lacking. Even in more advanced forms of economies where subsistence agriculture is combined with agricultural production for the market, farmers will accord low priority to the financing of farm requisites and goods which could increase their production and productivity.

The motivation to use fertilisers in a subsistence economy is nil and it is still low in transitional forms where the marketing of agricultural productions is emerging only gradually and where fertiliser procurement does not rank as a priority.

Inadequate marketing arrangements

Although very significant developments have occurred in recent years in the field of establishing marketing structures for agricultural produce, there is still a long way to go to achieve producer prices conducive to development of the majority of crops in tropical Africa. While during the colonial period, which most countries in tropical Africa experienced, marketing arrangements were established for export commodities such as cocoa, coffee, palm oil and tea, it was left to the newly independent countries to build and expand their marketing systems for the supply of the domestic market and in order to meet the demand of a rapidly growing urban population.

With the exception of export commodities and a few products destined for the domestic market (rice) producers are in most countries not yet assured of market outlets and guaranteed prices for their production. Cropping seasons with a high output and low producer prices are succeeded by low outputs and high prices, thus reflecting the vagaries and risks with which small agricultural producers in Africa are shouldered.

It is therefore understandable that under these circumstances cultivators were and still are reluctant to improve their production methods by using inputs for which cash is required. A very major disincentive to use fertilisers on a large scale for food crops stems from the non-existent or inadequate market structure.

Lack of agricultural credit

Family budget surveys in several African countries south of the Sahara reveal that the total amount of cash earnings and consequently cash expenditures is still very low. According to the national accounts of various African countries (*FAO [3]*) a household budget amounts to US \$ 40–50; 50 to 70% of it is absorbed by expenditure on food. In rural areas, food (including home-grown produce) presumably absorbs from 60 to 80% of household budgets. Expenditure for farming activities even in the highly monetised cocoa areas of West Africa hardly exceeds 10%. In Togo e.g. (*SEDES [4]*) expenditure for farming activities exceeds 10% of the family budget only when gross revenues of the same budgetary unit exceed FCFA 100,000 (US \$450). In the context of his social and economic engagements and responsibilities a cultivator rarely accords priority to the purchase of farm inputs such as fertilisers and seeds. Very often it is the lack or insufficiency of cash money in the hands of a cultivator which prevents him from making such purchases.

One would therefore expect agricultural credit organisations to play a major role. Indeed efforts to establish agricultural credit structures and to promote credit operations in tropical Africa have been numerous. Again it was for export crops that farmers first received loans either in cash or in kind for instance for the purchase of insecticides for cocoa in Ghana. The loan was recovered after the delivery of the crop to designated marketing agents.

As an importance procedure in agricultural credit operations, namely the mortgaging of land owned by the farmer is not applicable in tropical Africa as a result of the peculiarities of land tenure, credit institutions, mainly established by governments, were content with less valuable collaterals or even none. The results were largely negative as this institutional agricultural credit had failed due to poor loan appraisal techniques, lack of credit supervision and failure to enforce debt collection. Many countries have, suspended agricultural credit schemes as a result.

Much more carefully planned and organised credit operations have since been launched in a few countries, whereby well organised marketing arrangements are used to recover seasonal and medium term loans. The cotton production schemes in several West African countries or the tea outgrowers schemes in East Africa are good examples how the financing of fertilisers, seeds and implements can be done on a seasonal credit basis, whereby the loan is recovered after the processing of the crop.

While these endeavours offer valuable prospects for agricultural credit in future, one has to admit that a large number of farmers have at present no agricultural credit nor any easy access to it though it is an almost indispensable prerequisite for the promotion of fertiliser use.

Poor fertiliser supply system

Farm input supply in general and fertiliser supply in particular are unsatisfactory in many countries of tropical Africa. While for plantations and government sponsored

agricultural production schemes fertiliser supply is organised in an efficient manner, producers of staple food crops such as maize, yam and sorghum often encounter insurmountable obstacles in procuring this input: Fertilisers are often ordered too late to be available before the planting season, commercial firms often maintain that the quantities, which can be sold in a certain area, are too small to justify a permanent distribution system, farmers are often unwilling to acquire fertilisers from distant supply centers, where cash payment is obligatory.

Transport difficulties and double handicap of landlocked countries

While coastal countries in Africa with sea port facilities have a relative advantage in the supply of fertilisers, landlocked countries who cover more than two thirds of the land area of West, Central and East Africa suffer from the double handicap of having to transport over long distances imported inputs in one direction and agricultural export products in the other.

