

Comportement d'échange du potassium dans les sols de la bananeraie guadeloupéenne. Application à la programmation de la fumure potassique.

B. DELVAUX, L. VIELVOYE et M. DOREL*

POTASSIUM EXCHANGE BEHAVIOUR IN SOILS UNDER BANANA CULTIVATION IN GUADELOUPE. APPLICATION TO THE MANAGEMENT OF K FERTILIZATION. B. DELVAUX, L. VIELVOYE and M. DOREL.

Fruits, Jan.-Feb. 1991, vol. 46, n° 1, p. 3-11.

ABSTRACT - Banana crop is a high K demanding crop hence knowing field K dynamics in soils is essential to rationalize K supply to the plant. The susceptibility of K to leaching may be predicted by establishing K exchange behaviour in soils.

Ca-K exchange equilibria have been performed in 9 soils representative of the banana area of Guadeloupe (F.W.I.) at 20°C, pH 4 and a total salt concentration of 0.01 N in the equilibrium solution. The andosols have a low selectivity for K ions whereas the brown andic soils and brown halloysitic soils exhibit a high selective adsorption of K. In the ferrallitic soils, there is an apparent relationship between the presence of halloysite and the selectivity of the soil exchanger for K ions.

These differences are reflected by the high variation in the computed amount of K specific sites (0.3 - 9.0 meq/100 g), i.e. the soil K level over which leaching loss in K is excessive. In the light of previous research, these results lead to propose a modulation of K fertilizer supply according to soil type and rainfall pattern.

COMPORTEMENT D'ECHANGE DU POTASSIUM DANS LES SOLS DE LA BANANERAIE GUADELOUPEENNE. APPLICATION A LA PROGRAMMATION DE LA FUMURE POTASSIQUE.

B. DELVAUX, L. VIELVOYE et M. DOREL.

Fruits, Jan.-Feb. 1991, vol. 46, n° 1, p. 3-11.

RESUME - La culture bananière est particulièrement exigeante en potassium et la connaissance de la dynamique saisonnière de cet élément est primordiale pour l'établissement d'une fumure raisonnée. L'importance de la lixiviation du potassium au champ peut être prédite à partir de la connaissance des interactions entre cet élément et les surfaces adsorbantes des sols, c'est-à-dire leurs propriétés d'échange ionique.

L'échange ionique $Ca^{2+}-K^+$ est étudié dans neuf profils représentatifs de la bananeraie guadeloupéenne, à 20°C, pH 4 et à une concentration totale en sels de 0.01 N dans la solution d'équilibre.

La rétention du potassium est faible dans les andosols alors que les sols bruns andiques et brun rouille à halloysite possèdent une forte capacité de stockage pour cet élément. Dans les sols ferrallitiques, il existe une relation apparente entre la présence d'halloysite et l'affinité du complexe d'échange pour l'ion K^+ .

Ces différences de comportement se traduisent par une grande variation du nombre de sites d'adsorption spécifique du potassium (0.3-9 meq/100 g sol), assimilable à la teneur maximale critique en cet élément. Compte tenu de travaux antérieurs, ces résultats permettent de proposer une modulation de la fumure potassique en fonction du type de sol et de la pluviosité.

INTRODUCTION

L'exigence du bananier en potassium est bien connue (MARTIN-PREVEL, 1984) et la fertilisation doit tendre vers une nutrition régulière de la plante en cet élément, au même titre que les apports azotés. En outre, la part de la

fertilisation dans le prix de revient (sortie hangar) nécessite qu'elle soit conduite à bon escient, en minimisant les pertes par lixiviation qui s'avèrent être les plus importantes en grande culture (GODEFROY, 1982).

La connaissance de la dynamique saisonnière des éléments fertilisants permet d'estimer leur sensibilité à la lixiviation et de moduler les apports en fonction du type de sol et de la pluviosité (GODEFROY et DORMOY, 1983). Trois paramètres conduisent à une telle modulation (GODEFROY et DORMOY, 1984) : (1) le Seuil Critique de Pluie (SCP), hauteur de pluie cumulée (apport par aspersion > 30 mm inclus) depuis le dernier apport au-delà de laquelle les éléments non absorbés par la plante sont lixiviés, (2) teneurs minimales critiques (K_{mini} , N_{mini})

* - B. DELVAUX - IRFA - B.P. 153 - 97202 FORT DE FRANCE Cedex (Martinique).

Adresse actuelle : Unité Science du Sol, UCL, Place Croix du Sud, 2, 1348 LOUVAIN-LA-NEUVE, Belgique.

L. VIELVOYE - MRAC/CIFA, UCL, Place Croix du Sud, 1, 1348 LOUVAIN-LA-NEUVE, Belgique.

M. DOREL - IRFA/CIRAD, Station de Neufchâteau, Sainte Marie, 97130 CAPESTERRE-BELLE-EAU (Guadeloupe).

en-deçà desquelles la probabilité de déficience est élevée, et (3) teneurs maximales critiques (K_{maxi} , N_{maxi}) au-delà desquelles les pertes par lixiviation deviennent excessives.

La fréquence des apports est déterminée par la valeur du SCP et les doses fertilisantes visent à garantir des teneurs en N, K supérieures aux teneurs minimales critiques mais inférieures aux teneurs maximales critiques de manière à satisfaire la demande de la plante et à éviter les pertes excessives par lixiviation (GODEFROY et DORMOY, 1988 et 1989). Ces divers paramètres du système d'avertissement ont été définis à partir d'expérimentations menées à la Martinique (GODEFROY et DORMOY, 1983). Dans le cas du potassium, la variation de la dynamique saisonnière dans les sols de bananeraies martiniquaises est liée aux propriétés d'échange ionique de ceux-ci : ces propriétés révèlent une adsorption spécifique de cet élément hautement variable en fonction du type de sol et plus particulièrement de la nature et de l'importance des constituants du complexe d'échange (FONTAINE et DELVAUX, 1989). Ces derniers auteurs ont montré que la teneur maximale critique en K^+ peut être évaluée par le nombre de sites d'adsorption spécifique du potassium estimé par référence à un modèle à deux sites (DUFÉY et DELVAUX, 1989) et que le risque de lixiviation était élevé pour une valeur du coefficient de Gapon $K_{G,0.04}$ inférieure à 15 ($\text{mole.L}^{-1})^{-1/2}$, mesurée pour une fraction équivalente en K^+ de 0.04 dans la solution d'équilibre.

