

Expérimentation sur l'entraînement des produits dissous et en suspension dans un matériau fersiallitique

par M. LAMOUREUX, J.-C. LOYER, M. PINTA et A. BOULEAU
O.R.S.T.O.M., SERVICES SCIENTIFIQUES CENTRAUX (BONDY)

SOMMAIRE

L'étude d'entraînements à l'état soluble ou en suspension solide a été entreprise en laboratoire sur un matériau de sol rouge fersiallitique formé sur schiste.

Un certain nombre de résultats a été obtenu :

- Des entraînements en suspension relativement faibles, 3 à 4 g pour 500 litres d'eau percolée ;*
- Une action réduite de l'eau pure, mais nettement accrue par l'addition de gaz carbonique ;*
- Un important déplacement des cations échangeables remplacés sur le complexe d'échange par de l'aluminium, avec baisse du pH. Les exportations relatives aux teneurs initiales sont surtout importantes pour le magnésium, suivi dans l'ordre par le calcium, le potassium, le sodium et la silice ;*
- Un accroissement net (41 % en moyenne) des dissolutions de silice sous l'effet des alternances de dessiccation et d'humectation.*

Les résultats obtenus au cours de cette étude expérimentale mettent en évidence qu'un matériau fersiallitique, de par la nature de ses constituants et son organisation, est très résistant aux entraînements mécaniques provoqués par des eaux de percolation. Cependant, les cations garnissant le complexe d'échange sont déplacés et ce, d'autant mieux que la solution percolante est chargée en gaz carbonique.

I. — INTRODUCTION.

Dans les sols rouges fersiallitiques des régions méditerranéennes, les entraînements de produits issus des altérations et de la pédogenèse peuvent varier considérablement suivant les conditions climatiques, la nature des roches mères, les constituants minéraux, etc.

Au Liban, les sols rouges du karst ouvert ne sont pas ou peu lessivés, ils sont saturés et totalement décarbonatés, même au-delà de 1.000 mm de précipitations ; les sols du karst couvert, coupés de leur alimentation calcique, sont partiellement désaturés et lessivés.

Au Portugal et au Maroc, les sols rouges fersiallitiques formés sur schistes sont plus ou moins désaturés et lessivés (DACHARY, 1972-1975).

Le problème se pose donc de savoir s'il existe une relation de cause à effet entre l'état de saturation du complexe absorbant et les entraînements en suspensions de constituants minéraux.

Dans une première série de manipulations, des solutions aqueuses ont été percolées dans des tubes remplis d'un matériau de sol rouge fersiallitique argileux formé sur roches carbonatées (LAMOUREUX, 1972). D'abondants constituants solubles, bicarbonates de calcium et de magnésium essentiellement, ont été mis en évidence dans les percolats, tandis que des matières en suspension n'étaient apparus qu'après un début de désaturation du complexe absorbant.

Une deuxième série de manipulations nous a conduits à faire percoler des solutions dans un matériau de sol rouge fersiallitique formé sur schistes et partiellement désaturé. L'expérimentation et les résultats obtenus font l'objet de cette note.

II. — MATERIAU UTILISE ET PROTOCOLE SUIVI.

L'échantillon utilisé pour remplir les tubes a été prélevé dans l'horizon B d'un sol rouge fersiallitique formé sur schistes (Alentejo - Portugal). Des traces d'hydromorphie (brunissement, individualisation du fer en petites masses, etc.) apparaissent déjà à ce niveau pour se développer en profondeur. Il s'agit d'un matériau dont quelques caractéristiques sont données sur le tableau 1.