Most of the hinterland countries like Chad, the Central African Republic, Rwanda and Burundi have only one major transport route to the nearest sea port. The case of Niamey, the capital of Niger is an illustration of the situation. Transport from the coast to Niamey passes over two routes one is the Abidjan–Ouagadougou rail and the Ouagadougou–Niamey road (1672 km) for which general transport tariffs are approximately FCFA 17,000 (US \$ 77)/ton, the other is the Cotonou–Parakou rail and Parakou–Niamey road (1031 km) for which general transport tariffs are FCFA 9000 (US \$ 41)/ton (*Willbur Smith and Ass. [5]*).

To an assumed c.i.f. price of US \$ 50 in Abidjan and Cotonou one has to add US \$ 77 (Abidjan–Niamey) and US \$ 41 (Cotonou–Niamey) respectively which would result in an economic, non subsidised fertiliser price of US \$ 91 in the best instance.

This handicap which other countries have in an even more serious form, will of course exist for ever, though it may become less severe as transport infrastructure improve. If one attempts to draw lines of equal economic (i.e. non subsidised) prices in Africa, taking the logistics and transport tariffs into account one arrives at isoprice lines which extend normally parallel to the coast with enclaves penetrating deeper into the hinterland when paved roads allow reduced transport charges.

Scarcity of foreign exchange

With the exception of a few cases most African countries south of the Sahara lack major mineral resources which would contribute to important foreign exchange reserves. Certain African countries have successfully developed the export of agricultural products thus securing a foreign exchange income to their economies.

With many countries seriously lacking foreign exchange for the purchase of investment and consumer goods from abroad, the allocation of foreign exchange for the procurement of fertilisers is often inadequate.

Worsening terms of exchange

As most tropical African countries obtain a large part of their foreign exchange earnings from the export of agricultural commodities, it is of paramount interest to

the governments concerned to see, how these foreign exchange earnings develop. While most countries are making strong efforts to promote the production of agricultural export crops, international commodity arrangements through quota systems often limit drastically national development efforts. Governments' interest also focusses therefore on the unit export prices which can be achieved for various commodities. It is disappointing to observe over the past 10 years a noticeable trend towards a worsening of the terms of trade of tropical African countries. With commodity prices hardly changing, and prices for imported investment and consumer goods rising, the real purchasing power of these countries is declining.

Low cropping intensity and shifting cultivation

Land resources in Africa south of the Sahara are not at present a constraint for the development of agriculture except for a few countries and regions where population density is already high (Burundi, Rwanda, South Eastern Nigeria, North Eastern Ghana, parts of Upper Volta). It is estimated (FAO [6]) that cropping intensity of the tropical part of Africa slightly exceeded 40% in 1972. This low intensity of land use is due to a large degree to the high percentage of bush or grass fallow and in the case of the savannah zones, to an extensive form of livestock grazing. With land still available for cropping, with a low population density and a high proportion of subsistence agriculture, the shifting of the crop area to newly cleared land is the least expensive and most labour intensive investment for maintaining a certain, admittedly low, level of production.

Shifting cultivation, still a widely practiced system in tropical agriculture, has been developed over many generations as a balanced biological system between vegetation and soil, which covered the food supply of a relative small population with the least economic effort. In fact, while a cleared plot may be used for up to six years in the rainforest zone of West and Central Africa, and while manual land clearing costs under secondary forest vegetation by costing family labour, may amount to US \$ 80 per ha, actual expenditure may be almost zero as all the labour needed is provided by the family.

For a given area and vegetation there will be a maximum population which can be supported indefinitely by the bush fallow or shifting cultivation system. Until this maximum population has been reached, and many areas in Africa have not reached it yet, the introduction of inputs such as fertilisers, which can raise the productivity per ha, will be seriously hampered. Any increase beyond this number upsets this delicate biological balance and forces people to choose between eroded, derelict and unproductive land or those modern farming techniques which can increase yields per ha without upsetting the biological balance in tropical soils.

Present land tenure

There is no individual landownership in a large part of tropical Africa. Land belongs to the tribal group or clan and the usufruct is usually given for a definitive period. Increasing population pressure has led in some countries and areas to the right to use the land indefinitely. Yet the incentive to make significant land improvements including the use of fertilisers under such a land tenure ship is relatively small.

