

COLLOQUE FAO / IAEA  
SUR L'EMPLOI DES RADIOISOTOPES ET DES RAYONNEMENTS DANS  
LA RECHERCHE SUR LES RELATIONS SOL-PLANTE

VIENNE, 13-17 décembre 1971

---

POTASSIUM ET CALCIUM LABILES  
DANS QUELQUES TYPES DE SOLS TROPICAUX

C. MASOZERA  
(Centre Nucléaire TRICO  
République du Zaïre ) .

S. BOUYER  
( SSC O.R.S.T.O.M., France)

POTASSIUM ET CALCIUM LABILES  
DANS QUELQUES TYPES DE SOLS TROPICAUX

C. MASOZERA  
(Centre Nucléaire TRICO  
République du Zaïre )

S. BOUYER  
(SSC O.R.S.T.O.M. France)

RESUME

La fraction labile du potassium et du calcium de divers types de sols tropicaux, déterminée par dilution isotopique à l'aide de  $^{42}\text{K}$  et de  $^{45}\text{Ca}$ , est plus élevée que la fraction dite échangeable, déterminée par la méthode classique à l'acétate d'ammonium.

Ce fait permet d'expliquer que certains sols, que l'on pourrait considérer comme très pauvres en potassium d'après la fraction échangeable, sont en réalité suffisamment bien pourvus et n'ont pas toujours besoin d'une fumure potassique ; cette fumure devient nécessaire lorsque les réserves en potassium labile sont très faibles.

On s'explique aussi que, sur des sols pauvres en calcium échangeable, la nutrition calcique des plantes puisse cependant être satisfaisante, si la réserve en calcium labile est suffisamment importante.

---

## INTRODUCTION

Les techniques isotopiques sont très largement utilisées en chimie du sol depuis une vingtaine d'années ; elles ont permis de préciser la fraction d'un élément du sol qui est labile sans que l'on soit obligé de l'extraire par un réactif chimique, de caractériser les équilibres qui s'établissent entre phase solide et phase liquide (solution du sol), de mieux suivre l'évolution de cet élément dans le sol en fonction des facteurs naturels de la pédogenèse ou des interventions humaines (fixation - rétrogradation - mobilisation - absorption par les plantes - etc...) C'est surtout l'étude du phosphore qui a bénéficié des avantages de ces techniques, en raison des caractéristiques favorables de son isotope  $^{32}\text{P}$ , mais également celles de l'azote, du carbone, du calcium, de certains oligoéléments. Les études sur le potassium ont été beaucoup moins nombreuses, en raison des difficultés d'utilisation de ses isotopes ; et cependant il s'agit d'un élément dont la dynamique dans le sol pose encore bien des problèmes.

C'est une étude de ce genre, relative à la dynamique du potassium ainsi que du calcium dans les sols tropicaux, qui est présentée dans cette communication. Cette étude est incomplète ; mais les résultats obtenus permettent de dégager de nouvelles orientations possibles qui pourraient se révéler intéressantes.

### 1 - OBJECTIFS ET PRINCIPES DE CETTE ETUDE

Certains sols tropicaux sont caractérisés par une teneur très faible en potassium échangeable, déterminée par la méthode à l'acétate d'ammonium normal à  $\text{pH} = 7$  ; c'est le cas en particulier des sols ferrugineux tropicaux sableux, très fréquents en Afrique de l'Ouest, et de certains sols ferrallitiques désaturés. Or cette teneur est considérée comme l'un des indices de fertilité à partir desquels on formule des recommandations de fumure.

Cependant des expérimentations récentes ont montré que, dans ces terrains, la fumure potassique reste parfois inefficace et qu'elle peut même avoir des effets dépressifs sur le rendement de certaines cultures ; ces sols ont donc la possibilité de fournir aux cultures du potassium en quantité plus importante que ne le laisse penser la teneur faible en K échangeable.

Comme pour le phosphore, on peut caractériser la dynamique du potassium dans le sol par les facteurs suivants :

- le facteur intensité, qui correspond à la teneur en potassium dans la solution du sol ;

- le facteur quantité (ou capacité), qui est la fraction du potassium total qui est labile, c'est-à-dire qui peut être facilement libérée par le sol et venir renouveler le potassium de la solution du sol ; K échangeable ne représente qu'une partie de ce potassium labile ; de même que l'on désigne par valeur E le facteur quantité dans le cas du phosphore, de même on peut désigner par  $E_k$  la quantité de potassium labile, déterminée en laboratoire ;

- le facteur cinétique , qui correspond à la vitesse de renouvellement du facteur intensité par le facteur quantité.