TABLEAU 1. — *Caractéristiques analytiques des matériaux utilisés*
Analytical characteristics of the materials involved

Echantillons	Composition		Complexe		Al		Fe ₂ O ₃							
	Granulométrique		d'échange (mé %)		échangeable		%							
	Ar- gile	Limon gros	Limon Sablés	Sablés	Ca	Mg	K	Na	Taux de Satur	pH	mé/100g du C.E.	mé % Total	Libre	
Naturel	50,4	21,3	10,3	15,7	3,14	6,56	0,135	1,65	63,7	4,9	2,64	14,6	7,5	5,0
Traité au Ca Cl ₂	-	-	-	-	12,13	0,40	0,160	0,08	71,0	5,1	0,22	1,2	7,7	

La fraction fine de l'échantillon est à dominance de montmorillonite ferrifère associée à une illite ouverte et probablement à des interstratifiés illite-vermiculite. Avec les minéraux argileux, on observe du quartz et une petite quantité d'oxydes de fer. Enfin, un peu d'alumine se situerait en position interfoliaire (tableau 9).

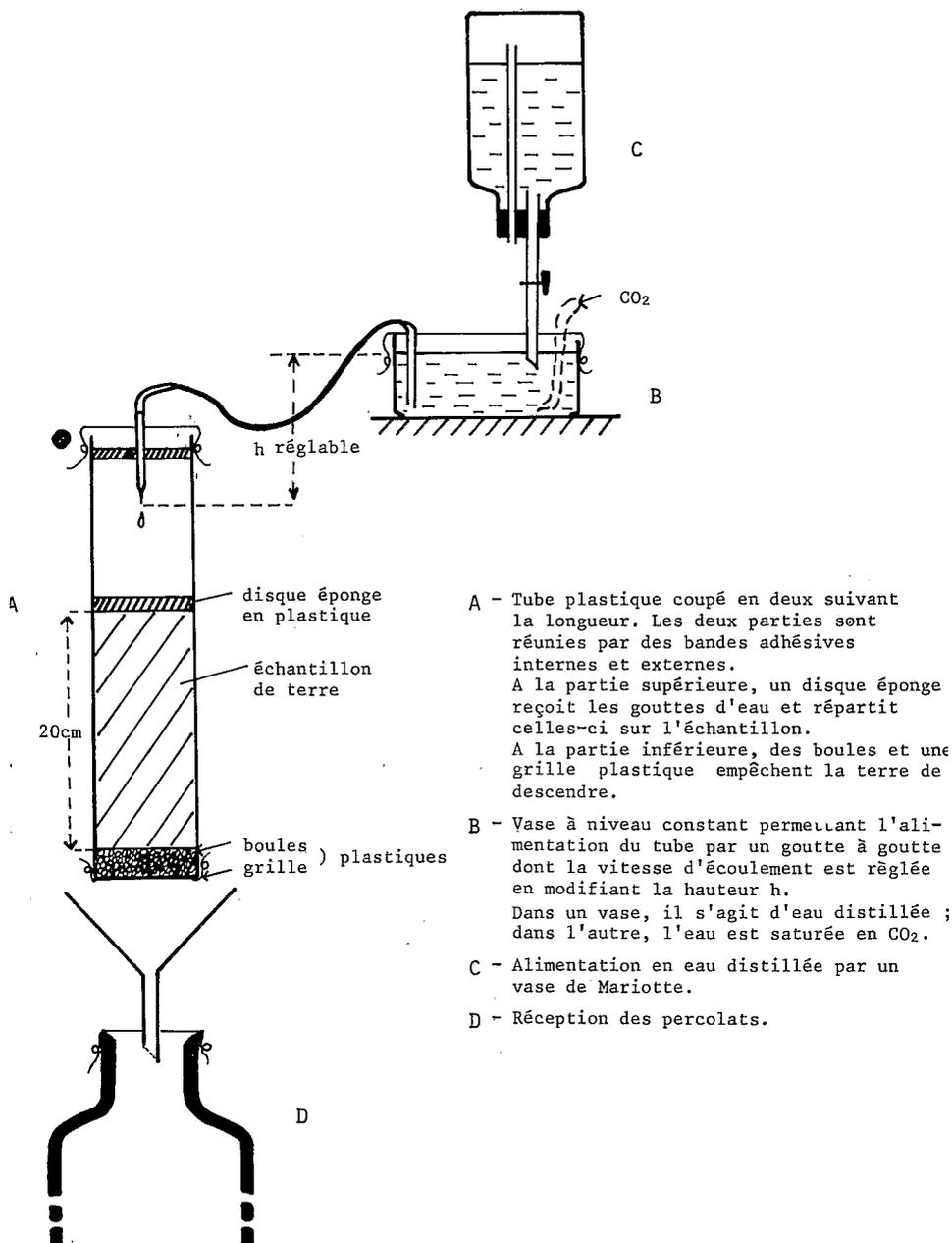
La moitié de l'échantillon est utilisé sans traitement, l'autre moitié a subi un traitement au chlorure de calcium normal en vue d'une resaturation du complexe (1). En fait, le nouvel échantillon obtenu n'a pu être saturé qu'à 71 %, en calcium essentiellement (12,1 mé %), tandis que le magnésium n'atteint plus que 0,4 mé %, le potassium 0,16 mé %, le sodium 0,08 mé %, et l'aluminium 1,2 mé %. Donc, Ca a remplacé Mg, Na et Al sans toutefois saturer le complexe d'échange. La porosité est de 44 % pour les échantillons traités au Ca Cl₂ et de 50 % pour les échantillons naturels.