Lack of improved practices

The introduction and use of fertilisers faces a number of natural constraints in Africa such as low or erratic rainfall and soil peculiarities. Fertiliser applied as a sole improved input does not always yield a satisfactory increase or economic return.

In most instances fertilisers can produce much higher yield increases when used in combination with other improved practices. The complete absence or slow introduction of those advanced cropping practices hampers fertiliser use on a large scale.

The traditional habit of farmers in the maize growing areas of West Africa e.g. to use very low planting density combined with broadcasting of fertiliser normally leads to insignificant yield increases. Ill chosen planting dates, inadequate weeding operations and, very often, considerable post harvest losses substantially reduce the real return on fertilisers and thus the incentive to use them.

Of particular importance in this context is the lack of high yielding varieties for a large number of tropical crops. With the exception of export crops and a few others destined for industrial processing, high yielding varieties are not available on a large scale to farmers.

Fertiliser Research

Although a growing number of research institutes and stations in tropical Africa are attaching increasing attention to fertiliser research, there exist a few weak elements in the existing agricultural research system with regard to fertiliser experiments.

Fertiliser research does not yet cover the, admittedly, large number of all tropical crops. It is understandable that priority had been given first to export and industrial crops, for which there was and is a strong motivation to use fertilisers. Food crops, and particularly those which are known as traditional staple crops, have in comparison been neglected. Only limited research results exist for cocoyam, bambara beans, millet or plantain which are major food crops in certain areas. There are few results for the fertiliser response of mixed cropping systems which are common in West and Central Africa.

Fertiliser experiments have so far been virtually confined to research stations. There are very few results, with the exception of those of the FAO Fertiliser Programme, from field trials where fertiliser rates, method and time of application have been tested under ordinary cropping practices of farmers. Long term experiments on NPK responses, especially on food crops, are almost not existent. It is recognised that such a research is more difficult and more time consuming. Due to the lack of continued supervision only part of the yield results can be statistically evaluated. Yet the value of such research data if they are derived from long term experiments is very high as they take a series of factors into account, which under the sophisticated system of research stations do not exist.

A third structural weakness of the present fertiliser research system is that results of fertiliser experiments are not effectively translated into the language of extension workers. Very often an extension officer with a low agricultural training is not qualified to make such an interpretation himself. Fertiliser research often ends with an indication of the yield response of individual nutrients, their interaction effect or residual effect. Economic evaluations are not always done and it is exactly this information which the extension service needs and which even illiterate farmers would be able to comprehend if they are presented in terms easily understandable to them.

Extension service

It is generally agreed that the number of agricultural extension officers in tropical Africa must be correlated with the number of farm families rather than the area actually cropped. On the basis of an average of 4.5–7.0 persons per farm family (*FAO [7]*) and on the assumption that a ratio of agricultural extension officer to 1000 farm families is reasonable in the present African context, the immediate and future demand for agricultural extension officers is substantial: Dahomey which has about 30 extension officers now, will require 130 more by 1985, Ethiopia will need 920 and Nigeria even 3600 more to meet this rather extensive target. These are the projections for general agricultural extension officers with a programme covering the entire agricultural innovations of the countries; fertiliser extension work will, as it does now, form only part of the overall extension activities. As experience has shown it is not only a question of the number of extension officers but also of their quality and the means at their disposal to perform their job. A lack of transport and of effective means for demonstrations and field days very often do not permit the full use of existing agricultural extension staff.

While the FAO Fertiliser Programme in a number of African countries has achieved significant results in promoting fertiliser use, it is regrettable that certain countries have not embarked on effective follow up programmes and actions.

Under these circumstances and with these prospects one must admit that – besides of product price relationships – the educational and agricultural extension aspects of fertiliser use are at present, and are likely to be for some time to come, the most important factors impeding fertiliser use in tropical Africa unless significant improvements in the number of extension officers and the quality of their work are made.

3. Factors favoring fertiliser use

There exist, however, also a number of factors which on a long run will compel countries in tropical Africa to adopt intensive farming practices more rapidly including the use of fertilisers on a larger scale.

Population increase

In 1970 the population of West, Central and East Africa amounted to 236 millions (*FAO [8]*). With an annual growth rate of 2.8% the population will reach 313 millions by 1980, 410 millions by 1990 and 541 millions by the year 2000. This expected growth rate, which is due to improved health conditions, will depend considerably on the way food production keeps pace with the population increase.

