

Propriétés d'échange ionique de sols volcaniques de la Martinique.

Application à la programmation de la fumure potassique.

Sylvie FONTAINE et B. DELVAUX*

ION EXCHANGE PROPERTIES OF VOLCANIC SOILS IN MARTINIQUE.
APPLICATION TO POTASH FERTILIZING PROGRAMMING.

Sylvie FONTAINE and B. DELVAUX.

Fruits, Mar. 1989, vol. 44, n° 3, p. 123-133.

ABSTRACT - Ten soils that are representative of the pedological variability in the banana plantations in Martinique were chosen. For each profile, Ca-K exchange isotherms were drawn up. The weakly weathered soils and andosols on pumice have practically no potassic selectivity : potassium is not specifically retained in these materials. In the brown soils on tuff, potassic affinity rises as the allophanes gradually disappear and the halloysite content increases in relation to kaolinite. It drops considerably in the ferrisol in which kaolinite is the main clay mineral. These results, which agree with the field trials, show how useful the physico-chemical approach is for the agronomist with regard to soil fertilizing problems. The extent of potassium leaching can in fact be assessed by studying the Ca-K ion exchange balance in these materials.

PROPRIETES D'ECHANGE IONIQUE DE SOLS VOLCANIQUES DE LA MARTINIQUE.
APPLICATION A LA PROGRAMMATION DE LA FUMURE POTASSIQUE.

Sylvie FONTAINE et B. DELVAUX

Fruits, Mars 1989, vol. 44, n° 3, p. 123-133.

RESUME - Dix sols représentatifs de la variabilité pédologique de la bananeraie martiniquaise ont été sélectionnés. Pour chaque profil, des isothermes d'échange Ca-K ont été effectuées. Celles-ci mettent en évidence des différences de comportement liées au type de sol. Les sols peu évolués et les andosols sur ponces ne présentent pratiquement pas de sélectivité potassique : le potassium n'est pas spécifiquement retenu dans ces matériaux. Dans les sols brunifiés sur tufs, l'affinité potassique croît avec la disparition progressive des allophanes et l'augmentation de la teneur en halloysite relativement à la kaolinite. Elle diminue considérablement dans le ferrisol ou la kaolinite est le minéral argileux dominant. Ces résultats, qui convergent avec les essais en champs, montrent l'utilité pour l'agronome de l'approche physico-chimique en ce qui concerne les problèmes de fertilisation des sols. Il est en effet possible d'évaluer l'importance de la lixiviation du potassium à partir de l'étude de l'équilibre d'échange ionique Ca-K dans ces matériaux.

AVANT-PROPOS

Comme toute science expérimentale, la science agronomique a pour objectif de décrire, de comprendre et de prédire les divers phénomènes naturels, physiques, chimiques et biologiques, qui composent le système de culture. Diverses approches sont possibles pour atteindre ces objectifs.

Dans le domaine de la fertilisation, qui représente un poste financier très important de la production bananière, les premières approches ont été du type technique-rendement, permettant d'observer les variations de rendement en fonction des doses d'engrais.

Plus récemment a été développée par J. GODEFROY une approche plus dynamique, basée sur des expérimentations au champ, et permettant, pour une situation géographique donnée, de «moduler» la fertilisation en fonction de la pluviosité et d'aboutir ainsi à la notion d'avertissement.

Enfin, encore plus récemment, une démarche couplant enquête-diagnostic et études fines de laboratoire a permis de mieux décrire et comprendre les phénomènes en jeu, en alliant d'une manière très logique et cohérente différentes approches, avec diverses échelles d'investigation allant de la parcelle cultivée à la maille élémentaire.

* - S. FONTAINE - c/o Unité Science du Sol, U.C.L., Place Croix du Sud, 1 - 1348 LOUVAIN-LA-NEUVE (Belgique).
B. DELVAUX - IRFA/CIRAD - B.P. 153 - 97202 FORT DE FRANCE
Cedex

Cet article résume le mémoire de fin d'études d'Ingénieur agronome de Sylvie FONTAINE.

taire du feuillet argileux. Une telle démarche a été développée pour la bananeraie camerounaise, constituant la base de la thèse de Bruno DELVAUX. Pour la bananeraie martiniquaise, une démarche similaire, orientée sur l'étude du système sol-solution, constitue la base de la présente publication de Sylvie FONTAINE et Bruno DELVAUX.

C'est à notre avis une démarche exemplaire, dans le domaine de l'agropédologie, partant d'une description approfondie des composantes du complexe «agronomique» (enquête, expérimentations antérieures), passant par l'étude des propriétés d'échange des sols et de leurs constituants, permettant d'expliquer les observations réalisées en champ, tout particulièrement par J. GODEFROY et Micheline DORMOY, et aboutissant à une modélisation des phénomènes avec *possibilité de transposition à d'autres situations géographiques*. Un tel aboutissement est un élément clef de la coopération scientifique et technique conduite par le CIRAD dont la vocation est d'intervenir dans des situations géographiques très variées avec souvent des possibilités d'expérimentation limitées.

Au-delà de son intérêt méthodologique, cognitif et pratique, un tel travail a été l'occasion de démontrer :

- d'une part, l'intérêt d'une forte synergie entre activités de terrain et travaux approfondis de laboratoire,
- d'autre part, le grand avantage qu'il y a de tisser des liens étroits entre divers laboratoires européens.

Là aussi, la voie ouverte doit être exemplaire pour nos activités d'aujourd'hui et de demain.

Nous tenons à remercier nos collègues de l'Université Catholique de Louvain pour leur fructueuse et chaleureuse contribution à la réussite d'une telle entreprise.

J. GANRY.
Directeur des Recherches sur le Bananier
IRFA/CIRAD

PROBLEMATIQUE

En Martinique, la culture bananière industrielle couvre près de 6 000 ha, soit environ 6 p. 100 de la superficie totale de l'île. Ces dernières années, les revenus à l'hectare des plantations ont diminué suite à l'augmentation des coûts de production (10). Parmi ceux-ci, l'importance du poste engrais est liée aux exigences particulières de la plante en azote et en potassium, l'immobilisation minérale s'élevant respectivement à 450 et 1 250 kg/ha pour de hauts niveaux de production (16). Les sols martiniquais étant développés sur des matériaux naturellement déficients en potassium (14), de fortes applications de fumure potassique sont donc nécessaires.

Une diminution des coûts de fertilisation peut être recherchée en modulant celle-ci en fonction des facteurs pédologiques et climatiques par l'établissement d'un système d'avertissement (13).