La connaissance des propriétés d'échange ionique des sols de la bananeraie guadeloupéenne devrait donc permettre, par extrapolation des résultats acquis à la Martinique, d'établir les bases d'une programmation de la fumure potassique en fonction du régime pluviométrique et du type de sol.

MATERIAUX ET METHODES

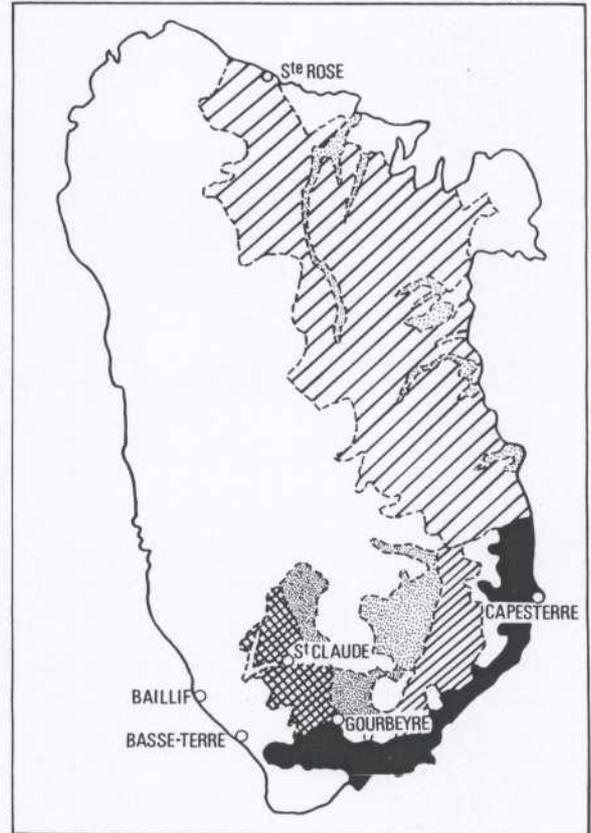
Les sols. La bananeraie guadeloupéenne est localisée en «basse terre» dont le contexte pédologique et climatique a été décrit par COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965). Plus récemment, une partition de la bananeraie en zones pédo-climatiques a été établie et les principaux facteurs d'influence du rendement y ont été identifiés par voie d'enquête diagnostic (DOREL et PERRIER, 1990) : cette partition est illustrée à la figure 1. Trois grands «ensembles» peuvent être définis :

- «Côte sous le vent» : séquence andosol \rightarrow sol brun andique (sols dérivés de «tuffs» andésitiques quaternaires).

- «Côte au vent» : séquence andosol \rightarrow sol brun andique \rightarrow sol brun à halloysite (sols dérivés de «tuffs» andésitiques quaternaires).

- Sols ferrallitiques à halloysite ou à kaolinite, dérivés de matériaux volcaniques plus anciens.

Neuf profils représentatifs de la bananeraie guadeloupéenne ont été sélectionnés, décrits et échantillonnés (tableau 1). En côte sous le vent (HM, SA, GM) comme en côte au vent (LM, NF, ML, CH), la distribution spatiale des sols répond à une chrono-topo-climosequence caractérisée par une perte progressive des caractères andiques parallèlement à une diminution de la pluviométrie et de l'altitude



Zone 1	- sol brun à halloysite
Zone 2	- sol brun andique (côte au vent)
Zone 2'	- andosol (côte au vent)
Zone 3	- andosol perhydraté (côte au vent)
Zone 4	- sol brun andique et andosol (côte sous le vent)
Zone 5	- andosol perhydraté (côte sous le vent)
Zone 6	- sol ferrallitique
Zone 6'	- alluvions argileuses

Fig. 1 • ZONES PEDO-CLIMATIQUES DE LA BANANERAIE GUADELOUPEENNE (DOREL et PERRIER, 1990).

(tableau 1). Les différences de régimes pluviométriques apparaissent entre les côtes au vent et sous le vent : à altitude similaire, la pluviométrie est nettement plus élevée en côte au vent.

Pour chaque profil échantillonné, un couple d'horizons A-B a été retenu et leurs principales caractéristiques physico-chimiques figurent aux tableaux 2 a et 2 b.

Propriétés d'échange. Les propriétés d'échange ionique ont été étudiées par l'établissement de l'isotherme d'échange $\text{Ca}^{2+}\text{-K}^+$ à 20°C, pH 4, et une concentration totale en sels 0.01 N. La courbe isotherme est établie après mise à l'équilibre des échantillons avec 6 solutions mixtes $\text{CaCl}_2\text{-KCl}$ de fraction ionique équivalente en K^+ (N_K) variant de 0.04 à 0.98. Les fractions ioniques équivalentes en potassium se définissent comme suit :

$$\text{en phase solution : } N_K = K/(K + \text{Ca}) \text{ (meq/L)/(meq/L)} \quad (1)$$

$$\text{en phase surface : } \bar{N}_K = K/(K + \text{Ca}) \text{ (meq/100 g/meq/100 g)} \quad (2)$$

TABLEAU 1 - Profils étudiés.

Sigle	Type de sol (*)	Altitude (m)	Pluviométrie moyenne annuelle (mm)	Habitation (Commune)
HM (1)	Andosol perhydraté	750	4000	Haut Matouba (St Claude)
SA (1)	Andosol	500	3500	Ste Anne (St Claude)
GM (1)	Sol brun andique	400	3000	Grand Marigot (Baillif)
BR (2)	Andosols perhydraté	420	> 4000	Bois Rouge (Capesterre)
NF (2)	Andosol	270	3500	Neufchâteau (Capesterre)
ML (2)	Sol brun andique	90	3000	Moulin à eau (Capesterre)
CH (2)	Sol brun rouille à halloysite	30	2500	Changy (Capesterre)
MB	Sol ferrallitique à halloysite	200	3000	Montebello (Petit Bourg)
CA	Sol ferrallitique à kaolinite	30	2000	Caillou (Ste Rose)

* - COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965).

(1) - Côte sous le vent

(2) Côte au vent

TABLEAU 2a - Principales caractéristiques physico-chimiques des horizons A et B.