In tropical Africa three major forms of nutrition can be distinguished: In the Savannah zones of West and Central Africa south of the Sahara and in the East African Highland nutrition is based on grain (millet, sorghum, maize), while in the rainforest belt of West and Central Africa tuber crops and plantains constitute the base of the traditional diet. A nutritional system strongly based on pulses prevails in Rwanda, Burundi and adjacent areas of the neighboring countries Tanzania, Zaire and Uganda. Cereal production in tropical Africa will have to be increased from 25 million tons in 1972 to 45 million tons in 1985; root and tuber crop production from 40 million

tons to 68 million tons, sugar from 900 thousand tons to 2.4 million tons and pulses from 4 millions tons to 7 million tons. There will also be a sizable increase in the demand of agricultural commodities for industrial processing.

Although the cropping intensity has reached only 45% in 1971 it will, as a result of a fast growing population, increase rapidly. Parallel to it, measures aimed at raising the yields per ha will have to be applied on a large scale to avoid a widening of the already existing demand/supply gap. The use of high yielding varieties, the rational use of fertilisers and appropriate pest control and crop storage will figure prominently amongst the actions to be taken.

It is with this tremendous task in mind that FAO estimates (*FAO [9]*) that fertiliser consumption will increase to 662 thousand tons of plant nutrients by 1985 compared with 291 thousand tons in 1971. The importance of this figure is not in its absolute terms but in the indication of the magnitude of the problems which are still ahead. Despite numerous inponderables it can be reasonably assumed that cereals will be the heaviest fertiliser consumers followed by oil crops and export crops such as tea and coffee.

Economics of fertiliser use

The yield response and economics of fertiliser use have now been established for a number of tropical crops. The favorable benefit cost ratio frequently existing for such crops as rice, groundnuts, oil palms, tea and sugar should be sufficient incentives for producers. Large scale agricultural production schemes and plantations have very often spearheaded the use of fertilisers with the consideration in mind, not only to achieve higher output but to influence significantly production costs.

While a West African groundnut grower can now expect about FCFA 120 (US \$ 0.55) per manday employed under traditional cropping practices his return per manday is increased to FCFA 250 (US \$ 1.14) with the use of 40 kg plant nutrient per ha.

While the terms of trade for agricultural export crops are worsening it is of particular importance to have these means available to improve their competitive position.

Foreign exchange saving and earning

Agriculture will be for a considerable time to come the economic sector which will make the largest contribution in earning foreign exchange in most African countries south of the Sahara. About 60% of the value of export from the West, Central and East African countries is of agricultural origin; more than half of the marketed agricultural production is exported. Certain countries are particularly dependent on agricultural exports. In the case of Senegal one monetary unit employed in form of fertilisers for groundnuts yields a return of 3.36 monetary units in foreign exchange. In the case of Ghana one monetary unit in form of fertilisers for rice allows foreign exchange savings of 5.4 units by substituting domestically produced rice for imported.

Conclusion

Summing up the present situation of and the prospects for more intensive fertiliser use in tropical Africa one must state that there still exist important obstacles impeding

the large scale use of fertilisers. The most outstanding obstacles are a lack of technical knowledge on the level of farmers as a result of an inadequate extension service, a lack of assured markets and guaranteed prices for agricultural products, the absence of credit on reasonable terms and an inadequate fertiliser distribution system.

A fast growing population and an even more rapid growth of the urban population which will lead to a substantial increase in the food demand, will be the most important long term incentives for an intensive use of fertilisers. In addition a growing awareness of the positive role fertilisers can play in the context of foreign exchange earning and saving, will induce countries to a greater use of fertilisers.

References

1. *FAO: Annual Fertiliser Review 1971*, p. 47 (1972).
2. *FAO: World Indicative Plan, Volume I*, p. 23 (1968).
3. *FAO: World Indicative Plan, Volume I*, p. 33 (1968).
4. *SEDES: Programme de Développement des productions de cacao et café, tome II*, p. 47 (1972).
5. *Wilbur Smith and Ass.: Entente States Highway Feasibility Study*, 1971.
6. *FAO: Land and Water Resources Development in Africa, Working Paper*, p. 1, 1972.
7. *FAO: World Indicative Plan, Volume I*, p. 352 (1968).
8. *FAO: Production Yearbook 1971*, pp. 18-19 (1971).
9. *FAO: World Indicative Plan, Volume II*, p. 576 (1968).