Un tel système a pu être établi à partir de la connaissance de la dynamique des éléments fertilisants dans les principaux sols affectés à la culture bananière en Martinique (12). Des essais en champs ont en effet montré que la dynamique des éléments fertilisants varie en fonction de la pluviométrie et du type de sol. Ils ont permis de définir des seuils critiques de pluviosité relatifs à l'azote et au potassium (12). Ces études sont cependant longues et coûteuses et il paraît opportun de comparer une telle approche à une étude physico-chimique permettant de prédire la dynamique du potassium dans ces sols par l'appréhension du comportement plus ou moins sélectif du complexe d'échange vis-à-vis de cet élément.

L'étude de l'équilibre d'échange Ca-K dans divers sols de Martinique affectés à la culture bananière fera l'objet de cette publication. L'accent sera mis sur les relations exis-

tant entre les propriétés d'échange ionique des sols et leurs constituants ainsi que sur l'utilisation de ces propriétés d'échange pour la programmation de la fertilisation.

MATERIELS ET METHODES

Choix des échantillons.

Les horizons A et le cas échéant les horizons B de dix sols représentatifs de la variabilité pédologique de la bananeraie martiniquaise ont été sélectionnés (figure 1). Leur classification ainsi que quelques renseignements d'ordre général sont présentés au tableau 1.

Caractérisation générale des sols.

Les résultats des analyses chimiques sont présentés au tableau 2. La teneur en carbone organique est estimée par la méthode de WALKLEY et BLACK et le pH mesuré dans une suspension sol/eau de 1/2.5. La capacité d'échange cationique effective (ECEC) est définie comme la somme des bases échangeables (Ca + Mg + K + Na) et des cations acides (Al + H). Ca, Mg, K et Na sont extraits à l'acétate d'ammonium 1 N pH 7 et les cations acides (Al + H) par une solution de KCl 1 N. La teneur en allophanes est estimée selon la méthode de PARFITT et HENMI (19) à partir de la quantité de silice extraite à l'oxalate (3). La méthode de CHURCHMAN *et al.* (6) permet d'évaluer la proportion relative d'halloysite parmi les minéraux 1:1.

Du point de vue minéralogique, le complexe d'échange des andosols (ED1, LG2 et SM1) est dominé par les allophanes, celui des sols brunifiés (MV2, CO2, RL1 et RL3) par l'halloysite hydratée tandis que la kaolinite est le minéral argileux dominant dans ferrisol (GF1). Cette évo-

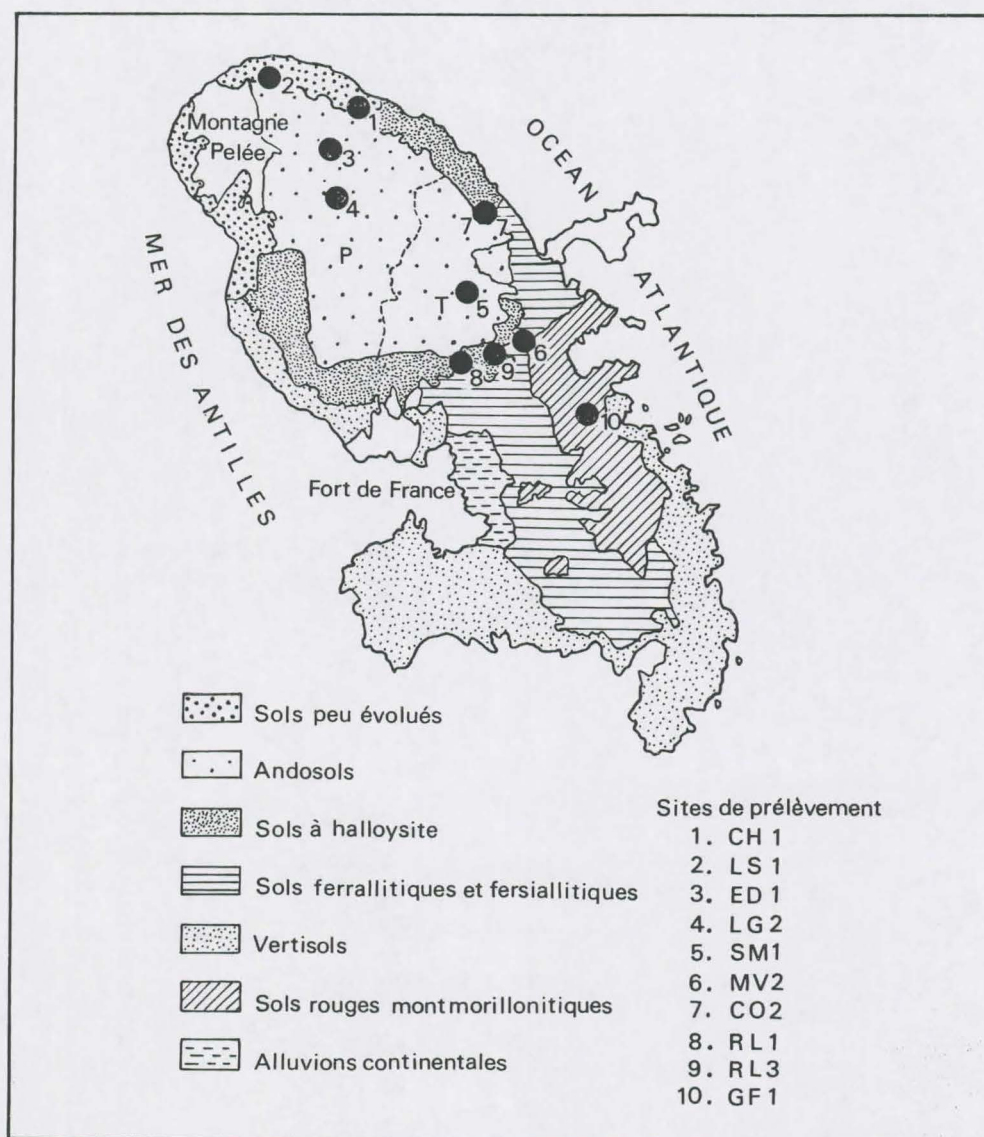


FIGURE 1 - Localisation des sols sélectionnés sur la carte générale des sols de Martinique. (Source : Atlas de Martinique).

TABLEAU 1 - Classification et informations générales concernant les sols sélectionnés.

Pédon	Classification (C.P.C.S., 1967)	Pluviométrie (mm/an)	Altitude (m)	Développement du profil
CH1	sol peu évolué (ponces)	2300	20	A-R
LS1	sol peu évolué (ponces)	2600	170	A-C-R
ED1	andosol désaturé (ponces)	3200	280	A-BC-C-R
LG2	andosol désaturé (ponces)	3400	350	A-BC-R
SM1	andosol désaturé (tufs)	2700	200	A-Bw-BC
MV2	sol brun andique (tufs)	2650	180	A-Bw-BC
CO2	sol brun andique (tufs)	2500	110	A-Bw-BC
RL1	sol brun eutrophe (tufs)	2300	95	A-Bw-BC
RL3	sol brun eutrophe (tufs)	2300	95	A-Bw-BC
GF1	(?) sol ferrallitique faiblement désaturé à (B) rajeuni	1900	20	A-Bw-BC

TABLEAU 2 - Quelques propriétés des matériaux étudiés : teneur en carbone (C), pH eau, texture, capacité d'échange cationique effective (ECEC), teneur en allophanes et teneur relative en halloysite (H) vis-à-vis de la kaolinite (K) dans la fraction argileuse.