Profil	Horizon (profondeur)	Argile % (*)	Limon	Sable	C %	N %	P ppm	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	H	CEC	pH	
																H ₂ O	KCl
HM	Ap (0-30)	34.1	43.1	22.8	3.96	0.30	441.0	0.72	0.40	0.05	0.38	1.85	0.02	0.14	3.49	4.75	4.05
	Bw (30-80)	33.2	51.6	15.3	3.08	0.22	16.0	0.09	0.05	0.04	0.13	0.60	0.01	0.07	1.23	4.60	4.00
SA	Ap (0-30)	26.4	40.8	32.8	4.24	0.33	800.0	2.30	0.66	0.01	0.56	0.68	0.04	0.07	4.39	5.10	4.25
	Bw2 (55-30)	23.1	52.3	24.5	2.10	0.13	14.0	1.00	0.23	0.01	0.10	0.09	0.01	0.01	2.13	6.65	5.75
GM	Ap (0-45)	36.0	39.0	24.3	2.17	0.17	76.0	4.59	1.44	0.04	1.55	0.06	0.04	0.03	7.75	5.75	4.80
	Bw1 (45-75)	20.4	49.4	30.2	1.44	0.11	23.0	2.10	0.50	0.04	0.12	0.06	0.01	0.01	3.30	5.85	5.05
BR	Ap (0-20)	51.1	34.3	14.7	5.59	0.53	350.0	5.29	2.33	0.12	0.19	0.00	0.03	0.00	8.02	5.70	4.80
	Bw (20-60)	25.3	20.1	54.6	3.03	0.23	9.0	0.37	0.08	0.02	0.04	0.06	0.00	0.01	1.40	5.50	5.00
NF	Ap (0-25)	42.2	39.3	23.4	5.58	0.51	138.0	2.82	2.33	0.10	0.93	0.00	0.10	0.02	6.12	5.25	4.50
	Bw1 (25-50)	4.9	18.4	71.8	2.55	0.18	7.0	0.88	0.42	0.05	0.08	0.48	0.02	0.02	2.21	6.25	5.40
ML	Ap (0-20)	34.9	38.0	39.1	2.88	0.22	83.0	4.50	2.46	0.06	0.86	0.06	0.04	0.03	7.96	5.35	4.50
	Bw1 (20-60)	45.7	27.0	15.1	0.89	0.08	14.0	4.00	2.18	0.30	0.07	0.00	0.02	0.00	7.17	5.65	4.90
CH	Ap (0-35)	75.5	75.0	9.4	1.06	0.14	41.0	3.76	2.28	0.01	0.37	0.00	0.35	0.01	7.16	5.45	4.60
	Bw1 (35-80)	75.1	16.2	8.8	0.50	0.05	0.8	3.58	1.70	0.55	0.24	0.00	0.10	0.01	6.20	5.50	4.50
MB	Ap (0-40)	66.7	15.9	17.5	1.25	0.11	12.0	4.33	1.11	0.02	0.50	0.00	0.45	0.00	6.48	5.30	4.50
	Bw1 (40-80)	79.1	5.9	15.0	0.82	0.07	0.1	1.85	0.75	0.07	0.15	1.65	0.06	0.22	5.52	4.80	4.05
CA	Ap (0-20)	82.1	10.1	8.0	2.03	0.15	2.3	2.29	1.18	0.02	1.20	0.35	0.13	0.12	5.41	5.10	4.30
	Bw2 (60-110)	57.4	19.9	15.2	0.92	0.07	0.1	4.60	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	5.28	5.80	5.00

* après dispersion aux ultra-sons

** - méthode cobaltihexamine

TABLEAU 2b - Valeurs de la densité apparente et de l'humidité pondérale correspondante dans les horizons A et B retenus.

Profil	Horizon	Profondeur (cm)	Densité apparente (g/cm ³)	Humidité pondérale (p. 100)
HM	Ap	0-30	0.52	133
	Bw	30-80	0.51	131
SA	Ap	0-30	0.76	71
	Bw2	30-55	0.56	107
GM	Ap	0-45	1.13	43
	Bw1	45-75	0.82	63
BR	Ap	0-20	0.53	126
	Bw	20-60	0.41	190
NF	Ap	0-25	0.54	131
	Bw1	25-50	0.42	175
ML	Ap	0-20	0.99	50
	Bw1	20-60	0.73	67
CH	Ap	0-35	1.15	44
	Bw1	35-80	0.96	54
MB	Ap	0-40	1.17	34
	Bw1	40-80	0.97	53
CA	Ap	0-20	1.09	42
	Bw2	60-110	1.12	37

La courbe isotherme décrit la variation de \bar{N}_K en fonction de N_K . L'affinité de l'échangeur pour le potassium peut être définie numériquement en chaque point d'équilibre par la valeur du coefficient de sélectivité de Gapon K_G , défini à partir de la réaction d'échange suivante :



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

où K_{ads} et Ca_{ads} = meq K^+ et Ca^{2+} adsorbés par 100 g sol, (K) et (Ca) = activités ioniques en solution.

Sur base de l'expression (2), l'équation (4) peut s'écrire :

$$K_G = \frac{\bar{N}_K/\bar{N}_{\text{Ca}}}{\text{KAR}} \quad (\text{mole.L}^{-1})^{-1/2} \quad (5)$$

où KAR, communément appelé le «potassium adsorption ratio» désigne le rapport d'activités ioniques en solution $(\text{K})/(\text{Ca})^{1/2}$ $(\text{mole.L}^{-1})^{1/2}$.

Une quantification du nombre de sites d'adsorption spécifique du potassium est obtenue par calcul des paramètres du modèle à deux sites à partir des points expérimentaux (DUFEY et DELVAUX, 1989).

Les constituants. Une estimation semi-quantitative des constituants minéraux à organisation à courte distance (autrefois dénommés «amorphes») est obtenue après extraction au tampon oxalate d'ammonium-acide oxalique pH 3 et l'aluminium intervenant dans les complexes organo-métalliques («Humus-Al») est extrait au pyrophosphata-

te de soude, selon des méthodes décrites par ailleurs (PARFITT et WILSON, 1985). La réactivité anionique de ces constituants est mesurée par leur rétention en anions phosphates (BLAKEMORE, 1983).

Dans les sols dépourvus de caractères andiques, les minéraux argileux sont identifiés par diffraction des rayons X de la fraction argileuse extraite après attaque à froid à l'eau oxygénée (H_2O_2 6 %) et élimination des oxydes libres au dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) (MEHRA et JACKSON, 1960). Le contenu relatif en halloysite par rapport à la kaolinite est estimé par l'intensité relative de leurs réflexions d001 mesurées par diffraction aux rayons X sur fractions argileuses prétraitées à la formamide (CHURCHMAN *et al.*, 1984).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractérisation des sols.