C'est l'étude de ces facteurs qui est envisagée dans cette communication, et l'emploi de l'isotope  $^{42}\text{K}$  offre, à cet effet, un grand intérêt.

Rappelons que le potassium labile  $E_k$  sera donné par la formule :

$$E_k + K = \frac{R}{r} k$$

dans laquelle :

- K désigne la quantité d'entraîneur  $^{39}\text{K}$  introduite dans le système ;
- R la radioactivité sous forme de  $^{42}\text{K}$  introduite également dans le système
- k et r respectivement les quantités de  $^{39}\text{K}$  et de  $^{42}\text{K}$  présentes dans une partie aliquote du système (1 ml de phase liquide par exemple) après réalisation de la dilution isotopique.

Comme il existe un problème un peu similaire pour l'élément calcium dans ces sols, nous avons également déterminé le calcium labile  $E_{\text{Ca}}$ .

## 2 - PLAN EXPERIMENTAL

Dans cette première étude nous avons fait intervenir le temps d'agitation nécessaire pour obtenir l'équilibre isotopique d'une part, et le type de sol d'autre part.

Dans le cas du potassium, où la dilution isotopique semble se réaliser très rapidement, les temps retenus ont été 2 - 4 - 6 et 8 heures.

Dans le cas du calcium par contre, il a fallu prévoir des temps d'agitation allant jusqu'à plusieurs semaines.

Quatre sols ont été choisis :

- un sol ferrugineux tropical peu lessivé du Niger (sol dunaire de la station agronomique de TARNIA), fortement sableux, relativement pauvre en éléments échangeables et dans lequel la fumure potassique est inefficace sur une culture d'arachide ;
- un sol ferrugineux tropical peu lessivé du Sénégal (type Dior prélevé sur un point d'essai), également sableux et pauvre, mais dans lequel la fumure potassique est efficace ;
- un sol ferrallitique de Madagascar, formé sur gneiss (AMBATOBE), très désaturé et pauvre en éléments échangeables, où la fumure potassique a un effet positif ;
- un sol ferrallitique de Madagascar, formé sur basalte ( AMBOHIMANDROSO), désaturé et pauvre en base, et où la fumure potassique a également un effet positif.

Le mode opératoire a consisté à agiter 12,5 g de sol en présence de 50 ml d'une phase liquide contenant l'isotope radioactif  $^{42}\text{K}$  ou  $^{45}\text{Ca}$  .

Ces isotopes radioactifs étaient introduits en présence de l'isotope stable correspondant utilisé comme entraîneur. Après réalisation de la dilution isotopique par agitation, la phase liquide a été séparée par filtration et on y a dosé la radioactivité (r) et la teneur en isotope stable (k). En raison de la période très courte de  $^{42}\text{K}$ , il a été nécessaire de ramener par le calcul toutes les radioactivités r aux valeurs qu'elles auraient eu à un même temps  $t_0$  .

Dans le calcul des valeurs  $E_{\text{K}}$  et  $E_{\text{Ca}}$  du sol, il a évidemment été tenu compte des quantités d'entraîneur introduites.

L'étude a été effectuée avec quatre répétitions et la reproductibilité des résultats a été satisfaisante.

Des phases liquides témoins, préparées dans les mêmes conditions mais sans mise en contact avec le sol, ont permis de déterminer la radioactivité totale R introduite dans le système.

### 3 - RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION DE CES RESULTATS

#### 3.1. Cas du potassium

##### 3.1.1. Influence du temps d'agitation sur la dilution isotopique.

Tableau 1 - Valeur  $E_K$  du potassium labile en fonction de la durée de l'agitation  
(Cas du sol ferrugineux tropical du Niger : TARNA)

: Durée de l'agitation	: $E_K$ exprimé en p.p.m.	:
: 2 heures	: 79,1	:
: 4 heures	: 75,1	:
: 6 heures	: 74,1	:
: 8 heures	: 76,2	:

La quantité de potassium labile reste sensiblement constante lorsque le temps d'agitation varie de deux à huit heures ; dans une autre expérience nous avons d'ailleurs constaté que l'on atteint déjà la même valeur pour une durée d'agitation de une heure seulement.