Pédon	Horizon	Profondeur (cm)	C (p. 100)	pH	Texture ^a	ECEC (me/100 g)	Allophanes (p.100)	H/(H + K)
CH1	Ap1	00-15	2.7	6.2	S1	8.9	1.1	-
LS1	Ap1	00-21	4.2	6.0	SL	8.5	5.2	-
ED1	Ap1	00-15	5.2	6.0	LS	7.1	4.7	-
LG2	Ap1	00-10	5.2	6.0	LS	29.2	6.0	-
SM1	Ap1	00-18	3.8	5.5	1A	6.0	11.9	-
	Bw	46-71	3.7	5.1	S1	5.6	13.7	0.43
MV2	Ap1	00-15	3.0	4.8	A1	10.7	8.5	-
	Bw	15-43	1.3	5.6	S1	13.2	6.6	0.86
CO2	Ap	00-14	2.5	5.4	A	11.1	3.5	-
	Bw1	50-82	1.8	6.1	A	17.7	2.8	0.85
RL1	Ap1	00-17	2.1	6.8	AA	11.6	0.2	-
	Bw1	39-54	1.1	5.6	AA	9.0	0.4	0.82
RL3	Ap1	00-14	1.7	5.9	AA	12.5	0.3	-
	Bw1	32-52	1.1	5.1	AA	8.2	0.2	0.72
GF1	AB1	00-10	1.5	4.9	A	7.8	0.1	-
	Bw1	44-71	0.4	5.2	A	7.0	0.2	0.00

a : classes texturales obtenues à partir du diagramme de texture de l'INRA (Laboratoire des Sols de l'INRA à Versailles, 1963).

S1 : texture sablo-limoneuse SL : sable limoneux LS : limon sableux 1A : texture limono-argileuse
A1 : texture argilo-limoneuse A : argile ou texture argileuse AA : argile lourde.

lution minéralogique des andosols vers les sols brunifiés et les ferrisols est parallèle au degré d'altération des matériaux et s'accompagne d'une modification des propriétés physico-chimiques des sols (densité apparente, rétention en eau, rétention anionique, CEC ...).

Des textures sableuses et des teneurs en matière organique élevées caractérisent les sols développés sur cendres et ponces (CH1, LS1, ED1 et LG2). Les autres sols se distinguent par des textures argileuses et une diminution constante du taux de matière organique avec la perte des caractères andiques. Ceux-ci désignent certains caractères physico-chimiques particuliers aux andosols (faible densité apparente, rétention anionique élevée, teneurs élevées en Al et Fe extrait à l'oxalate pH 3) (15).

Les valeurs d'ECEC ($ECEC = Ca + Mg + K + Na + Al + H$ me/100 g) sont généralement faibles pour les sols sur ponces et augmentent régulièrement pour les sols sur tufs (SM1, MV2, CO2, RL1 et RL3) parallèlement à l'accroissement de la teneur en halloysite. Le ferrisol présente une ECEC assez faible (7-8 me/100 g).

Equilibre d'échange Ca-K:

La sélectivité d'échange pour le potassium a été mesurée après mise à l'équilibre des échantillons avec des solutions mixtes KCl-CaCl₂ de concentration totale 0.01 N et de fraction ionique équivalente de potassium (N_K) variant de 0.04 à 0.98, la fraction ionique équivalente se définissant comme suit :

- en phase solution :

$$N_K = \frac{K \text{ (me/L)}}{(K + Ca) \text{ (me/L)}} \quad (1)$$

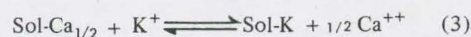
- en phase surface :

$$\bar{N}_K = \frac{K_{ads} \text{ (me/100 g)}}{(K_{ads} + Ca_{ads}) \text{ (me/100 g)}} \quad (2)$$

Ceci a permis de tracer des diagrammes carrés (isothermes d'échange) qui relient les fractions ioniques équivalentes de K^+ dans la phase surface (\bar{N}_K) et dans la phase solution (N_K). De façon conventionnelle, la diagonale d'un tel diagramme exprime la non-sélectivité : la proportion de potassium est identique en phase surface et en phase solution. Selon cette convention, une courbe au-dessus de la diagonale indiquerait la présence d'une sélectivité potassique ; une courbe sous la diagonale, une sélectivité calcique.

L'affinité d'un échangeur pour un ion donné peut être définie numériquement en chaque point d'équilibre par des coefficients de sélectivité tel le coefficient de *Gapon* ou de *Vanselow*. Nous utiliserons dans ce qui suit le coefficient de *Gapon* (K_G).

Dans le formalisme de *Gapon*, l'échange ionique Ca-K peut être schématisé par la réaction suivante :



Le coefficient de *Gapon* est dès lors défini par la relation suivante :

$$K_G = \frac{K_{ads} \text{ (Ca)}^{1/2}}{Ca_{ads} \text{ (K)}} \quad (4)$$

où K_{ads} et Ca_{ads} = potassium et calcium adsorbés sur le complexe d'échange (me/100 g de sol)

(K) et (Ca) = activités ioniques en solution.

En divisant le numérateur et le dénominateur par la somme ($K_{ads} + Ca_{ads}$) dans l'équation 4, on obtient l'expression suivante :

$$K_G = \frac{\bar{N}_K / \bar{N}_{Ca}}{(K)/(Ca)^{1/2}} \quad (5)$$

Le rapport des activités des ions en solution (K)/(Ca)^{1/2} étant communément appelé «potassium adsorption ratio» ou KAR (22), on peut écrire :

$$K_G = \frac{\bar{N}_K / \bar{N}_{Ca}}{KAR} \quad (6)$$

Une quantification du nombre de sites à spécificité potassique est obtenue par une modélisation à deux sites de l'isotherme d'échange (8). Ce modèle suppose l'existence de deux types de sites à comportements différents vis-à-vis du potassium (figure 2), chacun des deux types de sites étant caractérisé par un coefficient de sélectivité de *Vanselow*

(K_V) différent. Une procédure de régression non linéaire effectuée sur les points expérimentaux de l'isotherme permet d'obtenir les valeurs de α (proportion de sites les plus sélectifs pour le potassium). K_{V1} (coefficient de *Vanselow* pour les sites les plus sélectifs) et K_{V2} (coefficient de *Vanselow* pour les sites les moins sélectifs).