Les résultats repris dans les tableaux 2 et 3 montrent bien le parallélisme entre les propriétés physico-chimiques des sols étudiés et la perte progressive des caractères andiques. Les andosols HM, SA, BR et NF se distinguent par des teneurs plus élevées en matière organique (%C) et des taux d'argile moindres (tableau 2a). Les valeurs de densité apparente sont faibles dans les sols HM, SA, BR et NF ($0.5-0.8 \text{ g/cm}^3$) et plus élevées dans les sols dépourvus de caractères andiques ($0.85-1.15 \text{ g/cm}^3$) (tableau 2b). Les valeurs de CEC et les teneurs en bases échangeables, telles que déterminées par la méthode d'extraction au cobalt-hexamine, sont généralement faibles.

TABLEAU 3 - Teneurs en éléments extraits à l'oxalate (o) et au pyrophosphate (p), valeurs de rétention en phosphore et estimation des teneurs en allophane et ferrihydrite.

Profil	Horizon	Si _o	Al _o %	Fe _o	Al _p	Fe _p	Rétention P (%)	(Al _o -Al _p)/Al _o	Allophane (*) %	Ferrihydrite (*) %
HM	Ap (0-30)	0.53	2.72	2.51	1.89	2.09	89.0	0.30	3	4.2
	Bw (30-80)	1.61	4.57	3.00	0.97	0.86	99.2	0.78	13	5.1
SA	Ap (0-30)	1.60	3.84	1.85	0.91	0.61	85.8	0.76	11	3.1
	Bw2 (55-90)	3.18	5.89	1.89	0.36	0.06	96.6	0.94	22	3.2
GM	Ap (0-45)	0.48	1.23	1.53	0.55	0.60	59.0	0.55	3	2.6
	Bw1 (45-75)	2.68	4.30	1.38	0.24	0.03	85.8	0.94	17	2.3
BR	Ap (0-20)	0.64	3.23	2.71	2.49	2.76	93.8	0.22	4	4.6
	Bw (20-60)	3.39	8.66	1.43	0.84	0.27	97.2	0.90	29	2.4
NF	Ap (0-25)	1.32	3.69	2.37	1.36	1.39	93.4	0.63	9	4
	Bw1 (25-50)	3.24	7.44	3.08	0.42	0.07	98.2	0.94	26	5.2
ML	Ap (0-20)	1.38	3.05	1.46	0.96	0.47	88.2	0.68	9	2.5
	Bw1 (20-60)	2.91	4.68	1.73	0.36	0.12	92.4	0.92	18	2.9
CH	Ap (0-35)	0.00	0.40	0.59	0.25	0.50	48.0	-	0	1
	Bw1 (35-80)	0.00	0.29	0.20	0.14	0.15	54.5	-	0	0.3
MB	Ap (0-40)	0.00	0.33	0.61	0.32	1.08	53.5	-	0	1
	Bw1 (40-80)	0.00	0.24	0.13	0.36	1.04	60.0	-	0	0.2
CA	Ap (0-20)	0.00	0.27	0.27	0.31	0.99	48.0	-	0	0.4
	Bw2 (60-110)	0.00	0.24	0.12	0.12	0.07	57.5	-	0	0.2

* - estimés selon la méthode proposée par MIZOTA et VAN REEUWIJK (1989).

L'extraction des éléments Si, Al, Fe intervenant dans la constitution des matériaux à organisation à courte distance (autrefois dénommés «amorphes») et des composés organiques permet d'estimer, sur une base semi-quantitative, les teneurs en allophane et ferrihydrite (tableau 3). Comme attendu, ces résultats visualisent bien la disparition des allophanes dans les sols brunifiés et ferrallitiques (CH, MB, CA) et la diminution parallèle de la rétention en phosphore. Dans les sols à caractères andiques prononcés, les teneurs en allophane sont généralement très faibles dans les horizons de surface. Dans les horizons A des andosols perhydratés HM et BR, les valeurs faibles du rapport (Alo-Alp)/Alo, qui reflète la proportion d'Al «amorphe» minéral relativement à l'Al «amorphe» total, suggèrent que le complexe d'échange est dominé dans ces horizons par des complexes organiques riches en aluminium («Humus-Al») (MIZOTA et VAN REEUWIJK, 1989).

Une caractérisation minéralogique sommaire montre que le contenu relatif en halloysite par rapport à la kaolinite est maximal dans le sol brun andique ML (0.95), diminue dans le sol brun rouille à halloysite CH (0.85) et le sol ferrallitique à halloysite (0.55). L'halloysite n'est pas détectée dans le sol ferrallitique à kaolinite CA.

Propriétés d'échange et relations avec les constituants.

Les résultats sont illustrés aux figures 2a-b et 3a-b et au tableau 4. Les valeurs de CEC mesurées par l'échange $\text{Ca}^{2+}-\text{K}^+$ à pH 4 (tableau 4) sont généralement plus élevées que celles obtenues par la méthode cobaltihexamine à approximativement le même pH (tableau 2). Ceci pourrait peut-être traduire des effets liés à la force ionique ou à l'accessibilité aux surfaces internes de l'ion cobaltihexamine. Dans les figures 2a et 2b, sont considérés (1) les sols

de la séquence dérivée de tuffs andésitiques sise en côte au vent (BR \rightarrow CH) et (2) les sols ferrallitiques (MB, CA). Pour chaque sol, les courbes isothermes montrent une sélectivité d'échange pour le potassium systématiquement supérieure dans les horizons B, révélant, comme attendu, une affinité de l'échangeur plus prononcée pour le calcium dans les horizons A, en raison de leurs teneurs en matière organique plus élevées (tableau 2a).