Des tubes en plastique de 40 cm de long et 5,3 cm de diamètre ont été chargés avec 500 grammes de terre tamisée à 2 mm, par petites fractions déposées lentement au fond des tubes pour éviter les hétérogénéités dues au chargement. Le montage des tubes, l'alimentation et la réception des solutions sont représentés par le schéma de la figure 1.

(1) Méthodes utilisées : C.E.C. : Ca Cl₂ N à pH 7 - Bases échangeables : Acétate d'ammonium à pH 7 - Al échangeable : K Cl N - Al dit interfoliaire : Na O H/N - pH : 1 eau/2,5 terre.

Fer total à H Cl pur - Fer libre Deb.

Saturation dans des tubes avec Ca Cl₂ N (2H), 2N (2H), 1N, 0,5N et 0,1N, puis lavage à l'eau distillée.



- A - Tube plastique coupé en deux suivant la longueur. Les deux parties sont réunies par des bandes adhésives internes et externes. A la partie supérieure, un disque éponge reçoit les gouttes d'eau et répartit celles-ci sur l'échantillon. A la partie inférieure, des boules et une grille plastique empêchent la terre de descendre.
- B - Vase à niveau constant permettant l'alimentation du tube par un goutte à goutte dont la vitesse d'écoulement est réglée en modifiant la hauteur h . Dans un vase, il s'agit d'eau distillée ; dans l'autre, l'eau est saturée en CO_2 .
- C - Alimentation en eau distillée par un vase de Mariotte.
- D - Réception des percolats.

FIGURE I. — Schéma de montage d'un tube
Example of an assembled tube

Le réglage du goutte à goutte étant très difficile sans un système de pompes automatiques, les vitesses d'écoulement ont varié de 0,6 à 1,2 litres par jour. L'écoulement dans les tubes s'est fait dans un état d'humidité voisin de la saturation, tandis que les teneurs en eau pendant les périodes sèches ne représentaient que 40 à 70 % de l'état de saturation.

Le protocole adopté est représenté sur la figure II.