RESULTATS

La figure 3 présente les isothermes d'échange Ca-K réalisées pour les divers sols étudiés. La variation du coefficient de sélectivité de *Gapon* en fonction de la saturation en potassium des sites d'échange est illustrée pour les mêmes matériaux à la figure 4. La modélisation des isothermes expérimentales conduit à l'estimation des paramètres α , K_{V1} et K_{V2} . Seul le paramètre α , la proportion de sites à sélectivité potassique, est présenté au tableau 3. Les paramètres K_{V1} et K_{V2} montrent dans le cas présent une dispersion statistique élevée probablement liée à un nombre trop restreint de points expérimentaux dans les zones extrêmes de saturation en potassium.

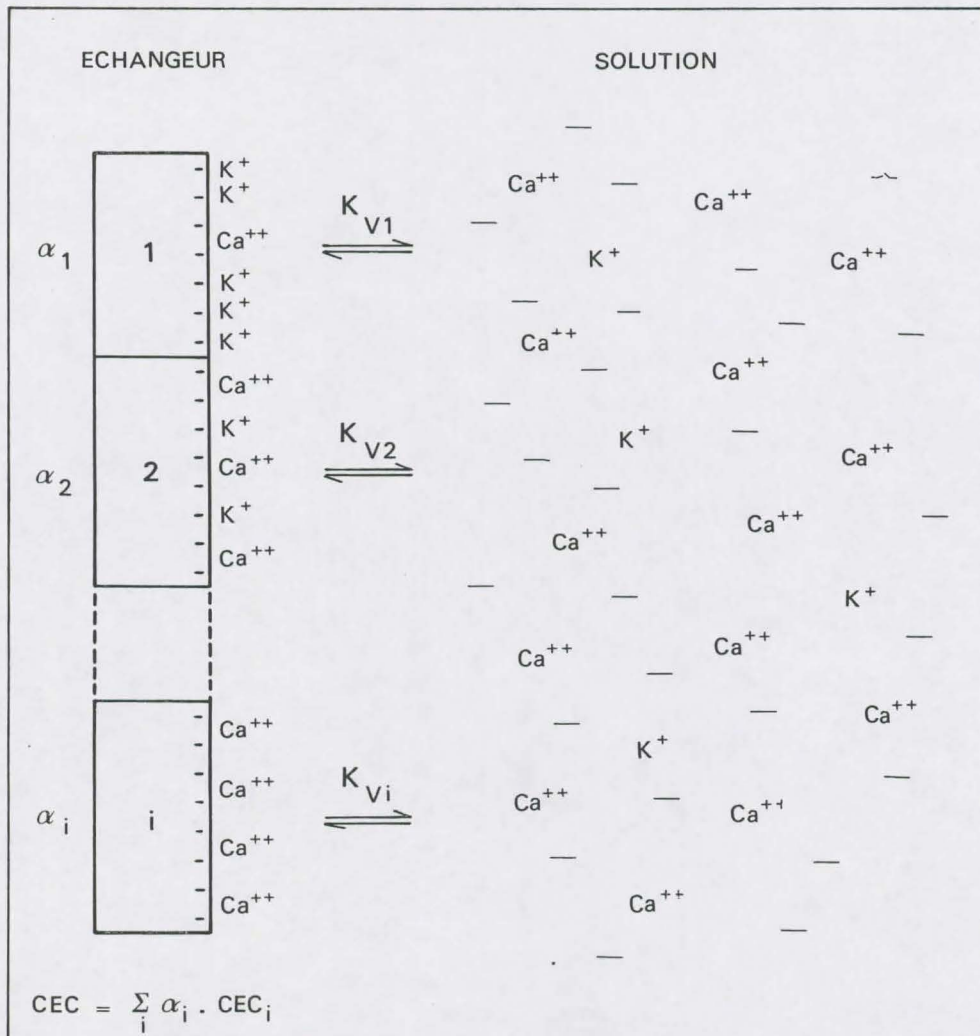


FIGURE 2 - Représentation schématique du modèle à 2 sites.

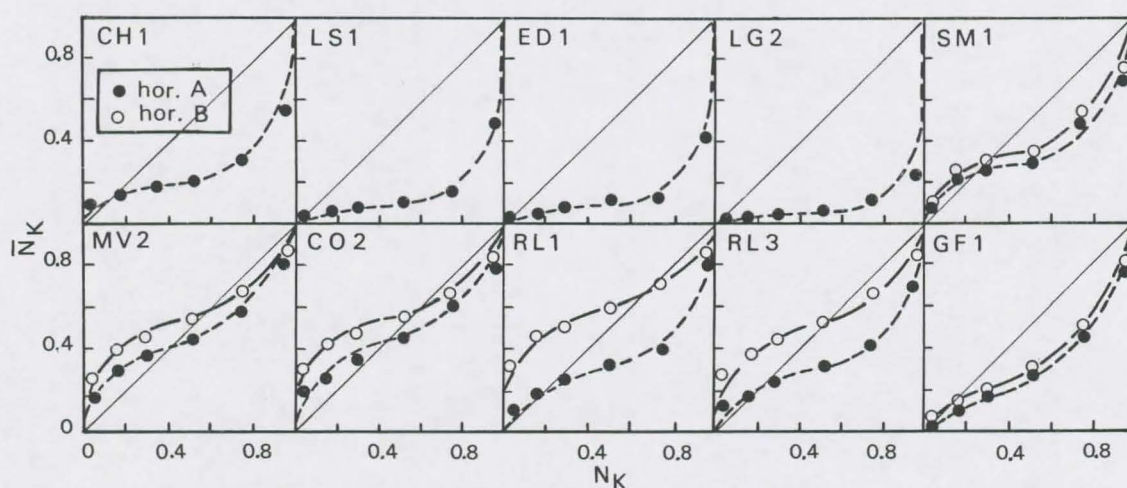


FIGURE 3 - Isothermes d'échange Ca-K sur terre fine (< 2mm) pour les horizons A et B des sols étudiés.