La variation séquentielle de la sélectivité potassique de l'échangeur est très semblable à celle observée sur des séquences de sols similaires dans d'autres régions (DELVAUX, 1989 ; FONTAINE et DELVAUX, 1989). L'andosol perhydraté BR montre une très faible affinité potassique se traduisant par un nombre réduit de sites d'adsorption spécifique de cet élément (tableau 4). La sélectivité potassique de l'échangeur est légèrement supérieure dans l'andosol NF et devient maximale dans le sol brun andique ML où le nombre de sites spécifiques pour le potassium atteint des valeurs considérables [4.1 (A) et 9.7 (B) meq/100 g ; tableau 4]. L'affinité potassique de l'échangeur diminue ensuite dans le sol brun rouille à halloysite CH et le sol ferrallitique à halloysite MB. La courbe isotherme se rapproche de la droite de non préférence dans le sol ferrallitique à kaolinite Ca : ce comportement est tout à fait similaire à celui observé sur d'autres sols à kaolinite prédominante (DELVAUX 1989 ; FONTAINE et DELVAUX, 1989) et sur des kaolinites de référence (DELVAUX, 1988). Dans le sol ferrallitique à kaolinite CA, le nombre de sites spécifiques pour l'ion K^+ est réduit (0.8-0.9 meq/100 g ; tableau 4).

La variation séquentielle de l'intensité de l'adsorption sélective de l'échangeur pour le potassium est aussi illustrée à la figure 2b. Cette figure montre également l'hétérogénéité de comportement des sites d'échange vis-à-vis du potas-

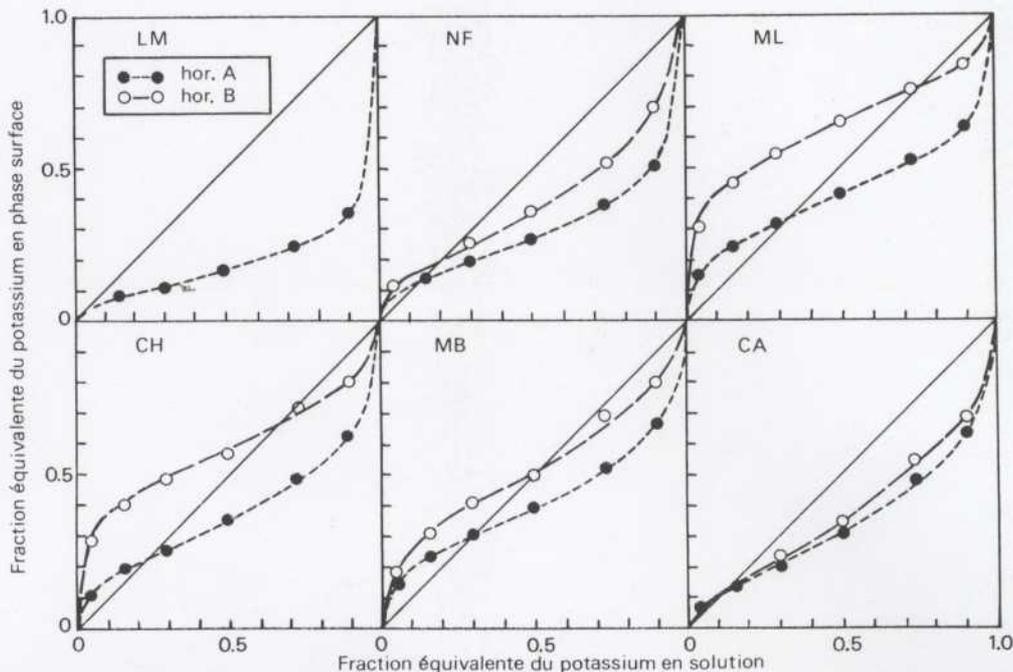


Fig. 2a • ISOTHERMES D'ÉCHANGE $\text{Ca}^{2+}-\text{K}^+$ SUR TERRE FINE (<2mm) POUR LES HORIZONS A ET B DES SOLS DE LA CÔTE AU VENT ET DES SOLS FERRALLITIQUES.

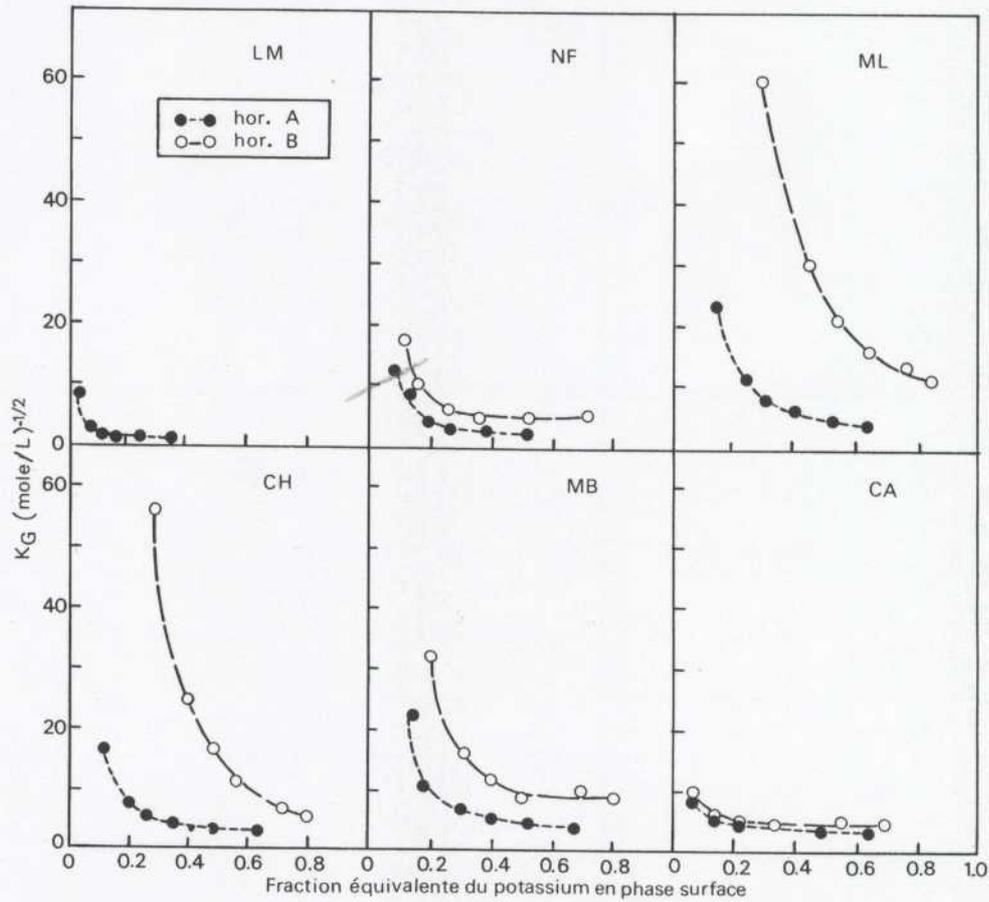


Fig. 2b • VARIATION DU COEFFICIENT DE GAPON K_G EN FONCTION DE LA SATURATION EN K^+ DES SITES D'ÉCHANGE DANS LES HORIZONS A ET B DES SOLS DE LA CÔTE AU VENT ET DES SOLS FERRALLITIQUES.