Le rôle des engrais dans le développement économique général et les obstacles à l'intensification de l'emploi des engrais en Afrique tropicale

R. W. Steiner, FAO

Version abrégée

En 1971, la consommation mondiale d'engrais se montait à 67,9 millions de tonnes d'éléments nutritifs; la part de l'Afrique tropicale n'était que de 291 000 tonnes ou de 0,4%. Il existe actuellement un certain nombre d'obstacles majeurs qui empêchent l'emploi des engrais sur une large échelle. Les stimulants du marché sont insuffisants et le roulement des capitaux en espèces est trop faible en raison d'une proportion encore élevée d'agriculture de subsistance, pour encourager les agriculteurs à adopter plus rapidement des techniques de culture modernes, y compris l'emploi rationnel des engrais. De plus les agriculteurs ne disposent toujours pas de connaissances techniques suffisantes et la vulgarisation agricole ne touche qu'un petit nombre d'entre eux. Dans beaucoup de pays ces obstacles sont aggravés par une insuffisance des crédits agricoles et la désuétude des systèmes d'épandage d'engrais. Cependant, la demande d'engrais en Afrique tropicale est importante et augmentera sous l'effet du taux élevé de croissance démographique. Dans la plupart des pays d'Afrique tropicale il est nécessaire d'accroître la production des produits d'exportation et de substituer les importations d'aliments par une augmentation de la production domestique, afin d'améliorer la situation des échanges avec l'étranger.

Rapport du coordonnateur de la 4^e séance de travail

Prof. *P. Quintanilla Rejado*, Subdirector general de mejora de la calidad y defensa contra fraudas
Ministerio de Agricultura, Madrid/Espagne;
Membre du Conseil Scientifique de l'Institut International de la Potasse

En accord avec son titre, les communications de la quatrième séance furent divisées en deux parties. La première traita du rôle de la recherche scientifique pour le développement de la consommation d'engrais, et, la deuxième, du rôle de la vulgarisation dans ce même secteur. Dans la première partie on nous a présenté les moyens mis en œuvre en vue de l'organisation et de la programmation de la recherche agronomique en Côte d'Ivoire. Il fut fait état des bonnes relations qui existent entre le gouvernement de ce pays et les organisations étrangères, en particulier, le GERDAT et l'ORSTOM. Il n'y a aucun doute que les nouvelles méthodes de planification augmenteront encore l'efficacité de toutes les organisations impliquées.

Dans ce secteur on a relevé le grand intérêt que présente pour tous les pays la formation de chercheurs nationaux en vue du développement de la recherche, ainsi que l'importance toujours croissante qu'on attribue à la coopération dans le domaine de la recherche entre les pays africains.

Un but d'une extrême importance est de diminuer la période entre le moment où l'on dispose des résultats scientifiques et celui de la mise en valeur des données disponibles en faveur de l'agriculture pratique.

Au cours de la seconde partie de la quatrième séance de travail on nous a présenté des idées très intéressantes sur les méthodes pour l'introduction de la fertilisation. Nous avons vu que tout effort de vulgarisation agricole doit tenir compte du régime de subsistance (autoconsommation) qui prédomine encore, ainsi que du niveau d'éducation généralement peu élevé qui caractérise l'agriculture africaine. Ceci est valable surtout aussi quand il s'agit d'intensifier la consommation d'engrais.

D'autres problèmes sont constitués par le risque que présente l'emploi des engrais dans un régime de subsistance, par la promotion de l'agriculture en groupe, par le rôle important que la jeunesse agricole peut jouer en acceptant les nouvelles techniques ainsi que par la nécessité absolue de disposer d'engrais dont les prix assurent la rentabilité des exploitations agricoles.

Il n'y a pas de doute que l'éducation des agriculteurs constitue un problème social, qui doit être résolu en premier lieu au profit de l'agriculture africaine. A ces fins, il faut créer des services de vulgarisation appropriés et dotés de spécialistes africains qui sont animés d'un grand esprit de dévouement et de compréhension.