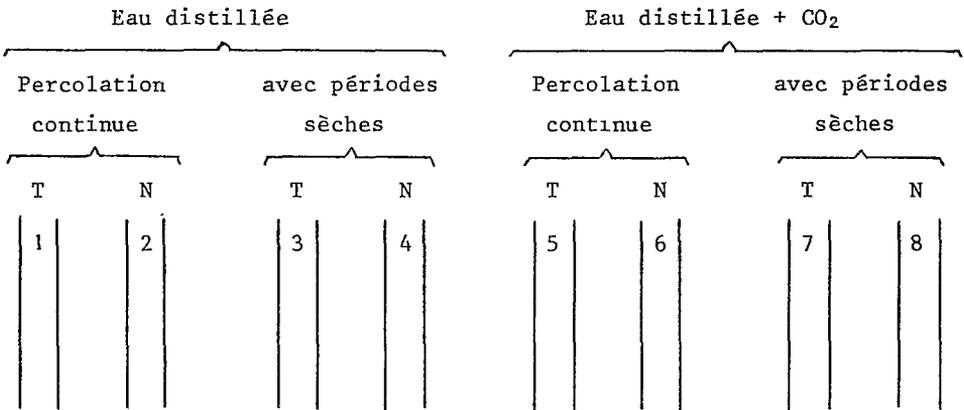


FIGURE II. — Schéma du protocole d'essai
 Scheme for the trials procedure

Les 4 tubes sont percolés par de l'eau distillée, les 4 suivants par de l'eau distillée chargée en gaz carbonique et acide (pH 4,2 à 4,3). Les tubes 1-2 et 5-6 sont soumis à un goutte à goutte continu, maintenant la terre constamment humide, tandis que les tubes 3-4 et 7-8 ont subi des alternances de périodes humides (21 à 24 jours) et de périodes sèches (21 à 35 jours).

Les tubes impairs (1-3-5-7) ont été remplis de terre traitée au chlorure de calcium, saturée à 71 % en calcium essentiellement, tandis que les tubes pairs (2-4-6-8) ont été remplis de terre naturelle, saturée à 63,7 % en magnésium surtout et en calcium.

Il s'agit donc, en fonction des conditions de l'expérimentation et du matériau utilisé, de tester l'influence du gaz carbonique et des alternances de périodes sèches et humides sur l'entraînement à l'état soluble de la silice, des cations du complexe absorbant et éventuellement des matières minérales contenues à l'état de suspension dans les percolats.

III. — LES RESULTATS OBTENUS.

1. ANALYSES DES SOLUTIONS DE PERCOLATION.

L'expérimentation a duré 1 an 1/2. Les quantités de solutions percolées sont données par le tableau 2.

TABLEAU 2. — Quantités de solutions percolées, en litres
 Amount of percolated solution (liters)

Echantillons :	Composition				Complexe				Al		Fe ₂ O ₃ %			
	Granulométrique				d'échange (mé %)				échangeable					
	Ar- gile	Limon gros	Limon sables	Sables	Ca	Mg.	K	Na	Taux de Satur.	pH	mé % du C.E.	Total	Libre	
Naturel	:50,4	:21,3	:10,3	:15,7	:3,14	6,56	:0,135	1,65	:63,7	:4,9	:2,64	:14,6	:7,5	:5,0
Traité au Ca cl 2.	-	-	-	-	:12,13	0,40	:0,160	0,08	:71,0	:5,1	:0,22	:1,2	:7,7	:

ENTRAÎNEMENTS SUR MATERIAU FERSIALLITIQUE

Tous les 2 ou 3 jours, les quantités de solution percolée étaient mesurées et une partie aliquote (1/20) prélevée pour analyse. Toutes les 3 semaines environ (durée des alternances sèches et humides), les parties aliquotes constituaient une série de 8 flacons qui étaient donnés au laboratoire pour analyse.

1.1. Transports en suspension.

a) Observations.

— Des observations et des mesures au colorimètre ont montré des troubles très nets dans les 10 premiers litres percolés et plus faibles dans les 10 et 20 litres suivants, mais uniquement pour les échantillons non traités au chlorure de calcium. Par la suite, tous les percolats étaient apparemment clairs.

— L'observation au démoulage met en évidence sur la paroi des tubes de très fins dépôts en forme de dentelle dont les festons sont tournés vers le bas. Ces dépôts sont très nets pour les échantillons non traités et l'on observe à la base de certains agrégats rouges une langue brun pâle. Ces fines pellicules brun pâle étaient visibles à la partie supérieure des tubes, surtout en 2 et 6.