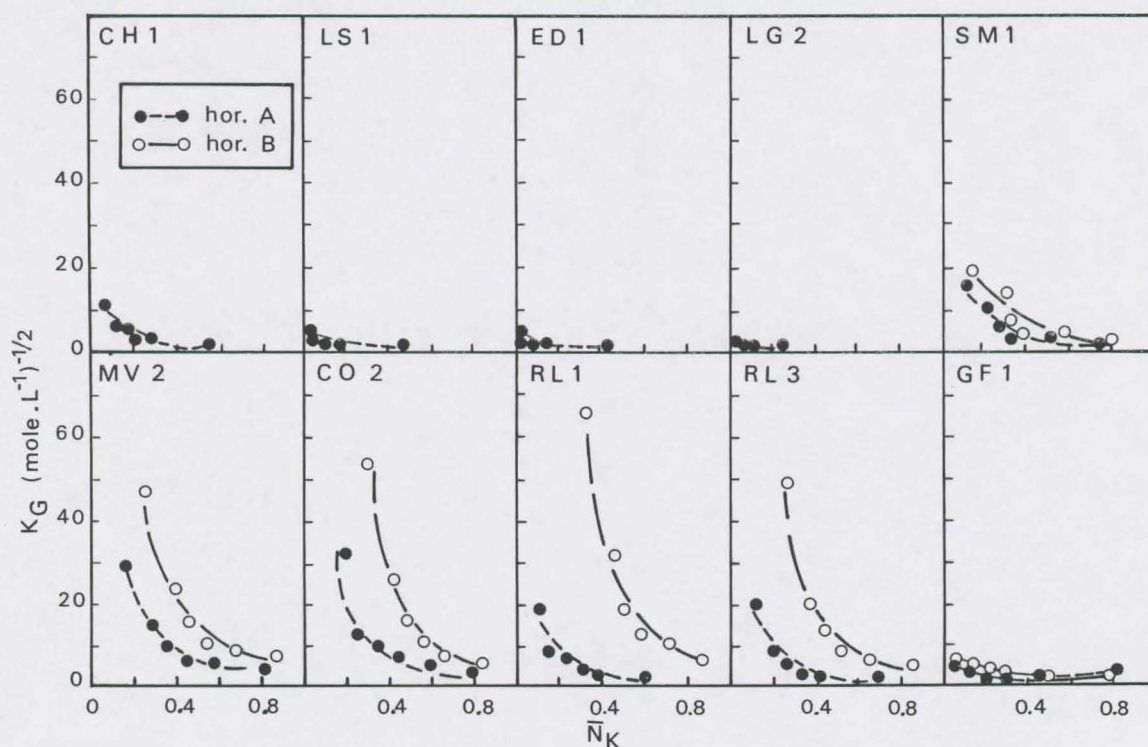


FIGURE 4 - Variation du coefficient de Gapon (K_G) en fonction de la saturation en potassium des sites d'échange disponibles dans les horizons A et B des sols étudiés.

La plus faible sélectivité potassique est observée pour les sols développés sur cendres et ponces (CH1, LS1, ED1 et LG2), indiquant la forte affinité d'échange de leurs constituants pour les ions calciques. Ces sols sont pratiquement dépourvus de sites d'échange à affinité potassique (figure 4 et tableau 3).

Les sols développés sur tufs montrent une sélectivité plus élevée pour l'ion K, une proportion (α) importante des sites d'échange étant sélective pour cet ion (tableau

3). Les valeurs des coefficients de Gapon y sont similaires à celles rapportées par BOLT *et al.* (4) et CARSON et DIXON (5) pour des argiles de sols à illites ou vermiculites (argiles 2:1 possédant une charge permanente élevée et des sites d'échange interfoliaires particulièrement sélectifs pour l'ion K). On remarque en outre que l'horizon B présente toujours une affinité potassique plus marquée que l'horizon A. Un tel comportement diffère de celui rencontré dans le ferrisol (GF1) où les horizons A et B montrent des sélectivités moindres et similaires pour l'ion K.

TABLEAU 3 - Proportions des sites à sélectivité potassique (α), valeurs des CEC obtenues lors de la réalisation des isothermes [CEC(K+Ca)] et nombre de sites à sélectivité potassique [α .CEC(K+Ca)].

Echantillons	α	CEC(K+Ca)	
		me/100 g	
CH1-Ap1	0.15	8.8	1.29
LS1-Ap1	0.03	8.5	0.30
ED1-Ap1	0.04	7.0	0.27
LG2-Ap1	0.04	24.1	0.96
SM1-Ap1	0.24	6.5	1.55
SM1-Bw	0.28	8.9	2.54
MV2-Ap1	0.32	10.9	3.48
MV2-Bw	0.40	14.6	5.87
CO2-Ap	0.30	10.4	3.11
CO2-Bw1	0.44	14.7	6.49
RL1-Ap1	0.25	14.8	9.89
RL1-Bw1	0.46	12.3	5.70
RL3-Ap1	0.21	12.1	2.60
RL3-Bw1	0.38	9.1	3.49
GF1-AB1	0.17	8.4	1.43
GF1-Bw1	0.25	7.4	1.87

DISCUSSIONS

Sélectivité d'échange et type de sol.

Les propriétés d'échange ionique des matériaux étudiés diffèrent en fonction du type de sol et dépendent de la nature des constituants organiques et minéraux du complexe d'échange. Ceux-ci, comme on l'a montré plus haut, varient qualitativement et quantitativement avec le degré d'altération des sols.

Ainsi, la sélectivité calcique des sols sur ponces (CH1, LS1, ED1 et LG2) est liée à leur forte teneur en matière organique (21) et à la présence de substances amorphes à haute affinité calcique (11, 18 et 20).

Dans les sols sur tufs (MV2, CO2, RL1 et RL3), la sélectivité potassique augmente avec la disparition progressive des matériaux amorphes (figure 5a) et semble être corrélée à la présence d'halloysite (figure 5b). Dans ce graphique, la sélectivité potassique est conventionnellement exprimée par la valeur du coefficient K_G mesurée pour une solution de fraction équivalente $N_K = 0.04$, soit $K_G, 0.04$. Plus la teneur relative en halloysite vis-à-vis de la kaolinite augmente, plus l'affinité potassique est importante. Cette relation particulière et paradoxale entre le contenu relatif en halloysite et la sélectivité d'échange de ces matériaux pour l'ion K a été étudiée sur des chronoséquences de sols basaltiques du Cameroun occidental. Dans ces sols, elle est liée à la contamination de l'halloysite hydratée par des minéraux smectitiques (argiles gonflantes) de haute charge au sein d'édifices interstratifiés halloysite-smectite (7). Une caractérisation minéralogique sommaire a été effectuée sur les matériaux étudiés ici : elle suggère également une contamination de l'halloysite hydratée par des minéraux 2:1 gonflants (9).