TABLEAU 4 - Valeur de la capacité d'échange cationique à pH 4 après équilibration avec des solutions mixtes $CaCl_2-KCl$ de concentration totale 0.01 N, mesurées par la somme des espèces ioniques adsorbées ($K^+ + Ca^{2+}$). Estimation du nombre de sites spécifiques pour l'ion K^+ (sites - K^+) - Valeur du coefficient K_G mesurée pour une solution d'équilibre de fraction équivalente en $K = 0.04$ ($K_{G,0.04}$).

Profil/Horizon		($K^+ + Ca^{2+}$) meq/100 g	Sites- K^+	$K_{G,0.04}$ (mole.L ⁻¹) ^{-1/2}
HM	Ap	7.90	0.31	7.1
SA	Ap	7.30	0.51	10.0
	Bw2	2.54	0.5	21.9
GM	Ap	10.44	2.1	18.1
	Bw1	4.09	0.9	19.8
BR	Ap	13.51	0.4	5.3
NF	Ap	8.59	0.9	12.8
	Bw1	2.74	0.38	17.7
ML	Ap	13.64	4.10	23.6
	Bw1	13.82	9.70	60.5
CH	Ap	9.03	1.90	17.2
	Bw1	9.34	5.60	56.3
MB	Ap	8.33	2.08	22.2
	Bw1	7.11	3.55	32.4
CA	Ap	6.15	0.80	10.4
	Bw2	5.11	0.90	8.8

sium : les sols à halloysite prédominante se distinguent particulièrement par une proportion élevée de sites à haute affinité pour l'ion K^+ . Il faut toutefois signaler que, comparativement aux séquences de sols similaires étudiées précédemment (DELVAUX, 1989 ; FONTAINE et DELVAUX, 1989), c'est le complexe d'échange du sol brun andique et non celui du sol brunifié à halloysite, qui montre l'intensité d'adsorption sélective de l'ion K^+ la plus élevée. La fraction argileuse de ce sol brun andique montre cependant le plus haut contenu relatif en halloysite par rapport à la kaolinite (0.95, voir caractérisation des sols).

La relation apparente entre l'intensité de l'adsorption spécifique de l'ion K^+ et la présence d'halloysite dans le complexe d'échange suggère la contamination du minéral 1:1 hydraté par des minéraux 2:1 à densité de charge élevée (DELVAUX *et al.*, 1990). Cette suggestion demande cependant à être vérifiée par une investigation minéralogique plus détaillée.

En côte sous le vent, la bananeraie est installée dans les zones non déficitaires en eau : la séquence des sols correspondants n'inclut pas les sols brunifiés à halloysite et les sols vertiques situés à altitude plus basse, sous des pluviométries moindres. La comparaison des propriétés d'échange

ionique des horizons de surface montre une évolution croissante et régulière de la sélectivité potassique de l'échangeur (figures 3a-b). Cette évolution se traduit par une augmentation parallèle du nombre de sites d'adsorption spécifique du potassium (tableau 4) : celui mesuré dans l'horizon A du sol GM (2.1 meq/100 g) est similaire à celui déterminé dans l'horizon A du sol brun rouille à halloysite CH (1.9 meq/100 g). Dans cette séquence de la côte sous le vent, la décroissance de l'affinité potassique de l'échangeur apparaît parallèle à la diminution progressive de l'intensité des caractères andiques des sols (tableau 3).

Application à la programmation de la fumure en bananeraies.

- Les andosols à faible rétention en potassium.

Les andosols HM, SA, BR et NF des deux séquences (côtes «au vent» et «sous le vent») présentent un comportement très proche de celui observé sur les andosols dérivés de cendres et ponces récentes de la Martinique (FONTAINE et DELVAUX, 1989). Les valeurs du nombre de sites spécifiques potassiques et du coefficient $K_G, 0.04$ dans les horizons A (tableau 4) sont en effet très comparables :

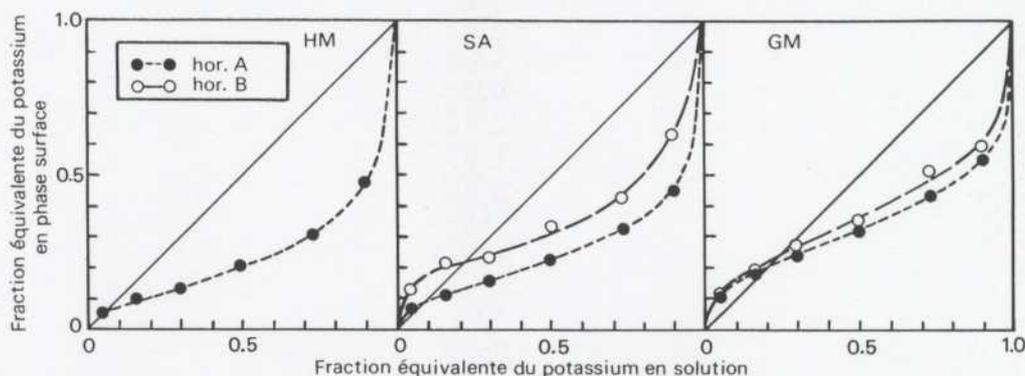


Fig. 3a • ISOTHERMES D'ECHANGE $Ca^{2+}-K^+$ SUR TERRE FINE (<2mm) POUR LES HORIZONS A ET B DES SOLS DE LA COTE SOUS LE VENT.

