

Le lessivage du potassium et du magnésium en colonnes de terre

Premiers résultats expérimentaux

J. OLIVIN (1) et R. OCHS (1)

La capacité de rétention des sols vis-à-vis des ions, dépend de leur nature, de leur valence et de certaines caractéristiques physico-chimiques des sols eux-mêmes, telles que : teneur en matière organique, minéralogie des argiles, humidité. La fixation peut s'effectuer de façon plus ou moins importante, sous forme « échangeable » par le complexe absorbant constitué par la fraction colloïdale de la matière organique et des argiles (montmorillonite surtout) et pour certains ions sous forme « fixée », beaucoup plus difficilement utilisables par la plante (« rétrogradation » de K), par certaines argiles (illites, principalement).

L'apport d'engrais doit servir à enrichir le complexe absorbant en un élément déficitaire. Mais l'efficacité d'une fumure peut se trouver réduite non seulement à cause des pertes dues à la fixation sous forme peu échangeable, mais également du fait que la capacité d'absorption du complexe absorbant est elle-même limitée. Une partie de l'élément apporté reste alors dans la « solution externe » de sol et peut être perdue par lessivage. Il en résulte donc une perte sur le plan économique.

Le phénomène de lessivage du potassium a été étudié *in situ* par les auteurs et L. Stessels, en Côte-d'Ivoire et au Dahomey. Des parcelles de 25 m², groupées en blocs de Fisher avaient reçu du KCl uniformément réparti aux doses de 0-15-75-150 g/m², qui correspondaient à des apports par palmier d'environ 400 g (dose faible), 2 000 g (dose normale à forte), 4 000 g (dose très forte), pour un épandage réalisé soit sur un rond de 3 m de rayon (≠ 28 m²/palmier), soit sur une bande de 6 m de large (≠ 27 m²/palmier) dans un interligne sur deux. Le tableau I montre les

différences obtenues entre les quantités de K échangeable retenues par les deux sols dans une couche superficielle de 30 cm d'épaisseur.

Les terres de Barre du Dahomey (sols ferrallitiques moyennement désaturés) ont retenu, après six mois, la totalité du K apporté pour les doses de 75 et 150 g (pour la dose de 15 g, les différences entre les teneurs des parcelles ayant reçu du KCl et celles des parcelles témoins, sont voisines de la précision analytique 0,01 ou 0,02 mé/100 g). Pour les sables tertiaires de Côte-d'Ivoire (sols ferrallitiques fortement désaturés appauvris modaux), le lessivage a été, au contraire, très important dès le premier semestre. Durant cette période, la quantité maximale totale de K assimilable que les sols peuvent retenir (Fig. 1) semble comprise entre 700 et 750 mé (teneur moyenne de 0,20 mé/100 g) quelle que soit la quantité de potassium apportée.

Ces résultats prouvent que, dans certains types de sols, une trop forte concentration d'engrais accroît inutilement les pertes par lessivage. Ainsi, autrefois, on apportait généralement l'engrais sur une couronne de 50 cm de large au maximum et d'un rayon extérieur de 2 m. Pour cette surface d'épandage de 5,50 m², une fumure de 2 000 g/arbre correspondait à une concentration de 363 g/m² qui était donc excessive pour les sols de Côte-d'Ivoire. Pour cette raison, les épandages d'engrais sont effectués maintenant soit manuellement sur la totalité de la surface du rond, soit mécaniquement dans l'interligne sur une large bande.

Les essais de lessivage aux champs peuvent donc donner des résultats intéressants, mais ils présentent un certain nombre d'inconvénients : longue durée et variations incontrôlables, dues au site et à la climatologie ; la comparaison d'un nombre important de sols nécessiterait la mise en place d'une expérimentation multilocale difficile, voire impossible à réaliser dans certains cas.

(1) Département Agronomie de l'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I. R. H. O.), Paris. Article écrit avec la collaboration technique de M. HENRY du Laboratoire central de l'I. R. H. O.

TABLEAU I. — Essai de lessivage du potassium au champ après épandage de KCl

	Côte-d'Ivoire (CI) Sables tertiaires			Dahomey (Dy) Terre de Barre			Pluviométrie cumulée (mm)		
	15 201 (100)	75 1 005 (100)	150 2 010 (100)	15 201 (100)	75 1 005 (100)	150 2 010 (100)	CI	Dy	
KCL apporté en g/m ² soit K en mé/m ²									
K (en mé) restant (2) dans les 30 cm superficiels après :	6 mois	40 (20)	468 (45)	663 (35)	117 (60)	1 014 (100)	2 145 (105) (1)	732	593
	10 mois	—	—	—	40 (20)	468 (45)	1 326 (65)		1 013
	19 mois	—	—	—	40 (20)	312 (30)	507 (25)		2 083
	24 mois	80 (40)	195 (20)	195 (10)	0 (0)	234 (25)	312 (15)	4 153	2 612

Entre () : pourcentages par rapport aux doses apportées.

(1) Différence de 5 p. 100 due à la précision des analyses.

(2) Calculé d'après les différences entre les teneurs des parcelles ayant reçu du KCl et les parcelles témoins.