Il existe donc une certaine quantité de potassium, très labile, qui peut être mise en évidence en un temps court par le phénomène de dilution isotopique. Il est vraisemblable cependant qu'il existe aussi dans ce sol d'autres formes de potassium moins labiles, qui pourraient être touchées par la dilution isotopique, si l'on réalisait une agitation beaucoup plus longue ; mais il ne nous a pas été possible de les mettre en évidence, en raison de la valeur faible de la période de radioisotope  $^{42}K$ .

Ces résultats, qui sont représentés graphiquement sur la Figure 1, sont conformes à ceux qui ont été obtenus par C. TENDILLE, J. GRENIER de RUERE et G. BARBIER (1956) sur divers sols de France.

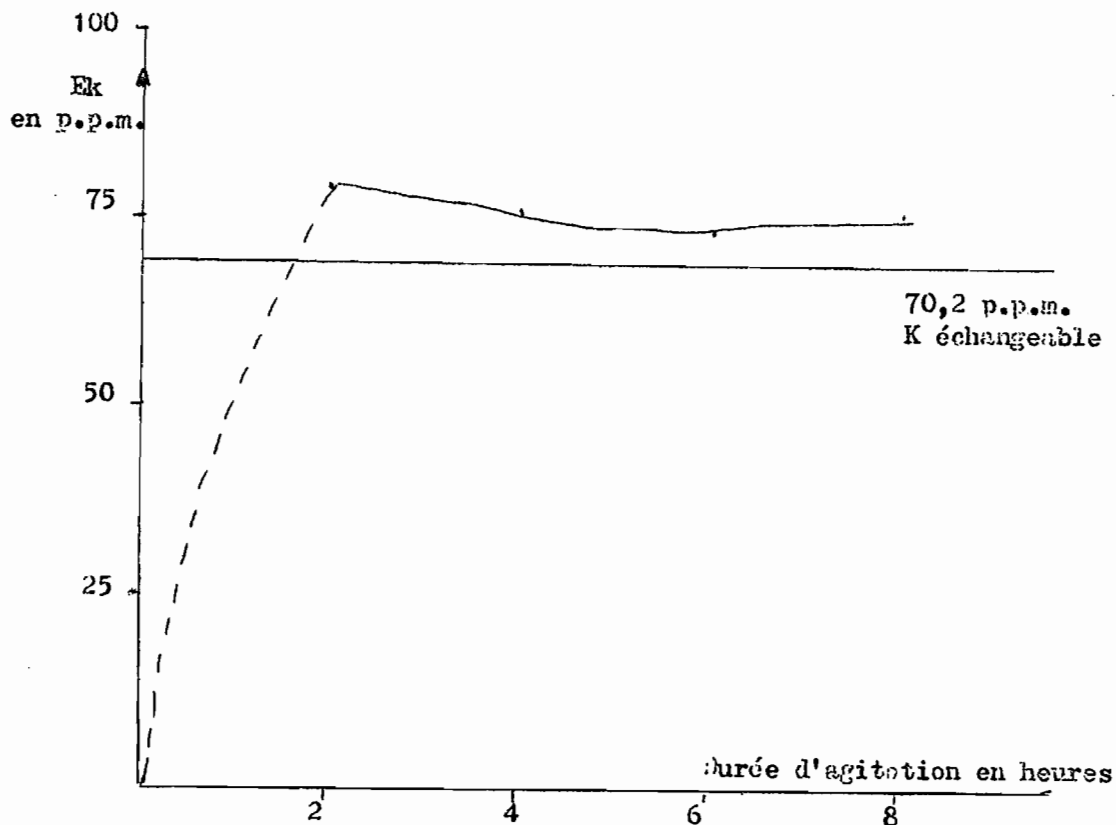


Figure 1 - Dilution isotopique du potassium en fonction de la durée de l'agitation. (cas d'un sol ferrugineux tropical du Niger : TARNA).

3.1.2. Influence du type de sol.

Tableau 2 - Valeur  $E_K$  du potassium labile de quelques sols tropicaux.