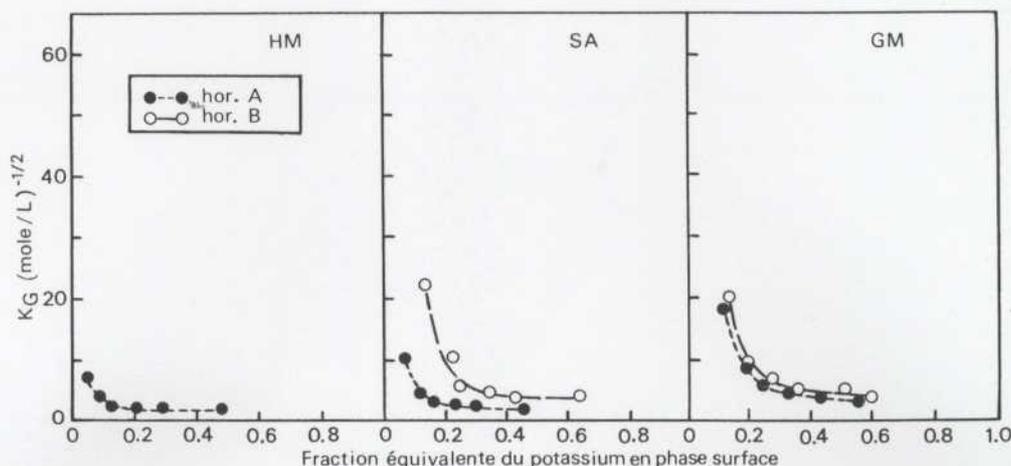


Fig. 3b • VARIATION DU COEFFICIENT DE GAPON K_G EN FONCTION DE LA SATURATION EN K^+ DES SITES D'ECHANGE DANS LES HORIZONS A ET B DES SOLS DE LA COTE SOUS LE VENT.

les premières varient entre 0.3 et 0.9 meq/100 g et les secondes sont systématiquement inférieures à 15 (mole.l⁻¹)^{1/2}. Ces propriétés d'échange permettent de prévoir une lixiviation rapide et importante du potassium, nécessitant un fractionnement des apports dans ces sols.

Les paramètres du système d'avertissement à la fertilisation potassique peuvent donc être estimés comme suit : $K_{\text{maxi}} = 0.3-0.9$ meq/100 g ; SCP = 150-200 mm en premier cycle, 250-300 mm en deuxième cycle.

Dans ces conditions, on peut adopter, pour ces sols, les mesures préconisées par GODEFROY et DORMOY (1988), à savoir :

- 12 g N par pied et par épandage;
- 24 g de K₂O par bananier et épandage, avec un complément de 30 g K₂O dès la jetée des premières fleurs ;
- des apports de magnésium à raison d'une formulation N-P-K + Mg prévoyant 8 p. 100 de MgO ;
- 1 à 2 apports de 150 g de CaO par bananier et par an.

● Les sols ferrallitiques à kaolinite.

Le sol CA présente un comportement d'échange très voisin de celui d'autres sols ferrallitiques dérivés de matériaux volcaniques. Ses propriétés d'échange permettent de prévoir une lixiviation rapide du potassium. Pour l'horizon A, les valeurs du nombre de sites spécifiques potassiques et du coefficient de sélectivité $K_{G,0.04}$ sont respectivement de 0.8 meq/100 g sol et 10.4 (mole.l⁻¹)^{-1/2} : ces caractéristiques sont similaires à celles observées sur sols peu évolués dérivés de cendres et ponces récentes de la Martinique (FONTAINE et DELVAUX, 1989). Les paramètres du système d'avertissement à la fumure potassique sont donc les suivants : $K_{\text{maxi}} = 0.8-0.9$ meq/100 g sol ; SCP = 150-200 mm en premier cycle, 200-250 mm en deuxième cycle. Une programmation raisonnée de la fumure peut être établie sur les bases suivantes (GODEFROY et DORMOY, 1988) :

- 9-12 g N par bananier et par épandage ;
- 18-24 g K₂O par bananier et par épandage ;
- 2 apports de 100-150 g CaO par bananier et par an ;
- 8 p. 100 MgO dans une formulation N-P-K + Mg.

● Les sols à halloysite prédominante.

Ils concernent les profils ML, CH et MB. Leurs propriétés d'échange ionique, traduites par un nombre de sites spécifiques potassiques élevé - 2 à 4 meq/100 g - et des valeurs du coefficient $K_{G,0.04}$ supérieures à 15 (mole.l⁻¹)^{-1/2}, autorisent une réduction sensible de la fréquence des apports potassiques, particulièrement dans le cas des sols bruns andiques de la côte au vent où l'on peut prévoir une lixiviation très réduite du potassium, ces sols présentant des saturations élevées en K⁺ (DOREL et PERRIER, 1990).

Les paramètres du système d'avertissement à la fumure potassique sont les suivants : $K_{\text{maxi}} = 1.9-4.1$ meq/100 g sol ; SCP = 200 mm pour tous les cycles. Le calcul du SCP peut être modifié pour ces sols de la manière suivante (GODEFROY et DORMOY, 1989) : (1) les quantités

d'eau apportées par irrigation ne sont pas prises en compte, (2) lorsque la pluviométrie en 24 heures est supérieure à 30 mm, on ne comptabilise que la moitié de l'excédent.

Les recommandations suivantes peuvent être adoptées (GODEFROY et DORMOY, 1989) :

- (1) une formulation N-K₂O de rapport 1-1 ou (2) une alternance systématique d'apports N-K₂O de rapport 1-2 (par exemple N-P-K 12-4-24 ou 15-4-30) avec des apports d'urée, c'est-à-dire un apport de 9-12 g N + 18-24 g K₂O (par bananier et par épandage) alterné avec un apport de 9-12 g N (par bananier et par épandage), les dates d'application étant fixées par la pluviométrie (SCP) ;
- 8 p. 100 de MgO dans une formulation N-P-K + Mg ;
- 300 g CaO par bananier et par an.

L'horizon A du sol GM (intergrade andosol-sol brun andique) présente un comportement d'échange très voisin de celui de l'horizon de surface du sol brun rouille à halloysite CH [$K_{\text{maxi}} = 2.1$ meq/100 g ; $K_{G,0.04} = 18.1$ (mole.l⁻¹)^{-1/2}]. Pour la programmation de la fumure, on peut raisonnablement suivre des recommandations similaires. On peut également prévoir un apport supplémentaire de K₂O dès la sortie des premières fleurs (18-24 g K₂O/bananier), étant donné la potentialité élevée de ces sols pour la culture bananière (DOREL et PERRIER, 1990).

CONCLUSIONS

Les propriétés d'échange ionique (Ca²⁺-K⁺) de sols représentatifs de la bananeraie guadeloupéenne sont très semblables à celles mesurées sur des séquences similaires de sols dérivés de matériaux volcaniques. Elles font apparaître une variation de l'importance de la sélectivité potassique de l'échangeur en fonction du type de sol, de la nature et de l'importance des constituants du complexe d'échange. Les andosols et les sols ferrallitiques à kaolinite montrent une faible rétention du potassium alors que les sols à halloysite prédominante possèdent une capacité de stockage élevée pour cet élément.