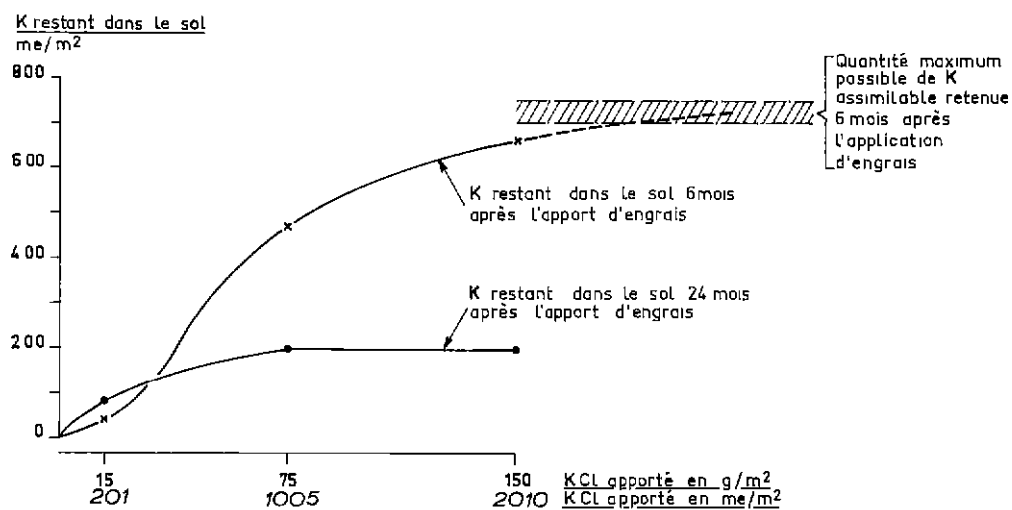


Fig. 1. — Essai aux champs du lessivage du potassium dans les sables tertiaires de Côte d'Ivoire. Couche superficielle 0-30 cm.

Pour remédier à ces inconvénients et accélérer les phénomènes de lessivage et d'échange, l'I. R. H. O. a cherché à mettre au point une méthode de percolation

au travers de colonnes de terre en laboratoire. Le présent article rend compte de deux expériences qui avaient pour but de mettre cette technique à l'épreuve.

MÉTHODES EXPÉRIMENTALE ET ANALYTIQUE

1. — Conditionnement des échantillons de terre.

Les échantillons de terre ont été séchés, tamisés (maille 2 mm) et homogénéisés. Un échantillon représentatif a été constitué pour les analyses physico-chimiques standards.

2. — Matériel utilisé.

Pour la première expérience, on a utilisé des pots cylindriques en tôle étamée (hauteur 256 mm, diamètre intérieur 159,5 mm) pouvant contenir 5 kg de terre sèche. La partie inférieure du pot était percée en son centre d'un trou de 10 mm de diamètre. Pour faciliter le drainage et éviter le passage de terre par l'orifice inférieur du pot, on avait disposé dans le fond de celui-ci une couche de sable inerte isolée de la terre et du fond du pot par deux rondelles de toile épaisse.

Pour la deuxième expérience, on a utilisé des colonnes pouvant contenir 2,5 kg de terre, constituées par un cylindre de plastique (hauteur 250 mm, diamètre intérieur 116 mm) soudé sur un fond de même matière et percé en son centre d'un orifice de 10 mm de diamètre. Pour améliorer le drainage, la terre était séparée du fond de la colonne par une rondelle de toile surmontant une couche de billes de verre. Une rondelle de toile avait également été disposée à la surface supérieure de la terre pour éviter le choc direct des gouttes d'eau. Le dispositif a encore été amélioré pour les expériences ultérieures. Un petit robinet à boisseau a été monté sur le fond de la colonne pour régler le débit et une petite coupelle perforée et crantée (hauteur 10 mm, diamètre 36 mm) a été placée au-dessus de l'orifice de drainage, pour éviter au maximum les risques de colmatage.

3. — Mise en place des colonnes.

La terre a été versée avec soin dans les colonnes pour obtenir un tassement régulier mais non excessif

(destruction de la micro-structure) afin d'éviter la présence de poches d'air. On avait particulièrement veillé à obtenir un bon contact entre la terre et les parois des colonnes. Les colonnes ont ensuite été immergées dans un cristallisateur pour humecter la terre de bas en haut de façon à éviter la destruction de la structure et la formation de poches d'air ; puis elles ont été mises à drainer jusqu'à la capacité au champ, avec recueil du filtrat (il sera possible pour les expériences ultérieures d'humecter la terre en utilisant un vase de Mariotte grâce au robinet fixé sur le fond des colonnes).

Une faible quantité du filtrat a servi à apporter les engrais en solution à la partie supérieure des colonnes (la répartition étant plus facile à faire à l'état liquide qu'à l'état solide) et le reliquat a été joint aux premières eaux d'arrosage. De cette façon, les éléments entraînés par le drainage lors de la mise à la capacité au champ, ont été restitués sans perte aux colonnes.

On a utilisé deux colonnes par objet afin de vérifier la reproductibilité des résultats.

4. — Les arrosages.

Des arrosages préliminaires à blanc, quatre pour la première expérience et un pour la deuxième, ont permis de vérifier le fonctionnement des colonnes. Une fois l'engrais apporté, chaque colonne a reçu une hauteur totale d'eau permutée de 1 000 mm fractionnée en 50 arrosages de 20 mm chacun pour la première expérience et pour la seconde en 25 arrosages de 40 mm, afin de réduire les manipulations et le nombre des analyses. Dans les deux cas, un nouvel arrosage était effectué dès que le drainage relatif au précédent était terminé.