Sols	$E_K$ en p.p.m.	K échangeable en p.p.m.
Ferrugineux tropical du Niger (TARNA)	79,1	70,2
Ferrugineux tropical du Sénégal (Dior)	27,3	17,6
Ferrallitique sur gneiss de Madagascar (AMBATOBE)	67,8	31,2
Ferrallitique sur basalte de Madagascar	114,3	64,4

Dans tous les cas, la valeur  $E_K$  du potassium labile est supérieure à la quantité de potassium échangeable, déterminée par la méthode classique à l'acétate d'ammonium normal à pH 7.

La différence est relativement importante dans le cas des sols ferrallitiques, où l'altération des minéraux potassiques est rapide ; il existe, dans ces sols, sensiblement autant de potassium labile en un temps court sous une forme non encore adsorbée par le complexe colloïdal que de potassium labile déjà adsorbé (K échangeable) ; le renouvellement du potassium échangeable est donc assuré ; mais, comme en réalité les quantités de potassium mises en jeu sont assez faibles (ex. 31,2 p.p.m. de K échangeable pour le sol d'AMBATOBÉ correspondant à 0,08 me/100 g), le terrain est trop pauvre et la fumure potassique est efficace, comme l'ont montré les expérimentations effectuées à Madagascar.

Dans le cas des sols ferrugineux tropicaux sableux, la réserve en potassium des minéraux altérés, labile mais pas encore adsorbée, est nettement plus faible : 10 p.p.m. seulement dans les deux sols du Niger et du Sénégal considérés. Mais, comme nous le signalons précédemment pour le sol de TARNA, il doit exister d'autres formes de potassium, moins labiles, mais susceptibles de renouveler le potassium échangeable, que l'on mettrait en évidence en réalisant une dilution isotopique plus complète par une agitation prolongée. Ce sol de TARNA, en effet, est riche en potassium total (2,96 pour 1000, soit 2960 p.p.m. de K) et il assure de bonnes récoltes en arachide et mil, sans qu'il soit nécessaire de lui apporter une fumure potassique ; cette dernière provoque même parfois des effets dépressifs sur le rendement en arachide, bien que la teneur en potassium échangeable (0,18 me/100 g de sol) ne soit pas très élevée. On a donc là un exemple de sol pour lequel la teneur en potassium total a au moins autant d'importance, comme indice de fertilité, que la teneur en potassium échangeable, et pour lequel la technique de dilution isotopique est susceptible de préciser le problème de la libération de cet élément à partir des minéraux originels.

Nous signalerons pour terminer que le sol ferrugineux tropical du Sénégal (Dior) est moins riche en potassium total, le renouvellement du potassium échangeable doit s'effectuer plus difficilement (0,045 me/100 g) et la fumure potassique y est efficace.



### 3.2. Cas du calcium

#### 3.2.1. Influence du temps d'agitation.

Tableau 3 - Valeur  $E_{Ca}$  du calcium labile en fonction de la durée de l'agitation (cas du sol ferrugineux tropical du Niger : TARNA).

Durée de l'agitation		$E_{Ca}$ en p.p.m.
Temps courts	1 heure	137
	2 heures	140
	3 heures	145
	4 heures	140
	5 heures	136
Temps moyens	1 jour	142
	2 jours	153
	3 jours	156
	4 jours	166
	5 jours	162
Temps longs	1 semaine	182
	2 semaines	201
	3 semaines	210
	4 semaines	224
	5 semaines	237

Ce sol de TARNA contient 0,90 me de Ca échangeable pour 100 g de sol, ce qui correspond à 180 p.p.m.

On constate qu'il faut un temps d'agitation assez long pour que se réalise la dilution isotopique même à l'intérieur du calcium échangeable ; ce n'est qu'après une semaine d'agitation que l'on obtient 182 p.p.m. de Ca labile, correspondant au calcium échangeable. Ce fait confirme pour les sols tropicaux, ce qui a déjà été signalé par P. NEWBOULD et R.S. RUSSELL (1963), à savoir que l'ensemble du Ca échangeable ne semble pas avoir la même mobilité et la même assimilabilité pour les plantes, bien qu'il soit globalement déplacé par l'acétate d'ammonium.

Lorsque la durée d'agitation augmente de une à cinq semaines, la dilution isotopique se poursuit dans des formes de calcium du sol autres que le calcium échangeable et moins labiles. On a donc ici encore, comme dans le cas du potassium, au moins deux phases dans le processus de dilution isotopique: une première phase, rapide, qui

rend compte du calcium le plus labile, et une seconde phase, beaucoup plus lente qui rend compte d'une partie du Ca échangeable d'une part et du Ca des minéraux altérés d'autre part. Ce fait a été signalé par divers auteurs, en particulier par J.M. BLUME et D.SMITH (1954), P. NEWBOULD (1963).