Ce n'est qu'à partir du moment que l'on disposera de tels services qu'on peut songer à introduire de nouvelles techniques d'exploitation, parmi lesquelles la fertilisation constitue l'une des plus importantes. Pour développer la fertilisation et pour la main-

tenir à un niveau efficace, il sera indispensable d'assurer la vente des produits agricoles à des prix intéressants et en quantités suffisantes. Ceci est vrai aussi bien pour les produits d'exportation que pour ceux destinés au marché intérieur. Les gouvernements devront mettre à disposition des crédits et faciles à obtenir à des taux d'intérêt convenables, sans complications bureaucratiques qui, souvent, causent un préjudice non réparable au développement agricole. Il sera également nécessaire d'assurer à tout moment un système de distribution stable et bien organisé dans le domaine des engrais.

Nous devons nous rappeler à tout moment que l'agriculture n'est pas une question de choses, mais fondamentalement d'êtres humains et c'est précisément cet aspect humain du problème qui nous oblige de penser et, surtout, d'agir.

Discours conclusif

Son Excellence, M. J. G. Lorougnon Guédé, Ministre de la Recherche Scientifique de la République de Côte d'Ivoire

Monsieur le Président,
Mesdames et Messieurs,

Au terme du dixième Colloque de l'Institut International de la Potasse, une fois de plus, je tiens à vous remercier: – Vous, Président *Chaudet*, qui avez voulu que votre Congrès, pour la première fois, ait lieu en Afrique; – et vous, chers amis Délégués, qui êtes venus d'Asie, d'Europe, de Cuba et d'Afrique, non seulement pour nous apporter un message d'amitié, mais encore et surtout, pour nous faire part des résultats de vos patients efforts de recherche, dans le domaine de la fertilisation potassique, en zones intertropicales.

A dire vrai, votre Colloque n'aura ni failli à son devoir, ni dérogé à sa tradition. En effet, le sérieux avec lequel vous avez réussi la gageure de réaliser le programme de travail astronomique qui était le vôtre ne peut que forcer notre admiration. De plus, le haut niveau scientifique qui a caractérisé toutes les communications présentées et l'excellente qualité des débats que ces dernières ont suscités montrent, tout simplement, Mesdames et Messieurs, que vous savez travailler vite et bien.

Les échos que j'ai eus de vos travaux me conduisent à vous livrer mes impressions, au niveau de trois domaines: *les méthodes de recherche, le contenu de certains programmes à développer et les possibilités d'accroissement de la coopération scientifique régionale ou inter-régionale.*

En ce qui concerne les méthodes, je me placerai successivement dans trois perspectives: celle du gestionnaire de la Recherche, celle du chercheur et celle du vulgarisateur.

– Le gestionnaire de la Recherche ne peut que souhaiter voir s'accroître l'efficacité des dispositifs expérimentaux utilisés pour une valorisation optimale des moyens disponibles en hommes et en matériel.

– Au niveau du chercheur, la nécessité d'une approche dynamique des problèmes liés à la fertilisation potassique implique, évidemment, un minimum de pérennité dans les expériences réalisées.

– Enfin, le vulgarisateur attend qu'en matière de préconisation de fumure lui soient proposées des méthodes de diagnostic qui soient aussi adaptées que possibles aux différentes cultures concernées et aux systèmes de cultures en cause. A ce point de vue, la sauvegarde des intérêts du petit paysan me paraît capitale et, je me permets de souhaiter que fasse tâche d'huile la préoccupation que vous avez de la rentabilité réelle de la fumure.

Parmi les thèmes de recherche qui me paraissent présenter un intérêt particulier et qui, de ce fait, méritent un développement privilégié, indépendamment, bien sûr, de ceux que j'ai évoqués dans mon allocution d'ouverture, deux ont surtout retenu mon attention : – le premier concerne les diverses modalités de fourniture de potassium aux sols, avec les conséquences qu'il faut en retenir pour l'affinement des méthodes de diagnostic ; – le second thème intéresse les relations entre le potassium et l'efficacité de l'utilisation de l'énergie lumineuse. Ce dernier thème paraît particulièrement important pour les régions tropicales humides et équatoriales, régions pour lesquelles nous savons que des facteurs limitants peuvent surgir à ce niveau du métabolisme de la plante.