Le lessivage à l'eau a été suivi par des arrosages successifs à l'acétate d'ammonium (pH 7, N) afin de déplacer les éléments assimilables restants et voir si la vitesse de déplacement variait avec les types de sol.

5. — Méthodes analytiques.

Les eaux de drainage recueillies après chaque arrosage ont été étendues à un volume constant et une aliquote a été prélevée pour analyse. On a tenté au début de doser directement les éléments dans les percolats aqueux, mais on s'est aperçu qu'il était préférable d'évaporer les aliquotes, de calciner les

résidus solides puis de les reprendre par l'acide chlorhydrique pour permettre une mise en solution complète des éléments.

Les techniques analytiques utilisées sont les suivantes :

— K et Na, par photométrie de flamme,

— Ca et Mg, par spectro-photométrie d'absorption atomique.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

EXPÉRIENCE N° 1

1. — But.

On désirait étudier, pour deux sols très différents, le lessivage du K⁺ apporté sous forme de chlorure de potasse (KCl) à la dose de 30 g/m² (correspondant à une fumure de 1 000 g/arbre épanchée sur un cercle de 3,25 m de rayon).

Compte tenu de sa surface (200 cm²), chaque colonne (5 kg de terre) a reçu 600 mg de KCl, soit :

— K apporté par colonne : 315 mg ou 8,06 mé.

— K apporté par kg de terre : 63 mg ou 1,61 mé.

2. — Sols étudiés.

Il s'agissait des sols ferrallitiques très désaturés de La Mé en Côte-d'Ivoire (appelés communément sables tertiaires) développés sur les sédiments sableux tertiaires du Continental Terminal et des sols de San Alberto, en Colombie, développés sur des alluvions argileuses récentes. Les échantillons de terre ont été prélevés dans la couche superficielle de 20 cm d'épaisseur qui, pour les sables tertiaires, contient la presque totalité du complexe absorbant constitué en grande partie par la matière organique.

Le tableau II montre les différences entre les deux types de sols. Les sols alluviaux se distinguent des sables tertiaires par :

— un taux d'éléments fins (argile + limon fin), 5,5 fois plus élevé ;

— des teneurs en N total et en matière organique

plus élevées, mais les teneurs en « humus » sont un peu plus faibles ;

— une somme de cations échangeables 5 fois plus élevée (5,01 mé contre 1,07), surtout du fait d'une teneur très élevée en Ca ;

— une teneur en P totale 5,6 fois plus élevée ;

— une réserve en éléments totaux 28 fois plus élevée (279,33 mé contre 10,07 mé).

La minéralogie des argiles diffère également. On sait que la fraction argileuse des sables tertiaires est constituée essentiellement de kaolinite et d'hydroxydes de fer. La nature des argiles n'a pas été déterminée pour les sols alluviaux, mais néanmoins, la forte capacité d'échange des cations (C. E. C.) fait penser que cette argile appartient au groupe des argiles gonflantes (montmorillonite et vermiculite) avec probablement une certaine proportion d'illite.

En effet, si on prend une valeur de la capacité d'échange de 2,6 mé/g pour le « complexe humique » [1], on obtient comme ordre de grandeur de la capacité de la fraction argileuse des sols alluviaux : $\frac{27 - 2,6 \times 0,68}{27,6} \approx 0,91$ mé/g, qui est à comparer à la capacité d'échange de 1 mé/g des montmorillonites. Il n'est donc pas exclu que les sols alluviaux aient la possibilité de « rétrograder » le K. Le même raisonnement appliqué aux sables tertiaires, en adoptant une C. E. C. de 0,1 mé/g de kaolinite, donne pour 100 g de terre $7,2 \times 0,1 + 0,84 \times 2,6 \approx 3$ mé/100 g, soit le même ordre de grandeur que la C. E. C. de 5,8 mé donnée par les analyses.

TABLEAU II. — Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Sols	Granulométrie p. 100					pH		Matière organique p. 1 000			
	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sables fins	Sables grossiers	pH H ₂ O	pH KCl	Carbone	Azote total	Acides humiques	Acides fulviques
Sables tertiaires La Mé.....	7,2	3,3	2,3	17,6	69,6	4,70	3,85	11,6	0,94	3,30	5,13
Sols alluviaux San Alberto...	27,6	31,2	17,5	19,2	4,5	7,90	6,75	22,4	2,44	2,62	4,21

Sols	Cations échangeables mé/100 g					100 S	p total ppm	Eléments totaux							
	K	Ca	Mg	Na	C. E. C.			p. 1 000							
						T	mé/100 g								
									K	Ca	Mg	Na			
Sables tertiaires La Mé.....	0,22	0,36	0,22	0,27	5,80	18	200	0,36	1,12	0,30	0,25	0,92	5,59	2,47	1,09
Sols alluviaux San Alberto....	0,32	4,12	0,40	0,17	27,00	41	1120	18,20	23,00	6,55	14,80	46,54	114,77	53,87	64,35

3. — Résultats des lessivages avec l'eau permutée.

3.1. — Reproductibilité des résultats.