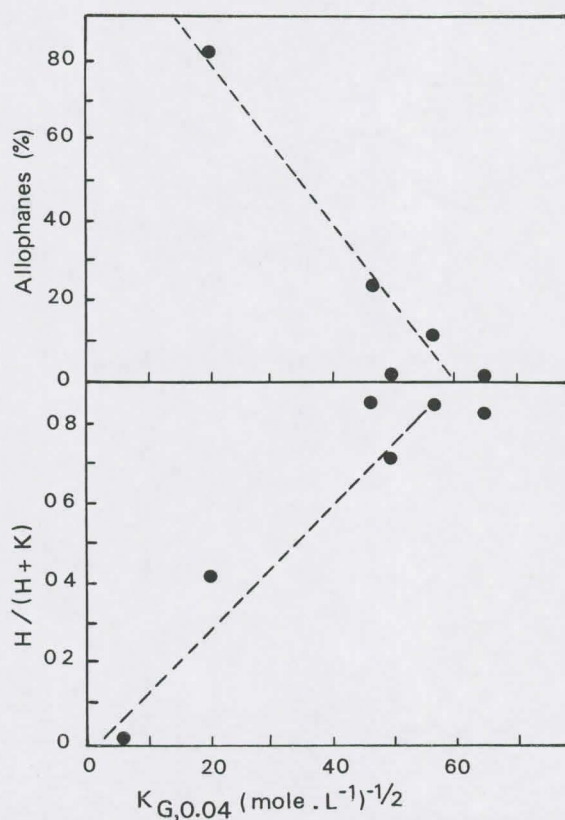


FIGURE 5 - Relation entre la sélectivité potassique évaluée par le coefficient de Gapon pour une fraction équivalente $N_K = 0.04$ ($K_G, 0.04$) et

a) la teneur en allophanes (Al/Si=1) dans la fraction argileuse ($< 2 \mu\text{m}$).

b) la proportion d'halloysite (H) par rapport à la kaolinite (K) dans la fraction argileuse ($< 2 \mu\text{m}$).

La relation Quantité-Intensité.

La relation Quantité-Intensité (Q/I) est la plupart du temps utilisée pour caractériser la disponibilité en potassium dans les sols (17). Cette relation exprime que la disponibilité en potassium dépend de deux facteurs : (1) la quantité (Q) potentiellement disponible évaluée par la teneur en K échangeable et (2) l'intensité (I) avec laquelle il est retenu sur le complexe d'échange évaluée par la proportion de potassium dans la solution du sol (KAR). Cette relation présente l'avantage de tenir compte de deux paramètres importants dans la nutrition minérale de la plante : la sélectivité du complexe d'échange et sa capacité d'échange cationique.

Les valeurs des paramètres Quantité et Intensité sont obtenues à partir des points expérimentaux de l'isotherme :

$$K_{\text{éch}} = \bar{N}_K \cdot \text{CEC} = \text{Quantité} \quad (7)$$

$$\text{KAR} = (K) \cdot (\text{Ca})^{-1/2} = \text{Intensité} \quad (8)$$

La courbe obtenue se décompose classiquement en deux parties : une partie incurvée dont l'importance est liée au nombre de sites d'adsorption spécifique du potassium, et une partie linéaire correspondant à l'échange Ca-K sur des sites non spécifiques pour l'ion K.

La pente de la partie linéaire de la courbe représente selon BECKETT (1) le pouvoir tampon du sol vis-à-vis du potassium c'est-à-dire la capacité de l'échangeur à fournir la solution du sol en potassium.

$$\text{PBC} = \frac{\Delta Q}{\Delta I} = \frac{\Delta K_{\text{éch}}}{\Delta \text{KAR}} \quad (9)$$

Du point de vue agronomique, cette notion est très importante étant donné que la plante puise ses nutriments dans la solution du sol.

Les courbes Q-I sont présentées à la figure 5 et les pouvoirs tampons au tableau 4.

On observe que les sols sur ponces (CH1, LS1, ED1 et LG2) possèdent les plus petites sélectivités potassiques, de faibles pouvoirs tampons et des CEC négligeables. Toute diminution de la concentration en potassium dans la solution du sol suite à la lixiviation ou à l'absorption racinaire de cet élément sera donc faiblement compensée, et uniquement à court terme, à partir du stock échangeable. Du point de vue agronomique, ce seront les sols les plus sensibles à la lixiviation du potassium et donc aux carences potassiques.

Les sols sur tufs (MV2, CO2, RL1 et RL3) présentent des pouvoirs tampons élevés et des CEC importantes. Toute diminution de la concentration en potassium dans la solution du sol (lixiviation, absorption racinaire) sera donc plus aisément compensée à partir du stock échangeable. Ces sols sont peu sensibles à la déficience potassique et la fréquence des apports peut dès lors être réduite.

Dans le ferrisol, le complexe adsorbant présente peu d'affinité potassique (figures 3 et 4) et une CEC relative faible (8.4 me/100 g sol). Le potassium sera pour ces raisons rapidement lixivié des horizons de surface malgré le pouvoir tampon élevé de ce sol, lié à une sélectivité potassique relativement plus marquée aux saturations élevées de l'échangeur en potassium.

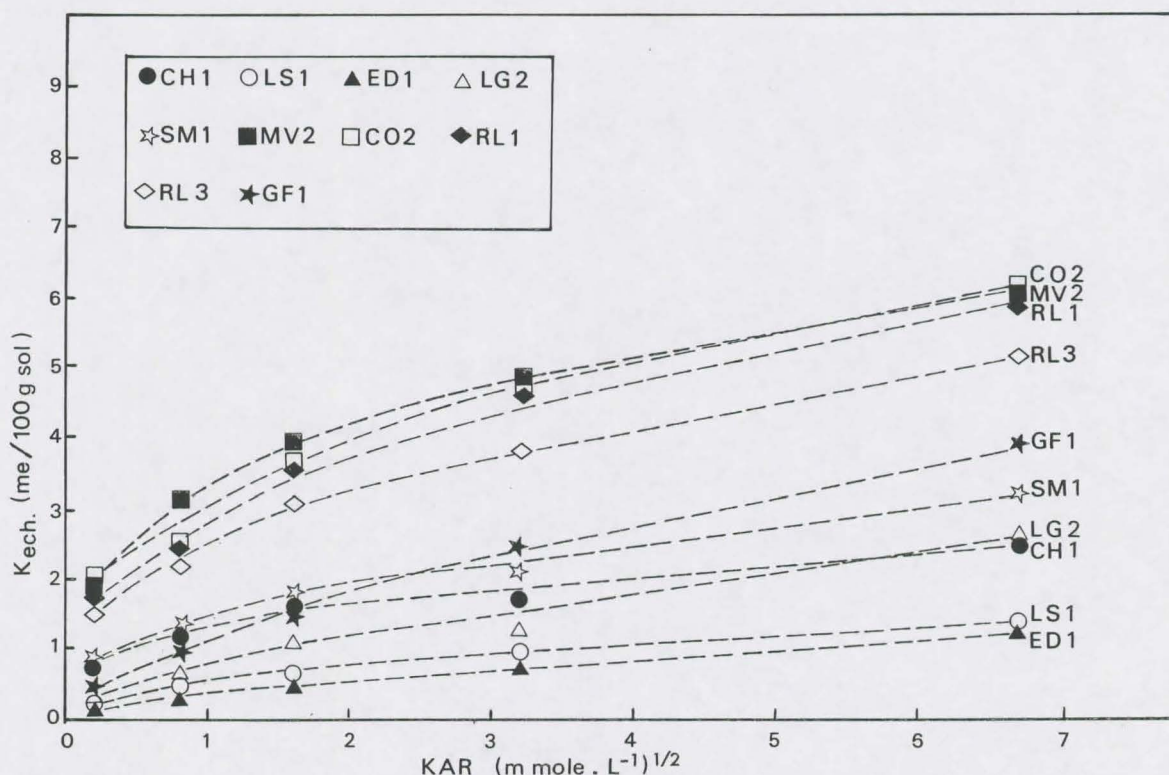


FIGURE 6 - Graphique Q/I établi à partir de l'équilibre d'échange Ca-K pour les horizons A et B des sols sélectionnés.