— Des dépôts rougeâtres sur les tiges d'entonnoir et dans le fond des récipients de réception ont été observés, très nets pour 1 et 2, plus faibles pour 3 et 4.

b) Des filtrations effectuées sur filtres millipores ont permis de mesurer de très faibles suspensions de l'ordre de 7 à 10 mg/l. Ces entraînements rapportés à la totalité des solutions percolées sont donnés par le tableau 3. Ils représentent de 0,3 à 0,8 % de la terre totale des tubes.

TABLEAU 3. — *Suspensions recueillies sur filtres millipores*
Suspended materials collected on millipore filters

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8
Résultats en grammes	3,39	3,99	1,32	1,57	3,61	4,05	1,78	1,77

c) L'analyse minéralogique des suspensions de l'échantillon 2 a montré qu'il s'agit de constituants très fins parfaitement cristallisés et représentatifs de la partie fine du matériau garnissant les tubes.

1.2. Transports en solution.

D'une façon générale, les solutions de percolation sont très diluées. Certains éléments tels que le fer et l'aluminium n'ont pas été décelés à l'analyse, les sulfates étaient difficilement dosables. Par contre, nous avons pu suivre la silice, le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium. Notons quelques valeurs inférieures à la limite des quantités dosables pour le potassium et le magnésium (la valeur moyenne est retenue pour les calculs).

a) Quantités d'éléments entraînés.

Sur le tableau 4 sont portées les quantités d'éléments exportés : quantités totales en grammes et quantités en milligrammes par litres. Sur le tableau 5, nous avons comparé l'action des différents traitements sur l'entraînement des principaux éléments en utilisant les charges en mg/l :

- action du gaz carbonique par rapport à celle de l'eau permutée ; + CO₂
- action des périodes sèche par rapport à la percolation continue ; — CO₂
- action du traitement au chlorure de calcium par rapport à l'objet non traité ; Sec
- Trait. Cl₂Ca Hde

Nat.

TABLEAU 4. — *Quantités d'éléments entraînés au cours de l'expérimentation*
Amount of elements washed down during the experiments

Echantillons	SiO ₂		Ca ⁽¹⁾		Mg		K		Na	
	Total mg	mg / l	Total mg	mg / l	Total mg	mg / l	Total mg	mg / l	Total mg	mg / l
1	2079	4,22	465	1,84	44	0,089	81	0,164	147	0,298
2	2130	4,26	270	1,07	62	0,125	64	0,131	214	0,434
3	1029	6,08	185	2,64	9	0,056	21	0,127	43	0,254
4	1173	6,85	95	1,33	8	0,050	15	0,089	128	0,748
5	2593	5,25	1133	4,49	38	0,078	86	0,175	140	0,283
6	2678	5,42	448	1,77	266	0,539	79	0,161	255	0,517
7	1265	7,03	351	4,54	25	0,138	37	0,208	56	0,310
8	1450	8,09	128	1,58	90	0,505	29	0,163	177	0,990

(¹) - Ca : Valeurs corrigées (8 résultats erronés sur 133 ont été remplacés par les valeurs moyennes).

TABLEAU 5. — Représentation synthétique permettant de comparer les différents traitements

(Valeurs en % : ↗ en augmentation ; ↘ en diminution)

Synthetic representation allowing to compare different treatments

Rapports entre Traitements	SiO ₂	Ca	Mg	K	Na
+ CO ₂	20,4	79,9	293,7	38,3	21,1
- CO ₂	↗	↗	↗	↗	↗
Sec	46,4	10	9,8	6,9	50,2
Humide	↗	↗	↘	↘	↗
Traitement Cl ₂ Ca	8,3	100,1	70,4	23,9	57,4
Nat.	↘	↗	↘	↘	↘

b) Dynamique des entraînements.

b1. Dissolution en fonction du temps.