Les tableaux III et IV montrent que, durant les 4 arrosages à blanc, le lessivage a été plus faible en moyenne pour les 4 colonnes « témoins » (surtout la colonne T2 des sables tertiaires) que pour les colonnes « engrais ». Comme les échantillons de sols avaient été soigneusement homogénéisés, ces différences proviennent probablement de conditions internes (surface et temps de contact entre les colloïdes et l'eau), variables dues au remplissage et évidemment indépendantes des traitements.

Les différences entre les quantités totales de K, Mg, Ca et Na cédées par les deux colonnes d'un même traitement sont supérieures à 15 p. 100, six fois sur seize. Ceci montre qu'il est préférable d'utiliser deux colonnes par objet, pour améliorer la précision des résultats.

3.2. — Le potassium.

Les 4 arrosages à blanc mettent en évidence un faible pouvoir de rétention des sables tertiaires pour K ; ce pouvoir est beaucoup plus élevé pour les sols alluviaux.

Les quantités de K (mg/kg) cédées par les colonnes « témoins » s'élèvent à :

	Après 4 arrosages à blanc	En fin d'expérience
Sables tertiaires (L. M.).	37,4 (43 p. 100)	87,0 (100 p. 100)
Sols alluviaux (S. A.). . . .	5,4 (20 p. 100)	26,4 (100 p. 100)

D'autre part, malgré un K échangeable plus élevé, la quantité totale de K cédée par les colonnes « témoins » des sols alluviaux est trois fois plus faible que celle cédée par les sables tertiaires.

Après apport du KCl, on constate pour les sables tertiaires un lessivage sensiblement plus intense du K dans les colonnes « engrais », lors des 3^e, 4^e et 5^e arrosages, que dans les colonnes « témoins », ensuite jusqu'à la fin de l'expérience, les colonnes « engrais » libèrent à chaque passage une quantité de K à peine supérieure à celle des colonnes « témoins ». Le 50^e arrosage a encore libéré du K, mais la quantité recueillie est faible : 0,27 mg/kg pour les colonnes « témoins » et 0,66 mg/kg pour les colonnes « engrais ». A la fin de l'expérience, la quantité totale différentielle de K recueillie (55,6 mg/kg) représente 88 p. 100 du K apporté.

Pour les sols alluviaux, au contraire, les quantités de K libérées par les colonnes « engrais » après apport du KCl, sont pratiquement égales à celles libérées par les colonnes « témoins ». En fin d'expérience, la quantité totale différentielle de K recueillie (2,6 mg/kg), qui ne représente que 4 p. 100 du K apporté, est

TABLEAU III. — Sables tertiaires — Pertes par lessivage à l'eau (par kg de terre)

Nos arrosages	Hauteur d'eau cumulée (mm)	K				Mg			
		KCl		T		KCl		T	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Arrosages à blanc	80	50,67	78,0	42,65	32,11	13,43	17,17	10,67	6,24
1	100	3,90	4,16	3,63	6,68	0,63	0,64	0,56	1,49
2	120	3,16	2,74	3,24	3,86	0,30	0,31	0,32	0,51
3	140	4,14	4,21	2,34	2,29	0,61	0,61	0,17	0,26
4	160	6,07	5,76	2,19	2,41	0,96	1,05	0,20	0,16
5	180	3,42	3,51	1,68	1,68	0,39	0,39	0,17	0,14
6	200	2,37	2,29	1,36	1,36	0,21	0,19	0,12	0,13
7	220	1,67	2,03	1,47	1,05	0,17	0,18	0,12	0,10
8	240	1,61	1,51	1,05	1,13	0,12	0,13	0,08	0,08
9	260	1,30	1,30	1,39	0,84	0,10	0,10	0,07	0,06
10	280	1,17	1,23	0,86	0,96	0,08	0,09	0,06	0,06
11 à 20	480	12,42	13,69	10,14	9,36	0,92	1,31	0,90	1,05
21 à 30	680	19,00	17,31	11,47	9,06	2,54	2,68	2,64	2,16
31 à 40	880	12,13	8,85	6,46	5,06	1,56	0,97	1,47	1,29
41 à 50	1 080	8,35	6,92	3,34	2,97	0,89	0,81	0,99	0,75
Total mg/colonne		131,68	153,51	93,27	80,82	22,91	26,63	18,54	14,48
Moyenne mg/mé		142,6	3,65	87,0	2,23	24,8	2,04	16,5	1,36
p. 100		164		100		150		100	
Différ. : mg				55,6				8,3	
Trait.-T mé				1,42				0,68	
		Ca				Na			
		KCl		T		KCl		T	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Total mg/colonne		90,60	94,88	69,01	62,21	108,58	124,74	92,95	74,79
Moyenne mg/mé		92,7	4,62	65,6	3,27	116,6	5,07	83,9	3,65
p. 100		141		100		139		100	
Différ. : mg				27,1				32,7	
Trait.-T mé				1,35				1,42	

pratiquement négligeable et certainement voisine des erreurs expérimentales et analytiques.

Les sols alluviaux retiennent donc non seulement énergiquement le K dit « échangeable » mais en plus absorbent ou fixent K apporté. Ces résultats confirment ceux obtenus avec le test de Van Der Marel [2] qui avait mis en évidence, pour ces sols, un pouvoir de fixation élevé du K. Par contre, les résultats obtenus avec les sables tertiaires confirment les essais de lessivage au champ.

3.3. — Les autres cations.