TABLEAU 4 - Pouvoirs tampons selon BECKETT (PBC) et CEC obtenues lors de la réalisation des isothermes

Echantillons	PBC [(me/100 g) / (mole/L) ^{1/2}]	CEC (K+ Ca) (me/100 g)
CH1-Ap1	8.5	8.8
LS1-Ap1	3.4	8.5
ED1-Ap1	4.9	7.0
LG2-Ap1	6.3	24.1
SM1-Ap1	9.3	6.5
MV2-Ap1	13.0	10.9
CO2-Ap	13.0	10.4
RL1-Ap1	11.0	14.8
RL3-Ap1	12.6	12.1
GF1-AB1	13.4	8.4

Propriétés d'échange et fertilisation.

Les propriétés d'échange ionique des sols de bananeraies martiniquaises permettent d'expliquer les résultats des essais en champs menés par J. GODEFROY et Micheline DORMOY (12). Les sols développés sur cendres et ponces (sols peu évolués et andosols) se révèlent être les moins sélectifs pour le potassium qui est donc très sensible à la lixiviation dans ces matériaux. Seul un fractionnement adéquat de la fumure permet d'assurer une nutrition potassique régulière à la plante. Les sols brunifiés possèdent une sélectivité potassique importante, ce qui facilite le relèvement et le maintien du taux de potassium suite à un apport. Le ferrisol présente une affinité moindre pour le potassium et cet élément peut y être rapidement lixivié.

Pour remédier à ces problèmes et afin d'établir un calendrier de fertilisation qui réponde aux exigences de la plante et tienne compte des contraintes liées au sol, tout en évitant les excédents, J. GODEFROY et Micheline DORMOY (12) ont défini les paramètres suivants :

SCP : hauteur de pluie cumulée depuis le dernier épandage qui provoque la lixiviation du potassium qui n'a pas été absorbé par la plante,

Kmaxi : teneur en potassium au-dessus de laquelle la lixiviation et donc la perte de l'élément nutritif devient trop importante.

Suite aux études relatives à la dynamique des éléments fertilisants, des valeurs ont été attribuées à ces paramètres en fonction du type de sol (tableau 5).

Il est possible d'obtenir des valeurs similaires à partir du traitement des isothermes d'échange Ca-K (tableau 5). La teneur maximale critique (Kmaxi) peut être estimée par le produit $\alpha \cdot \text{CEC}$ c'est-à-dire le nombre de sites spécifiques de l'échangeur pour l'ion K. Ce paramètre chiffre la quantité maximale de potassium échangeable au-delà de laquelle les pertes par lixiviation seraient trop importantes en raison de la saturation des sites à sélectivité potassique. D'autre part, la comparaison des valeurs du coefficient de sélectivité de *Gapon* mesurées pour une fraction équivalente en solution $N_K = 0.04$ ($K_G, 0.04$) avec les valeurs de SCP obtenues sur le terrain pour les mêmes types de sols permet d'estimer que pour les sols présentant une valeur de $K_G, 0.04$ [selon l'équation (4)] inférieure à 15 pour une concentration totale de 0.01 N de la solution d'équilibre, il y a risque de lixiviation ($\text{SCP} \approx 200\text{-}250$ mm H₂O).

CONCLUSION

L'échange ionique $\text{Ca}^{+2} - \text{K}^+$ a été étudié sur dix sols représentatifs de la bananeraie martiniquaise. Cette étude montre que le comportement d'échange du potassium diffère en fonction du type de sol, en particulier de son état d'altération et de la nature du complexe absorbant. La

TABLEAU 5 - Comparaison entre les paramètres SCP et Kmaxi obtenus suite à des essais en champs et les données obtenues par l'étude de l'échange ionique.

Types de sols	Echantillons	SCP (mm)	Kmaxi (me/100 g)	$\alpha \cdot \text{CEC}$ (me/100 g)	$K_G(\text{KAR} = 0.04)$
Sols peu évolués (ponces)	CH1-Ap1	200-250	0.8	1.29	12.0
	LS1-Ap1			0.30	4.2
Andosols (ponces)	ED1-Ap1	200-250	0.6	0.27	4.1
	LG2-Ap1			0.96	1.6
Andosols (tufs)	SM1-Ap1	-	-	1.55	16.4
Sols bruns à halloysite (tufs)	MV2-Ap1	-	-	3.48	28.7
	CO2-Ap	-	-	3.11	33.5
	RL1-Ap1	-	-	9.89	18.7
	RL3-Ap1	-	-	2.60	20.1

modélisation de l'isotherme d'échange $\text{Ca}^{+2} - \text{K}^{+}$ conduit à l'évaluation du nombre de sites spécifiques du potassium. Celui-ci est très réduit dans les sols d'altération de ponces et est à l'origine de la lixiviation rapide du potassium dans ces matériaux. Le nombre de sites d'échange adsorbant sélectivement l'ion K augmente dans les sols sur tufs, et ce, corrélativement à la disparition progressive des allophanes et à l'augmentation du contenu relatif en halloysite. La sélectivité potassique diminue très vite dans le ferrisol, où la kaolinite devient le minéral argileux dominant.

Ces résultats convergent avec les observations antérieures concernant la dynamique du potassium en système cultivé. Le nombre de sites adsorbant sélectivement le potassium peut être assimilé à la teneur maximale en potassium [K_{max} , (12)] au-delà de laquelle les pertes par

lixiviation deviennent trop importantes.

Par ailleurs, le risque de lixiviation (SCP) peut être estimé par la mesure du coefficient de sélectivité K_G . La démarche physico-chimique utilisée montre donc que l'on dispose d'un «outil» analytique permettant de prévoir le comportement d'échange du potassium dans les sols et donc de passer rapidement à l'avertissement climatique sans devoir répéter des études en champs.

REMERCIEMENTS

La caractérisation physico-chimique des sols a été réalisée au Laboratoire des Sols du GERDAT. Les auteurs expriment leur reconnaissance à P. FALLAVIER et son équipe.