Le phénomène est représenté graphiquement sur la Figure 2.

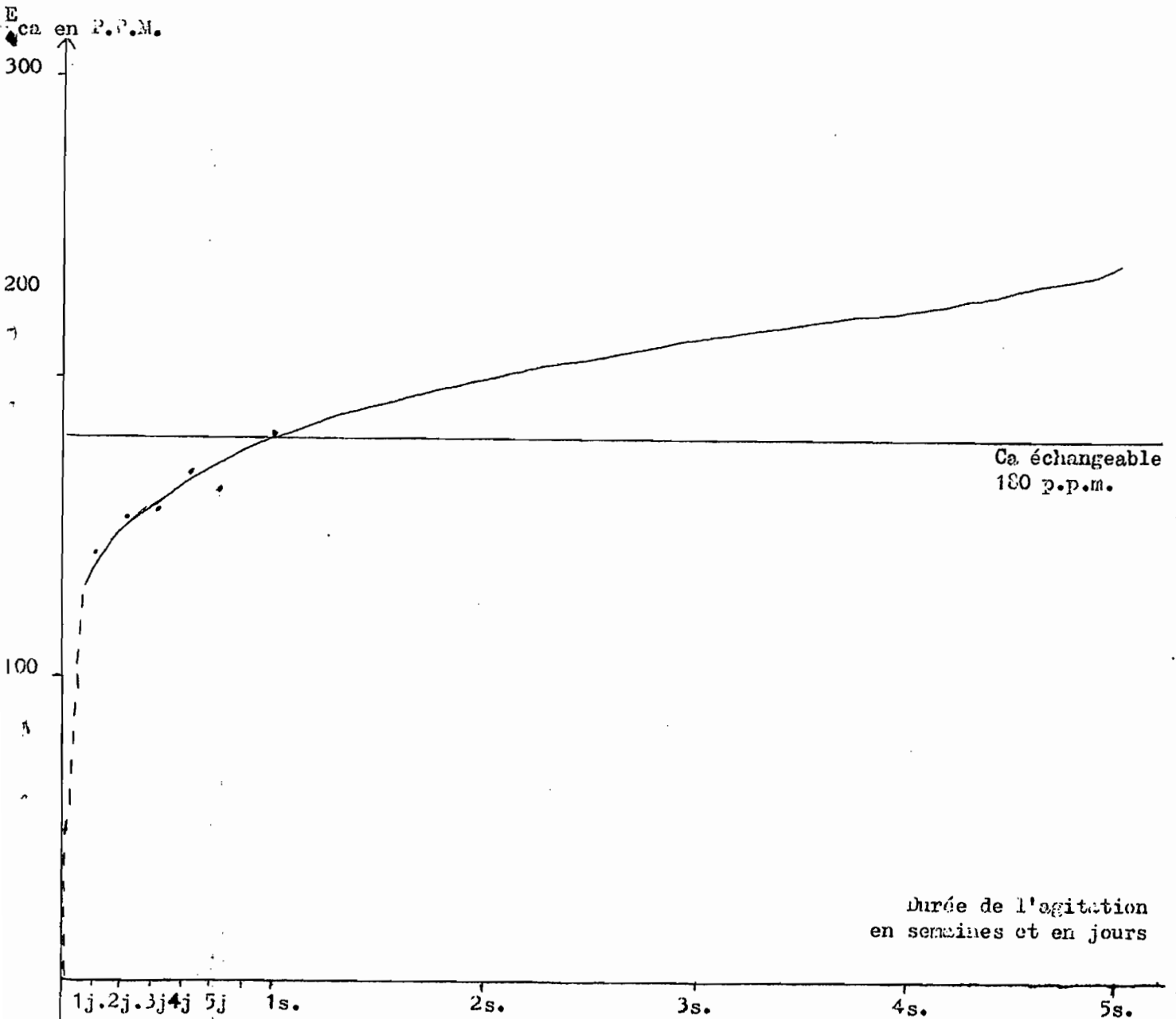


Figure 2 - Dilution isotopique du calcium en fonction de la durée de l'agitation. (cas du sol ferrugineux tropical du Niger : TARNA).