L'apport de K a déplacé Mg, Ca et Na dans les deux sols puisque les quantités cédées par les colonnes « engrais » sont supérieures à celles cédées par les colonnes « témoins ». Cependant, ce déplacement a été relativement beaucoup plus important dans les sables tertiaires que dans les sols alluviaux, vis-à-vis à la fois des éléments échangeables initialement présents dans le sol, des quantités cédées par les colonnes témoins et également du K absorbé.

Éléments déplacés en p. 100 des quantités cédées par les colonnes témoins :

	Sables tertiaires	Sols alluviaux
Ca	41	8
Mg	50	4
Na	39	9

Comparaison entre cations échangeables initialement présents et cations déplacés (mé/kg) :

	Sables tertiaires		Sols alluviaux	
	cations échangeables	cations déplacés	cations échangeables	cations déplacés
Ca	3,6	1,35	41,2	3,03
Mg	2,2	0,68	4,0	0,50
Na	2,7	1,42	1,7	0,13
Total	8,5 (100)	3,45 (41)	46,9 (100)	3,66 (8)

Estimation du K absorbé (mé/kg) :

	Sables tertiaires	Sols alluviaux
K apporté.....	1,61	1,61
K récupéré	1,42	0,07
(colonne engrais - témoin)		
K absorbé.....	0,19	1,54

Pour les sables tertiaires, l'apport de KCl a donc entraîné une acidification nette du sol tandis que pour les sols alluviaux celle-ci a été beaucoup plus faible.

Les colonnes « témoins » des sols alluviaux ont libéré au total 8,5 fois plus de Mg, 12 fois plus de Ca et 2,5 fois moins de Na que les colonnes « témoins » des sables tertiaires.

3.4. — Discussion.

La dynamique des cations sous l'effet du lessivage à l'eau est donc totalement différente pour les 2 sols.

TABLEAU IV. — Sols alluviaux — Pertes par lessivage à l'eau (par kg de terre)

Nos arrosages	Hauteur d'eau cumulée (mm)	K				Mg			
		KCl		T		KCl		T	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Arrosages à blanc	80	5,47	10,11	4,03	6,80	19,79	18,19	15,49	12,11
1	100	0,50	0,76	0,79	1,22	3,01	3,36	3,67	3,74
2	120	0,89	0,64	0,88	0,73	4,69	3,43	3,82	3,08
3	140	0,57	0,74	0,77	0,64	3,56	3,72	3,41	2,87
4	160	0,68	0,73	0,72	0,91	3,19	3,23	3,30	2,60
5	180	0,52	0,66	0,43	0,48	3,19	3,23	3,00	2,65
6	200	0,56	0,47	0,47	0,52	3,00	3,34	3,03	2,51
7	220	0,43	0,93	0,57	0,47	2,53	3,22	2,75	2,40
8	240	0,59	0,57	0,51	0,61	2,53	2,63	2,54	2,21
9	260	0,49	0,55	0,59	0,34	2,13	2,49	2,25	2,17
10	280	0,59	0,64	0,47	0,51	2,22	2,19	2,16	1,94
11 à 20	480	4,88	5,63	4,73	5,09	24,03	22,53	23,84	22,66
21 à 30	680	3,26	3,69	3,19	3,76	26,59	26,22	28,04	25,62
31 à 40	880	3,05	3,42	3,32	3,36	27,39	27,80	29,24	27,95
41 à 50	1 080	2,85	3,07	2,84	3,06	18,99	20,52	19,44	20,23
Totaux mg/colonne ...		25,33	32,61	21,31	28,50	146,84	146,10	145,98	134,74
Moyenne mg.....		29,0		26,1		146,5		140,4	
mé		0,74		0,67		12,04		11,54	
p. 100		110		100		104		100	
Différ. mg.....			2,6				6,1		
Trait.-T mé			0,07				0,50		
		Ca				Na			
		KCl		T		KCl		T	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Totaux mg/colonne		869,15	827,42	801,64	773,53	38,00	35,70	36,01	31,58
Moyenne mg.....		848,3		787,6		36,9		33,8	
mé		42,33		39,30		1,60		1,47	
p. 100		108		100		109		100	
Différ. mg.....			60,7				3,1		
Trait.-T mé			3,03				0,13		

Cette différence est due à la composition physico-chimique.

La faible C. E. C. des sables tertiaires (teneurs peu élevées en matière organique et en argile à faible capacité de rétention) permet d'expliquer la mobilité du K apporté par le KCl. D'autre part, dans des sols acides, comme les sables tertiaires, il serait possible que H⁺ déplace K⁺ du complexe absorbant, ce qui contribuerait à expliquer la perte élevée en K des colonnes « témoins ».

La C. E. C. des sols alluviaux est beaucoup plus élevée ; elle a donc un pouvoir d'absorption plus important. Cependant, les lessivages répétés en appauvrissant la solution libre du sol en K devraient théoriquement entraîner une libération compensatrice du K absorbé par le complexe absorbant pour rééquilibrer la concentration de la solution du sol. En réalité, les sols alluviaux libèrent moins de K échangeable que les sables tertiaires pourtant moins riches en cet élément et retiennent pratiquement tout le K apporté.