L'étendue des questions que vous avez abordées pose, naturellement, des problèmes de moyens, pour que soient effectuées à temps les recherches nécessaires, dans les domaines jugés prioritaires au double plan de l'intérêt scientifique et de l'utilité pour le développement de nos pays. A ce propos, ma conviction profonde est que ces problèmes spécifiques ne trouveront une solution ou une approche de solution satisfaisante que dans la mesure où un sérieux effort aura été déployé dans le sens d'une réelle coopération scientifique entre pays intertropicaux appartenant à des zones écologiques analogues, pays dont les problèmes sont, a priori, identiques. Dans ce contexte, il importe, à mon avis, de respecter trois étapes :

– D'abord, il conviendrait d'accélérer la circulation de l'information scientifique, en faisant, notamment, l'effort nécessaire de traduction des publications, ce qui contribuerait à dissoudre les barrières linguistiques.

– La seconde étape pourrait être celle de la définition d'un langage commun, en matière d'identification des activités de recherche, en tant que programmes.

– Enfin, la dernière étape pourrait permettre de dégager les points de convergence des priorités nationales, afin que la coopération scientifique apparaisse comme étant profondément enracinée dans les préoccupations de chaque partenaire et non comme étant l'expression platonique de volontés supranationales désincarnées et exogènes. C'est donc à une coopération scientifique basée sur des programmes prioritaires bien définis que nous devrions aspirer. Et je suis heureux de vous dire que mon pays est prêt à franchir les étapes nécessaires, dans cette voie, avec ceux qui voudraient bien nous y rejoindre.

Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, nous savons que votre séjour, parmi nous, est trop bref. Mais, grâce aux contacts que vous avez noués avec les membres de la communauté scientifique ivoirienne et, surtout, grâce aux visites que vous avez faites dans quelques Instituts de Recherches Agronomiques, nous pensons vous avoir donné l'occasion de toucher du doigt l'essentiel de nos préoccupations qui se ra-

mènent toutes à des problèmes de développement: Aussi, notre Chef d'Etat vénéré, le Président *Félix Houphouët-Boigny*, le Parti Démocratique et le Gouvernement de Côte d'Ivoire attendent-ils beaucoup de la Science et de la Technologie, pour l'amélioration de la qualité de vie du citoyen ivoirien et, notamment, pour une évolution harmonieuse du monde rural.

Vive l'Institut International de la Potasse,

Vivent la compréhension, l'entente et la coopération internationales!

Discours de clôture

P. Chaudet, Ancien Président de la Confédération Helvétique; Président de l'Institut International de la Potasse, Berne/Suisse

Monsieur le Ministre de la Recherche Scientifique,
Messieurs les Ministres,
Messieurs les Directeurs des Stations de recherche agronomique de Côte d'Ivoire,
Messieurs les Directeurs généraux des Sociétés de développement de Côte d'Ivoire,
Messieurs les membres du Conseil scientifique de l'Institut International de la Potasse,
Messieurs les Présidents et Coordonnateurs des séances du Colloque,
Messieurs les Conférenciers,
Mesdames et Messieurs,

Au moment de prononcer la clôture officielle du Colloque d'Abidjan, il ne m'appartient pas de revenir sur les conclusions tirées de vos débats par les scientifiques responsables de vos travaux. Il me suffit de constater avec satisfaction que les résultats du Colloque ont répondu aux espoirs de ses organisateurs. Il en découlera une impulsion nouvelle non seulement sur le plan de la recherche, mais aussi sur celui des relations établies avec les représentants des pays tropicaux et subtropicaux, qui auront trouvé – je l'espère – dans ces contacts d'une semaine le désir de les renouveler et d'associer leurs efforts et leurs expériences à ceux qui s'accomplissent ou s'éprouvent dans les pays européens.

Si je n'ai pas à revenir sur le contenu des exposés et des discussions du Colloque, il m'incombe de dire ici à de nombreuses personnalités la reconnaissance du Conseil d'Administration de l'Institut International de la Potasse. J'hésite à citer nommément tous ceux à qui nous devons cette gratitude, car je crains de commettre un impair. Allant à l'essentiel, j'exprime tout d'abord à Son Excellence Monsieur le Président *Félix Houphouët-Boigny*, le père de cette patrie, nos compliments les plus respectueux. Nous savons l'œuvre considérable accomplie par l'homme d'Etat qui est si fortement enraciné dans la terre de son pays et qui a fondé son action gouvernementale sur les réalités vraies et profondes de la vie rurale, source des richesses morales et matérielles d'un peuple qui peut y trouver toujours les moyens de se renouveler. Nous devons à la compréhension bienveillante de Monsieur le Président de la République d'avoir pu tenir nos assises en Côte d'Ivoire et d'y avoir bénéficié d'un accueil auquel nous sommes particulièrement sensibles. Nous formons des vœux pour le bonheur personnel de Son Excellence Monsieur *Houphouët-Boigny*, pour la prospérité de la nation