Pour suivre la dissolution des différents éléments en fonction du temps, il faut tenir compte des faibles concentrations ioniques dans les percolats aqueux qui occasionnent des erreurs analytiques relativement importantes. Seule la silice, dissoute à raison de 3 à 10 mg/l, présente des variations nettes (figure III) :

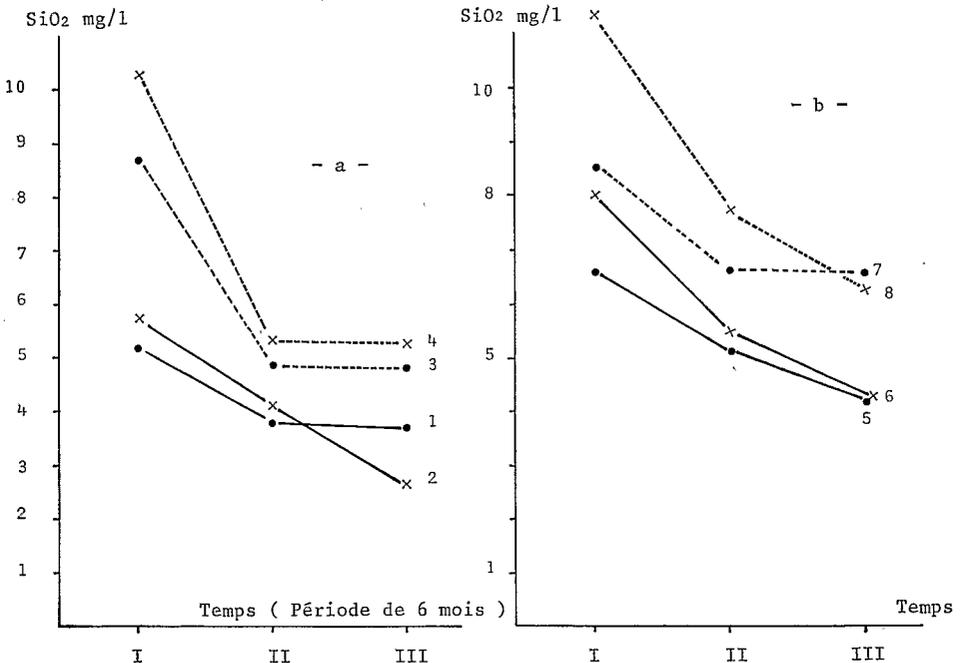


FIGURE III. — Dissolution de la Silice en fonction du temps

a = Sans CO₂ — b = Avec CO₂

— Continuellement humide Avec périodes sèches

SiO₂ dissolution as a time function

(— ever moist, with dry periods)

— durant les premiers 6 mois, la silice dissoute est de 5 à 8 mg/l, dans le cas des échantillons continuellement humides, de 8 à 12 mg/l dans le cas d'échantillons soumis à une alternance de périodes sèches et humides ;

— au cours des 12 mois suivants, les dissolutions semblent atteindre un palier situé entre 3 et 4 mg/l dans le cas des échantillons continuellement humides, entre 5 et 7 mg/l dans le cas des échantillons soumis à une alternance de périodes sèches et humides.

En ce qui concerne les autres éléments, les teneurs (en mg/l) sont trop faibles pour que les variations en fonction du temps soient interprétables. Il semble cependant que les entraînements en calcium aient été un peu plus importants durant les 6 premiers mois de l'expérimentation.

b2. Dissolutions après une période sèche.

Les 4 premiers litres de solution ont été prélevés séparément après une période sèche de 35 jours (80 % de l'eau évaporée) et les résultats comparés à la moyenne de la série.