On peut voir, dans ce phénomène, une conséquence de la présence d'une forte concentration en Ca dans la solution du sol et du pH élevé qui, en présence de certaines argiles (illites), favoriseraient la rétrogradation du K. Si on admet que les rapports entre les quantités totales lessivées sont représentatives des solutions de sol, on peut calculer les coefficients de sélectivité S pour chacun des sols [3].

$$S = \frac{K/Ca \text{ (phase solide)}}{K/Ca \text{ (phase liquide)}}$$

En exprimant K et Ca en mg/kg, la formule donne pour les colonnes « témoins » :

$$\text{sables tertiaires : } S = \frac{2,2/3,6}{2,23/3,27} = \frac{0,611}{0,682} = 0,9$$

$$\text{sols alluviaux : } S = \frac{3,2/41,2}{0,67/39,30} = \frac{0,078}{0,017} = 4,59$$

S, qui est plus élevé pour les sols alluviaux que pour les sables tertiaires, montre que K est plus fortement absorbé par les alluvions. Pour les sables tertiaires, les rapports cationiques sont pratiquement identiques, pour la solution de sol et les colloïdes.

La même formule appliquée à Mg et Ca, soit :

$$S = \frac{Mg/Ca \text{ (phase solide)}}{Mg/Ca \text{ (phase liquide)}}$$

donne, pour les colonnes témoins :

- sables tertiaires : S = 1,47,
- sols alluviaux : S = 0,34.

Elle montre que le complexe absorbant des sables tertiaires retient plus fortement Mg que celui des alluvions.

Les conclusions de cette étude concordent donc avec les connaissances acquises sur la nutrition du palmier à huile. Les sables tertiaires libèrent K facilement et il n'y a pas de déficience potassique aussi longtemps que les teneurs du complexe absorbant, enrichi momentanément par la décomposition des andains, ne tombent pas au-dessous d'un minimum [2]. Il arrive fréquemment, en effet, que l'on puisse différer le premier apport d'engrais potassique jusqu'à l'âge de 6 ou 7 ans, pour les plantations de Côte-d'Ivoire. Les sols alluviaux, au contraire, malgré

des réserves importantes, mettent très lentement K à la disposition de la plante comme le confirment les teneurs des feuilles qui atteignent difficilement le niveau critique, même après une fertilisation potassique.

Seule une fumure extrêmement forte permettrait peut-être d'augmenter sensiblement les teneurs des feuilles. La forte concentration en Ca de la solution de sol pour les alluvions et l'antagonisme Ca-Mg expliquent probablement l'existence d'une déficience magnésienne fréquente sur ce type de sol malgré une libération assez élevée de Mg.

4. — Résultats des lessivages avec une solution d'acétate d'ammonium.

Vingt-deux arrosages, correspondant à une hauteur d'eau de 20 mm chacun (440 mm au total), ont été effectués avec une solution d'acétate d'ammonium, afin de déplacer les cations échangeables restant après le lessivage à l'eau. Les résultats obtenus confirment les conclusions précédentes.

Pour les sables tertiaires, les courbes cumulées (1) pour K et Mg, qui tendent asymptotiquement vers un maximum, montrent que le déplacement de ces cations est presque complet. Les colonnes « engrais » cèdent 20,3 mg (0,52 mé) de K de plus que les colonnes « témoins ». Pour l'ion Ca (l'ion le moins mobile), la forme de la courbe cumulée indique que le déplacement n'est pas terminé après le 22^e arrosage. Le déplacement de Na n'est pas terminé non plus mais les quantités totales mises en jeu sont faibles (1,6 mg/kg).

Sables tertiaires. — Lessivage à l'acétate d'ammonium :

	Quantité moyenne recueillie par arrosage (mg/kg)		Quantité recueillie lors du dernier arrosage (mg/kg)	
	C. Engrais	C. Témoin	C. Engrais	C. Témoin
K	1,73	0,80	1,19	0,17
Ca	1,63	1,57	0,90	0,70
Mg	0,46	0,52	0,09	0,14
Na	0,08	0,07	0,06	0,02

Pour les sols alluviaux au contraire, la solution d'acétate d'ammonium n'a pu déplacer K en totalité et même les quantités recueillies augmentent avec les numéros d'ordre des arrosages. Le K échangeable, énergiquement fixé, n'est donc libéré que très progressivement ; et même les colonnes engrais ne cèdent que 3,7 mg (0,10 mé) de plus que les colonnes « témoins ». La forme des courbes cumulées montre que le déplacement du Ca et du Mg ne se ralentit pas sensiblement jusqu'au 22^e arrosage. Les quantités de Na récupérées sont faibles.

Sols alluviaux. — Lessivage à l'acétate d'ammonium :

	Quantité moyenne recueillie par arrosage (mg/kg)		Quantité recueillie lors du dernier arrosage (mg/kg)	
	C. Engrais	C. Témoin	C. Engrais	C. Témoin
K	0,87	0,70	1,67	1,25
Mg	7,44	6,96	7,66	7,12
Na	0,13	0,12	0,07	0,09
Ca	29,65	30,34	34,80	36,49

(1) Qui ne sont pas données dans cet article.

EXPÉRIENCE N° 2

1. — But.

On désirait étudier la dynamique de Mg dans les sols alluviaux de Colombie car la déficience magnésienne est fréquente dans la plantation de palmiers à huile de San Alberto. Comme ces sols induisent également une carence chlorée, on a comparé les deux formes : sulfate de magnésium $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et chlorure de magnésium $\text{Cl}_2\text{Mg} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ce dernier type d'engrais ayant l'avantage d'apporter les deux ions déficitaires.