ivoirienne et de son peuple, pour les amitiés nouées au cours de ce Colloque et qui trouveront un prolongement dans une collaboration aussi étroite que fructueuse. Notre reconnaissance va ensuite à Monsieur le Ministre *Lorougnon Guédé*, qui a bien voulu assumer la présidence du Colloque et qui en a si éloquemment défini l'esprit et les orientations. Il a situé de la sorte l'appui des membres du Gouvernement qui nous ont honoré de leur intérêt et qui ont soutenu nos efforts quant à l'organisation de la rencontre et aux conditions de son succès.

Il me plaît de souligner encore les contributions de pensée ou de fait de Monsieur le Recteur de l'Université d'Abidjan, de Messieurs les Directeurs des Stations de Recherches et des Centres, de Messieurs les Conférenciers ou Auteurs de communications, de Messieurs les Présidents et Coordonnateurs des séances, de Messieurs les membres du Comité préparatoire, singulièrement Monsieur le Professeur *Drouineau*, enfin des Directeurs de l'Institut et de toutes les personnes qui ont œuvré à leurs côtés pour préparer le programme de nos travaux et en assurer le meilleur développement. Je n'ai garde d'oublier dans cette énumération nos interprètes et les charmantes hôtes qui ont pris soin d'étancher, en plus d'une soif de savoir, une soif physique que le climat de ce pays ne pouvait que rendre parfois très vive.

Il m'est agréable de constater que nous mettons fin à notre Colloque avec le sentiment de tourner une page heureuse, car elle est celle d'une grande satisfaction pour les chercheurs qui sont à l'œuvre dans leurs champs respectifs d'activité. – L'unité de vues à laquelle conduit le travail du scientifique relie naturellement les hommes à travers les frontières nationales et les continents. Mais il est bon d'en prendre conscience dans une rencontre où la confrontation des données et des opinions revêt un caractère de complémentarité. – La diversité des conditions dans lesquelles s'appliquent des règles communes éloigne pour chacun le risque de s'attacher à des absolus qui seraient le signe d'un repliement sur soi-même. Le sens d'une communauté de destin se forge en réalité dans cette vision plus générale de ce qui marque les différentes régions du monde, les particularités de leurs sols, de leurs climats, de leurs statuts agrologiques et hydrologiques aussi bien que des besoins auxquels ont à répondre les productions végétales ou animales. Les échanges d'un Colloque ont cet immense avantage de révéler aux uns et aux autres les facteurs d'une recherche agronomique axée sur des exigences locales et pourtant conduite en vue d'un progrès de portée générale. Ils permettent de dégager les implications des méthodes de fertilisation sur le développement d'une agriculture moderne, adaptée non seulement aux conditions climatologiques, mais encore aux conditions économiques et sociales des pays concernés.

L'intérêt extrêmement actif qui a été manifesté dans cet auditoire par les chercheurs du continent africain a répondu à la nécessité que nous pressentions en choisissant Abidjan comme lieu du Colloque, à savoir qu'il était temps d'ajouter à nos publications et à nos communications écrites les moyens du contact personnel et direct. Il en résultera sans nul doute un élargissement des activités et de l'influence de l'Institut International de la Potasse, dont les vingt ans d'existence et de développement trouvent dans cette circonstance une consécration, la perspective d'un nouvel élan et la consigne d'un effort nécessaire. Des horizons se sont élargis. Nous ne les perdrons pas de vue dans l'élaboration de nos programmes d'avenir.

Nous allons quitter Abidjan avec le souvenir lumineux d'un beau pays et d'un peuple en marche vers un destin prometteur. Nous garderons à l'esprit l'impression réconfortante de l'accueil qui nous a été réservé, de l'amitié qui nous a été témoignée,

de la volonté qui s'est exprimée ici d'agir au service de la communauté humaine, d'assurer sa promotion au bonheur par un progrès subordonné aux impératifs de valeurs élevées.

Je vous souhaite à tous un bon retour dans vos foyers, une heureuse nouvelle année et le succès de vos travaux.

Le Colloque d'Abidjan est terminé.