

## 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 hévée 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  $\frac{\text{Mg}}{\text{K}}$  et  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$ : 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
Banancier .....	4	$\frac{\text{Mg}}{\text{K}}$	25
Caféier Robusta .....	2,1	$\frac{\text{Mg}}{\text{K}}$	3,8, uniquement si $\text{K} < 2,5\%$ de S.B.E.
Cotonnier .....	3	$\frac{\text{Mg}}{\text{K}}$	?
Banancier .....	?	$\frac{\text{Mg} + \text{Ca}}{\text{K}}$	40 à 50
Caféier Robusta .....	18	$\frac{\text{Mg} + \text{Ca}}{\text{K}}$	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:  $\text{K échangeable} = 0,14 \text{ méq./100 g}$ ,  $\text{K total} = 34 \text{ méq./100 g}$  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	$\frac{\text{K échangeable}}{\text{K total}}$ %
Sol ferrallitique jeune sur migmatite	0-14 (A <sub>1</sub> )	0,14	23,75	0,58
	30-40 (B)	0,11	22,53	0,18
Vertisol	0-10 (A <sub>1</sub> )	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 <sub>11</sub> )	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 recouvrir 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 feuillets 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.

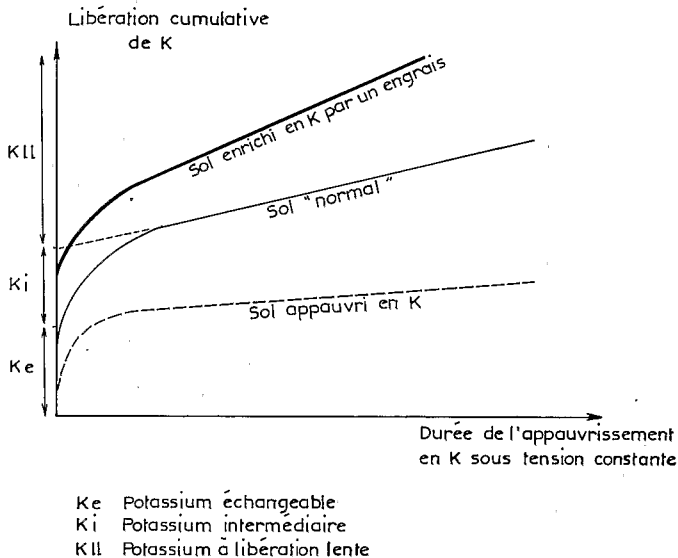


Fig. 1. Libération du potassium dans des conditions d'appauvrissement constant et rigoureux (d'après Becket [11]).

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 inférieures 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-pâturage 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 Wambeke [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

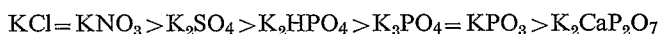
On a vu précédemment qu'un certain nombre de cations, principalement l'hydrogène, l'ammonium et l'aluminium avaient la propriété de se fixer sur des sites d'échanges possibles pour le potassium et, fait plus grave, d'être difficilement substitué par ce dernier élément sur le complexe absorbant.

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.

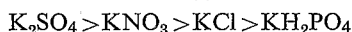
#### 4.2.3. Importance de l'anion des engrais

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 ( $\text{PO}_4^{---}$ ) [26], tandis que le chlore et le radical  $\text{NO}_3^-$  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<sup>e</sup> 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.*: Alimentation 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. *Frémont 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'Eloéis à Yangambi. Pub. 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<sup>e</sup> 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, Bambev. Doc. int. CRA Bambev inédit, 1969.
57. Ramos M.: Influencia do calcio sobre a potassio assimilavel em 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. Schuffeleu 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., Jacquimot 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'Ivoloina (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 Gieseck 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.