La concentration à l'unité de surface a été la même que celle utilisée en plantation (1 500 g de kiesérite à 19,3 p. 100 de Mg ou 2 300 g de Cl_2Mg à 12,7 p. 100 de Mg épanchés sur un rond de 2 m de rayon) qui apporte 23,13 g de Mg/m².

Compte tenu de leur surface, les colonnes qui contenaient 2,5 kg de terre ont reçu :

— 2,19 g de $\text{Cl}_2\text{Mg} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, soit 105 mg de Mg/kg de terre = 8,63 mé, ou

— 2,65 g de $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, soit 105 mg de Mg/kg de terre = 8,63 mé.

2. — Résultats des lessivages à l'eau et avec une solution d'acétate d'ammonium.

2.1. — Reproductibilité des résultats.

Le tableau V montre que les différences entre les quantités cédées par les deux colonnes du même trai-

tement sont encore supérieures à 10 p. 100, quatre fois sur douze. Comme l'a déjà montré l'expérience N° 1, il est préférable d'avoir deux colonnes par objet.

Malgré le changement de colonnes entre l'expérience N° 1 et l'expérience N° 2, on constate néanmoins une bonne similitude entre les quantités moyennes de Na (ion mobile) cédées par les colonnes « témoins ». Par contre, pour l'expérience N° 2, durant laquelle le drainage a été beaucoup plus rapide, les quantités de K, Mg et Ca cédées ont été plus faibles, de l'ordre de 15 p. 100. Pour obtenir des résultats comparables entre plusieurs séries d'expériences, il semble donc indispensable de standardiser au maximum le mode opératoire et en particulier le temps de contact sol-solution (contrôle du débit par un robinet placé à la base de la colonne). Pour comparer les résultats de deux séries différentes, il est préférable d'utiliser un témoin commun.

Quantités cédées par les colonnes témoins (mg/kg) :

	Expérience N° 1	Expérience N° 2
K	26,4 (100)	19,6 (74)
Ca	787,6 (100)	586,8 (75)
Mg	140,4 (100)	108,8 (77)
Na	33,8 (100)	31,7 (94)

2.2. — Le magnésium.

Il existe un pic de passage du Mg au 2^e arrosage pour les trois objets ; il est plus important pour les traitements ayant reçu du Mg. Ensuite, du 6^e au 16^e

TABLEAU V. — Sols alluviaux — Comparaisons $\text{SO}_4\text{Mg}-\text{Cl}_2\text{Mg}$ — Pertes par lessivage à l'eau (par kg de terre)

N° Arrosages	Hauteur d'eau cumulée	K			Mg		
		SO_4Mg	Cl_2Mg	T	SO_4Mg	Cl_2Mg	T
Lessivage à blanc	40	0,49	0,62	0,49	1,83	1,88	2,39
1	80	1,99	2,15	1,58	8,19	8,63	5,98
2	120	2,40	2,96	1,86	14,79	16,41	10,26
3	160	1,53	2,33	1,49	12,47	13,81	7,93
4	200	1,71	1,58	1,33	8,99	8,93	6,02
5	240	2,22	1,28	1,24	7,33	7,84	5,92
6	280	1,56	1,19	1,11	5,99	6,22	5,01
7	320	1,00	0,86	0,83	4,86	4,85	4,26
8	360	0,79	0,66	0,74	4,57	4,09	3,80
9	400	0,74	0,74	0,83	4,41	3,89	3,68
10	440	1,49	1,27	1,39	5,17	4,94	4,58
11 à 15	640	3,33	3,45	3,21	21,12	18,13	17,98
16 à 20	840	2,73	2,81	1,76	20,90	15,98	15,98
21 à 25	1 040	2,33	1,75	1,79	26,38	14,48	15,05
Totaux mg/kg { 1 ^{re} colonne		25,06	23,42	18,89	140,61	137,82	117,40
2 ^e colonne		23,51	23,80	20,35	153,32	122,24	100,21
Moyenne mg/kg		24,3	23,6	19,6	147,0	130,0	108,8
mé		0,62	0,60	0,50	12,09	10,69	8,95
p. 100		124	120	100	135	119	100
Différence mg		4,7	4,0	—	38,2	21,2	—
Trait.-T mé		0,12	0,10	—	3,14	1,74	—
		Ca			Na		
		SO_4Mg	Cl_2Mg	T	SO_4Mg	Cl_2Mg	T
Totaux { 1 ^{re} colonne		769,94	701,14	609,32	32,05	33,15	34,41
2 ^e colonne		904,00	670,75	564,32	33,92	32,14	28,32
Moyenne mg/kg		837,0	685,9	586,8	33,0	32,6	31,7
mé		41,77	34,22	29,28	1,43	1,42	1,38
p. 100		143	117	100	104	103	100
Différence mg		250,2	99,1	—	1,3	0,9	—
Trait.-T mé		12,49	4,94	—	0,05	0,04	—

arrosage, les trois objets cèdent chaque fois à peu près les mêmes quantités de Mg ; cette quantité augmente ensuite à nouveau pour l'objet SO₄Mg vers le 16^e arrosage, sans qu'il soit possible de l'expliquer. Les quantités différentielles totales recueillies pour les objets SO₄Mg et Cl₂Mg montrent que Mg est fixé par le sol puisqu'elles ne représentent respectivement que 36 p. 100 et 20 p. 100 du Mg apporté. Il semblerait que la rétention soit plus faible quand Mg est apporté sous forme de sulfate que lorsqu'il est apporté sous forme de chlorure.