BIBLIOGRAPHIE

1. BECKETT (P.). 1964a.
Potassium-Calcium exchange equilibria in soils : specific adsorption sites for potassium.
Soil Sci., 97 (6), 376-383.
2. BECKETT (P.). 1964b.
The «immediate» Q/I relations of labile potassium in the soil.
Soil J. Soil. Sci., 15, 9-23.
3. BLAKEMORE (L.C.). 1983.
Acid oxalate-extractable iron, aluminium and silicon.
Circular letter n° 5, appendix 1, International Committee on the classification of Andosols ICOMAND. New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
4. BOLT (G.H.), SUMNER (M.E.) and KAMPHORST (A.). 1963.
A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil.
Soil Sci. Soc. Proc., 27, 294-299.
5. CARSON (C.D.) and DIXON (J.B.). 1972.
Potassium selectivity in certain montmorillonitic soil clays.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36, 838-843.
6. CHURCHMAN (G.J.), WHITTON (J.S.), CLARIDGE (G.G.C.) and THENG (B.K.G.). 1984.
Intercalation method using formamide for differentiating halloysite from kaolinite.
Clays Clay Miner., 32 (4), 241-248.
7. DELVAUX (B.). 1988.
Constituants et propriétés de surface des sols dérivés de pyroclastes basaltiques du Cameroun occidental.
Approche génétique de leur fertilité.
These U.C.L., Louvain, 335 p.
8. DUFÉY (J.) et DELVAUX (B.). 1988.
Modelling potassium-calcium exchange isotherms in soils.
soumis pour publication (Soil Sci. Soc. Amer. J.).
9. FONTAINE (S.). 1988.
Propriétés de surface et constituants de sols volcaniques de la Martinique.
Relation avec la dynamique du potassium en culture bananière.
Mémoire U.C.L., Louvain, 97 p.
10. GANRY (J.). 1984.
Evolution des techniques culturales et des systèmes de culture bananière aux Antilles françaises.
Fruits, Jan. 1984, 39 (1), 43-49.
11. GESSA (C.). 1970.
Lo scambio Ca-K sui materiali allophanici.
Agrochimica, XIV, 2-3, 188-197.
12. GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline). 1983.
Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans les sols de bananeraies martiniquaises.
Fruits, Mai 1983, 38 (5), 373-387 ; Jun. 1983 (6), 451-459.
13. GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline) 1984.
Un exemple d'utilisation du diagnostic sol à la programmation de la fertilisation en bananeraie.
Fruits, Feb. 1984, 39 (2), 121-123.
14. GRUNEVOLD (H.). 1961.
Carte géologique de la Martinique.
Note explicative. Echelle 1/50 000.
Ministère de l'Industrie, Paris, Imprimerie Nationale.
15. LEAMY (M.). 1988.
Circular letter N° 10. International committee on the classification of the Andosols.
ICOMAND, New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
16. MARTIN-PREVEL (P.). 1980.
La nutrition minérale du bananier dans le monde.
Fruits, Sep. 1980, 35 (9), 503-518 ; Oct. (10), 583-593.
17. MENGEL (K.) and KIRBY (E.A.). 1982.
Principles of plant nutrition.
International Potash Institute, 3e ed., Bern, Switzerland.
18. OKAMURA (Y.) and WADA (K.). 1984.
Ammonium-Calcium exchange equilibria in soils and weathered pumices that differ in cation-exchange materials.
J. Soil Sci., 35, 387-396.
19. PARFITT (R.L.) and HENMI (T.). 1982.
Comparison of an oxalate-extraction method and a infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays.
Soil Sci. Plant Nutr., 28 (2), 183-190.
20. PERROT (K.W.). 1981.
Effect of pH and aluminosilicate composition on K-Mg exchange selectivity of amorphous aluminosilicate.
Geoderma, 26, 311-322.
21. SCHACHTSCHABEL (P.). 1940.
Untersuchung über die Sorption der tonmineralien and organischen Bodenkolloide, und die Bestimmung des Anteils dieser kolloide and der Sorption in Boden.
Kolloide-Beihfte, 51, 199-276.
22. U.S. SALINITY STAFF. 1954.
Diagnosis and improvement of saline and alcali soils.
USDA Agric. Handbook, n° 60.

**KENNDATEN DES IONENAUSTAUSCHS VULKANISCHER
BÖDEN AUF MARTINIQUE.
ANWENDUNG AUF DIE PROGRAMMIERUNG DER
KALIDÜNGERAUFLAGE.**

Sylvie FONTAINE und B. DELVAUX.

Fruits, Mar. 1989, vol. 44, nº 3, p. 123-133.

KURZFASSUNG - Zehn repräsentative Bodentypen der Bananenplantagen von Martinique sind ausgewählt worden. Für jedes Bodenprofil wurden Ca-K-Austausch-Isothermen erstellt, die die unterschiedlichen Verhaltensmuster der jeweiligen Bodentyps nachweisen. Wenig entwickelte Böden und Lavaböden auf Naturbimsstein weisen praktisch keine Kali-Selektivität auf und von diesem Gestein wird Kalium nicht spezifisch gespeichert. In Braunerde auf Tuff steigt die Kali-Affinität mit dem allmählichen Verschwinden der Allophane und dem Anstieg des Halloysitanteils im Vergleich zum Kaolinit. Sie geht im eisenhaltigen Boden sehr zurück, wo Kaolinit als toniges Material vorherrscht. Diese, mit den Feldversuchen übereinstimmenden Ergebnisse zeigen, wie nützlich es für den Landwirt ist, die Probleme der Bodendüngung physikalisch und chemisch zu lösen. Anhand der Analyse des Ca-K-Ionenaustauschs in diesen Böden ist nämlich die Möglichkeit einer Bewertung der Bodenauslaugung gegeben.

**PROPIEDADES DE INTERCAMBIO IONICO DE SUELOS
VOLCANICOS DE MARTINICA.
APPLICACION A LA PROGRAMACION DEL ABONADO
POTASICO.**

Sylvie FONTAINE y B. DELVAUX.

Fruits, Mar. 1989, vol. 44, nº 3, p. 123-133.

RESUMEN - Se han seleccionado diez suelos representativos de la variabilidad pedológica del platano martiniqués. Se han efectuado para cada perfil isoterma de intercambio Ca-K. Estas ponen en evidencia diferencias de comportamiento ligadas al tipo de suelo. Los suelos poco evolucionados y los andosuelos sobre pómez no presentan prácticamente selectividad potásica: el potasio no se retiene específicamente en estos materiales. En los suelos bruñidos sobre tobas, la afinidad potásica crece con la desaparición progresiva de los alofanos y el aumento del contenido en halloysita, relativamente con la kaolinita. Disminuye considerablemente en el ferrisuelo donde la kaolinita es el mineral arcilloso dominante. Estos resultados, que convergen con los ensayos en campos, muestran la utilidad para el agrónomo del enfoque físico-químico en lo que concierne los problemas de fertilización de los suelos. En efecto, es posible evaluar la importancia de la lixiviación del potasio a partir del estudio del equilibrio de intercambio iónico Ca-K en estos materiales.