Les résultats d'expérimentations menées à la Martinique et corrélés aux caractéristiques d'échange ionique de sols concernés permet une extrapolation des paramètres de l'avertissement climatique à la fertilisation des bananeraies en Guadeloupe, à partir de la connaissance des propriétés d'échange ionique de leurs sols.

Il conviendrait à présent d'appliquer le système préconisé dans des aires pilotes représentatives de chaque zone pédo-climatique en assurant un suivi analytique des sols couplé au diagnostic foliaire de manière à (1) vérifier l'adéquation du système proposé et (2) prévenir toute dérive quant aux équilibres cationiques dans les sols et à leur éventuelle acidification.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement la SCIC qui a contribué au financement de cette étude et le Laboratoire des sols du GERDAT qui a effectué la caractérisation physico-chimique des échantillons étudiés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLAKEMORE (L.C.). 1983.
Acid-oxalate extractable iron, aluminum and silicon.
ICOMAND, circular letter N° 5, appendix 1, New Zealand Soils Bureau, Lower Hutt, N.Z.
- 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 and Clay Minerals, 32 (4), 241-248.
- COLMET-DAAGE (F.) et LAGACHE (P.). 1965.
Caractérisation de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises.
Cahiers ORSTOM, série Pédologie III (2), 91-121.
- DELVAUX (B.). 1988.
Constituants et propriétés de surface des sols dérivés de pyroclastes basaltiques du Cameroun occidental. Approche génétique de leur fertilité.
Thèse, Université Catholique de Louvain, 336 p.
- DELVAUX (B.). 1989.
Rôle des constituants de sols volcaniques et de leurs propriétés de charge dans le fonctionnement de l'agrosystème bananier au Cameroun.
Fruits, 44 (6), 309-319.
- DELVAUX (B.), HERBILLON (A.J.), VIELVOYE (L.) and MESTDAGH (M.M.). 1990.
Surface properties and clay mineralogy of hydrated halloysitic soil clays.
II - Evidence for the presence of Halloysite-Smectite (H-Sm) mixed-layer clays.
Clay Minerals, 25, 141-160.
- DOREL (M.) et PERRIER (X.). 1990.
Influence du milieu et des techniques culturales sur la productivité des bananeraies de Guadeloupe.
Enquête diagnostique.
Fruits, 45 (3), 237-244.
- DUFÉY (J.E.) and DELVAUX (B.). 1989.
Modeling potassium-calcium isotherms in soils.
Soil Science Society of America J., 53, 1297-1299.
- FONTAINE (Sylvie) et DELVAUX (B.). 1989.
Propriétés d'échange ionique de sols volcaniques de la Martinique. Application à la programmation de la fumure potassique.
Fruits, 44 (3), 123-133.
- GODEFROY (J.). 1982.
Fertilisation minérale en culture bananière industrielle. Diagnostic sol appliqué à la programmation de la fumure.
Fruits, 37 (4), 225-227.
- GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline). 1983.
Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans les sols des bananeraies martiniquaises.
Fruits, 38 (3), 373-387 ; 38 (6), 451-459.
- GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline). 1984.
Un exemple d'utilisation du diagnostic sol à la programmation de la fertilisation en bananeraie.
Fruits, 39 (2), 121-123.
- GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline). 1988.
Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans le complexe «sol-bananeraie-climat».
Application à la programmation de la fumure.
I.- Cas des sols volcaniques peu évolués de basse altitude.
Fruits, 43 (1), 3-13.
II.- Cas des sols volcaniques peu évolués de moyenne altitude.
Fruits, 43 (3), 133-141.
III.- Cas des andosols.
Fruits, 43 (5), 263-267.
- GODEFROY (J.) et DORMOY (Micheline). 1989.
Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans le complexe «sol-bananeraie-climat».
IV.- Cas des sols bruns à halloysite.
Fruits, 44 (1), 3-12.
- MARTIN PREVEL (P.). 1984.
Banancier.
In : «L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plants», p. 715-751.
Tec. et Doc. Lavoisier.
- MEHRA (O.P.) and JACKSON (M.L.). 1960.
Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate.
Proc. 7th Clay Conf., Clays and Clay Minerals, New York N.Y., 317-327.
- MIZOTA (C.) and REEUWIJK (L.P.). 1989.
Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions.
Soil Monograph 2, ISRIC, Wageningen.
- PARFITT (R.L.) and WILSON (A.D.). 1985.
Estimation of allophane and halloysite in three sequences of volcanic ash soils, New Zealand.
In «*Volcanic Soils*», eds. E. Fernandez-Caldas & D.H. Yaalon, *Catena Supplement 7*, 1-8.

COMPORTAMIENTO DEL INTERCAMBIO DEL POTASIO EN LOS SUELOS DE LA REGION BANANERA GUADALUPANA. APLICACION A LA PROGRAMACION DE LA FERTILIZACION POTASICA.

B. DELVAUX, L. VIELVOYE y M. DOREL.

Fruits, Jan.-Feb. vol. 46, n° 1, p. 3-11.

RESUMEN - El cultivo del banano es particularmente exigente en potasio y el conocimiento de la variación estacional de este elemento es primordial para el establecimiento de una fertilización racional. La importancia de la lixiviación del potasio en el campo puede ser predecida a partir del conocimiento de las interacciones entre este elemento y las superficies absorbentes del suelo, o sea, sus propiedades de intercambio iónico. El intercambio iónico Ca-K ha sido estudiado en nueve perfiles representativos de las plantaciones bananeras guadalupanas, a 20°C, pH 4 y a una concentración total en sales de 0.01 N en la solución de equilibrio. La retención del potasio es baja en los andosoles mientras que los suelos oscuros andicos y oscuros rojizos hallositicos poseen una fuerte capacidad de almacenamiento para este elemento. En los suelos ferralíticos existe una relación aparente entre la presencia de la hallosita y la afinidad del complejo de intercambio para el ion K. Estas diferencias de comportamiento se traducen por una gran variación del número de sitios de adsorción específica del potasio (0.3-9 me./100 g suelo), asimilable al contenido máximo crítico en este elemento. Considerando los anteriores trabajos, esos resultados permiten proponer un ajuste de la fertilización potásica en función del tipo de suelo y de la pluviosidad.