Après 20 arrosages complémentaires à l'acétate d'ammonium (correspondant à une hauteur d'eau de 800 mm au lieu de 440 mm pour la première expérience), on obtient les résultats suivants.

Quantités recueillies de Mg, en mg/kg :

Objets	Après lessivage à l'eau	Après lessivage à l'acétate	Total	Différence avec T
SO ₄ Mg.	147	410	557	120
Cl ₂ Mg.	130	429	559	122
T	109	328	437	—

Il semblerait que les lessivages à l'eau et à l'acétate aient entraîné l'équivalent de tout le Mg apporté (105 mg) plus une certaine partie du Mg échangeable initial. Mg est donc beaucoup moins énergiquement retenu par les sols alluviaux de Colombie que K qui serait donc bien soumis à un phénomène de rétrogradation.

CONCLUSION

Pour pouvoir étudier la dynamique des éléments apportés aux sols sous forme d'engrais, sans avoir à supporter les contraintes matérielles de l'expérimentation au champ, l'I. R. H. O. s'est tourné vers la méthode de percolation en colonnes de terre au laboratoire. Après certains tâtonnements, on a pu mettre au point un dispositif expérimental satisfaisant qui permet d'évaluer l'intensité des phénomènes de lessivage et de fixation des éléments dans les sols. La méthode appliquée à deux sols de Côte-d'Ivoire et de Colombie a confirmé en quelques semaines les résultats d'études antérieures faites au champ sur le lessivage de la potasse, alors que celles-ci avaient duré deux ans.

Les résultats expérimentaux obtenus, variables selon la nature des sols, s'accordent assez bien avec les connaissances que l'on a acquises sur la nutrition minérale (potassique et magnésienne) des palmiers à huile et permettent même d'expliquer certaines contradictions constatées entre les résultats des analyses classiques de sols et le comportement des palmiers. Ainsi, l'expérience N° 1 a montré que, non seulement les sols alluviaux de Colombie libéraient le K échangeable très lentement, mais qu'en plus ils fixaient énergiquement le K apporté sous forme d'en-

2.3. — Les autres cations.

Il existe également un pic de passage au 2^e arrosage qui est peu marqué pour K, mais très net pour Na. Pour Ca, il existe plusieurs pics successifs, le plus important se situant au 2^e, 3^e ou 4^e arrosage selon les traitements. Il semblerait que Mg déplace K et Ca du complexe absorbant, principalement quand il est apporté sous forme de sulfate. Na, qui est de toutes façons un cation très mobile, est moins influencé.

Comme pour l'expérience N° 1, et malgré une quantité utilisée plus importante, la solution d'acétate d'ammonium n'a pu épuiser le complexe absorbant en aucun des cations.

3. — Discussion.

Les deux expériences montrent que pour obtenir une reproductibilité satisfaisante des résultats entre deux séries d'essais, il est nécessaire de standardiser la méthode. D'autre part, il est préférable de mettre en jeu deux colonnes par traitement.

La deuxième expérience montre que le pouvoir de rétention des sols alluviaux de Colombie, pour Mg, est beaucoup plus faible que pour K (qui est retenu énergiquement dans les deux essais). Le passage de Mg en solution serait néanmoins relativement lent, surtout quand il est apporté sous la forme chlorure. Une expérience mise en place en 1970 à San Alberto n'a cependant pas encore montré de différence sur l'assimilation de Mg par les palmiers selon la forme de l'engrais magnésien.

grais. Ce résultat permet d'expliquer que les teneurs en K des feuilles soient relativement moyennes pour des palmiers plantés sur des sols cependant riches en K et que la fumure potassique ait peu d'effet.

On ne peut évidemment assimiler totalement et surtout sur le plan quantitatif les phénomènes observés en colonnes, où la terre est toujours saturée d'eau, à la dynamique réelle des éléments dans le sol en place où les modifications d'humidité interne amènent des cycles successifs de fixation et de mise en solution des éléments. Les premiers résultats expérimentaux montrent néanmoins que cette méthode peut être utilisée pour étudier les problèmes de concentration optimum d'engrais à l'unité de surface (rentabilisation des fumures), aider à comprendre certains aspects de la nutrition des plantes et peut-être même à prévoir quel sera leur comportement sur de nouveaux sols en se référant à quelques témoins bien connus.

Il serait de plus intéressant d'étudier si cette méthode ne peut être considérablement simplifiée en réduisant très sensiblement le volume de la colonne de terre et en utilisant des filtres en verre fritté. Cette variante permettrait d'accélérer le lessivage mais les phénomènes de déplacement seront peut-être par trop différents de ce qu'ils sont *in situ*.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DUCHAUFOR Ph. (1965). — *Précis de Pédologie*, Paris, Masson et Cie, éd. p. 80.
- [2] OLIVIN J. et QUEMENER J. (1972). — Application aux sols de palmer à huile de la technique Stanford et de Meent pour l'extraction du potassium. *Oléagineux*, 27, 3, p. 127-138 (bilingue français-anglais).
- [3] HELLER R. (1969). — *Biologie végétale. II. Nutrition et métabolisme*, Paris, Masson et Cie, éd., 578 p.