### 3.2.2. Influence du type de sol

Outre les grandes différences qui peuvent exister entre les valeurs  $E_{Ca}$  du calcium labile lorsque l'on passe d'un type de sol à un autre, différences qui sont d'ailleurs tout-à-fait normales, il semble exister également des différences considérables dans leur cinétique.

C'est ainsi que pour le sol ferrugineux tropical du Niger (TARNA), il faut, comme nous l'avons vu, une semaine d'agitation pour que tout le calcium échangeable devienne labile. Il en est de même pour le sol formé sur gneiss de Madagascar (AMBATOBE) ; au bout de cinq jours, il n'y a encore que 87 p.p.m. de Ca devenus labiles sur les 120 p.p.m. qui se trouvent à l'état échangeable.

Pour le sol ferrallitique formé sur basalte de Madagascar, par contre, tout le Ca échangeable (30 p.p.m.) devient labile en moins d'une journée, et au bout de cinq jours on a deux fois plus de Ca labile que de Ca échangeable. Ces différences doivent être en relation avec la nature des colloïdes adsorbants, mais aussi peut être avec des phénomènes d'enrobage de l'argile par de l'humus ou d'autres substances.

Il s'agit là de phénomènes mal connus, qui feraient que le calcium échangeable n'aurait pas la même mobilité dans tous les sols ; et ce n'est que par une étude cinétique de la dilution isotopique, directe et inverse, que l'on peut espérer les élucider.

### CONCLUSION

Nous rapportons dans cette communication des résultats très nets relatifs au potassium et au calcium labiles, obtenus par les techniques isotopiques sur des sols tropicaux ; dans ces sols (ferrugineux tropicaux et ferrallitiques) il se pose des problèmes agronomiques du fait de leur faible teneur en bases échangeables, déterminée par la méthode classique à l'acétate d'ammonium normal à pH 7.

Les techniques isotopiques permettent de confirmer qu'il existe dans les sols tropicaux un "pool" de potassium labile et un "pool" de calcium labile nettement supérieurs aux quantités de K et de Ca échangeables. Ce ne sont donc pas seulement les éléments échangeables qui contribuent à la nutrition des plantes.

D'autre part ces méthodes isotopiques permettent de distinguer divers degrés de labilité pour les éléments envisagés, une partie étant rapidement mobilisable, alors que le reste ne l'est que très lentement ; ce phénomène semble même concerner déjà le calcium échangeable.

Il sera nécessaire de prévoir, dans les études ultérieures, la recherche des relations qui peuvent exister entre ces caractéristiques des sols et leur composition minéralogique, le stade d'altération des minéraux et la nature des colloïdes adsorbants.

Ces faits, enfin, peuvent expliquer pourquoi, dans certains cas, des sols apparemment pauvres d'après leur teneur en éléments échangeables, peuvent cependant assurer une croissance normale des plantes sans apport d'engrais ; l'analyse montre d'ailleurs que ces plantes exportent une quantité d'éléments nutritifs supérieure à la fraction échangeable du sol ; G. AUBERT (1958) avait déjà posé le problème pour les sols à cacaoyer du Nord-Gabon et du Sud-Cameroun, en 1958.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUBERT (G.) - 1958 - Remarques sur l'évaluation du potassium utilisable par les cultures en régions équatoriales et subéquatoriales. Potassium Symposium Madrid (1958), p.p. 351-352.
- BLUME (J.M.), SMITH (D.) - 1954 - Determination of exchangeable calcium and cation-exchange capacity by equilibration with <sup>45</sup>Ca. Soil Sci., vol. 77, 1, pp. 9-17.
- NEWBOULD (P.) - 1963 - Relations hip between isotopically exchangeable calcium and absorption by plants. J. Sci. Fd. Agric., vol. 14, 5, pp. 311-319.
- NEWBOULD (P.) , RUSSELL (R.S) - 1963 - Isotopic equilibration of calcium - 45 with labile soil calcium. Plant and Soil, vol. 18, 2, pp. 239-257.
- TENDILLE (C.), GRENIER de RUERE (J.), BARBIER (G.) - 1956 - Echanges isotopiques du potassium peu mobile des sols. C.R. Acad.Sci. (PARIS), T. 243, pp.87-89.