Dans ce cas également, seule la silice présente des résultats significatifs (figure IV) :

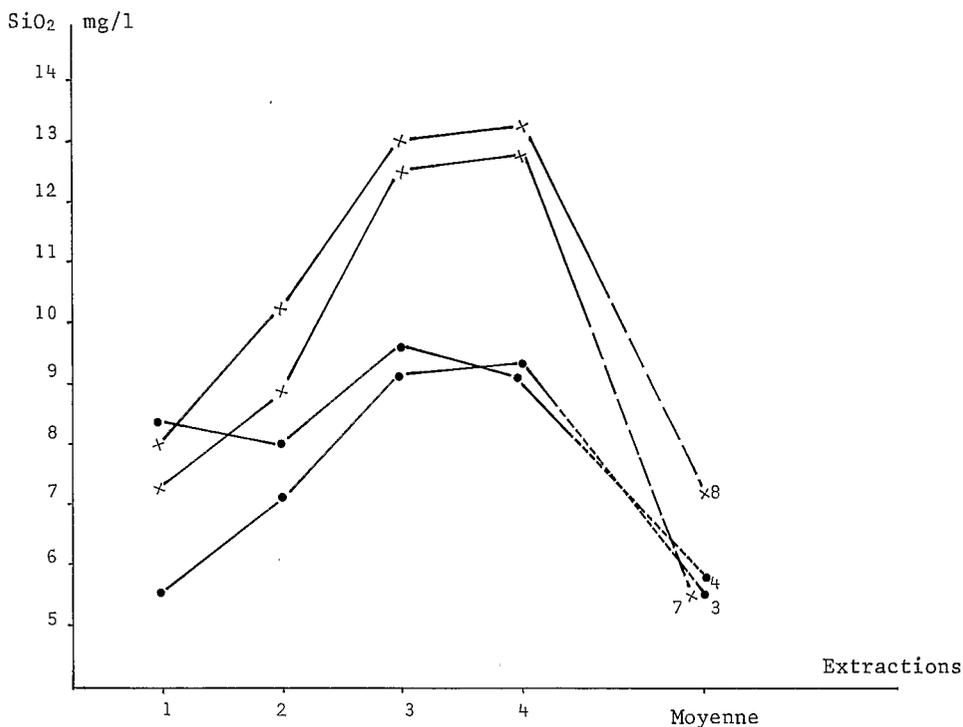


FIGURE IV. — Premières dissolutions de SiO₂ après période sèche
(● Sans CO₂ — × Avec CO₂)

First SiO₂ dissolutions after a dry period
(● Without CO₂, × with CO₂)

— le premier litre extrait contient des quantités de silice voisines de la moyenne de la série ;

— le 2^e et le 3^e litres contiennent des quantités croissantes de silice ;

— le 4^e litre ne présente plus d'accroissement.

Les autres éléments semblent également être plus fortement dissous après une période de dessiccation, mais les résultats ne sont pas aussi nets que pour la silice.

2. ANALYSES ET OBSERVATIONS DES ECHANTILLONS APRES PERCOLATION.

Les tubes étant coupés en deux suivant leur longueur, le dépôtage n'a pas présenté de difficulté. Un échantillon de surface (0-6 cm) et un échantillon de profondeur (12-18 cm) ont été prélevés pour analyses physiques et chimiques, tandis que 3 échantillons par tube ont été prélevés pour la fabrication de lames minces.

2.1. Analyses physiques.

a) **Granulométrie** : chaque échantillon a été analysé en double tandis que 5 répétitions ont été effectuées sur l'échantillon témoin avant expérimentation. Aucune variation significative n'a été observée dans les 8 tubes de l'expérimentation.

b) **Structure** : le test de HENIN (1976) a été utilisé pour évaluer les teneurs en agrégats (traitement à l'alcool, à l'eau et au benzène), la dispersion et l'indice de stabilité ls. Seules les valeurs calculées en fonction des traitements sont présentées sur le tableau 6.

Le traitement au chlorure de calcium, mais sans doute aussi les manipulations qui l'ont accompagné, ont détruit une partie de agrégats tout en diminuant la dispersion. Au cours de l'expérimentation, l'agrégation s'est améliorée, la dispersion a diminué pour les échantillons naturels et augmenté pour les échantillons traités.

Les différences entre échantillons traités et naturels sont moins importantes après l'expérimentation.

La présence du gaz carbonique dans l'eau de percolation ou les alternances de dessiccation et d'humectation n'ont aucun effet sur la structure.

2.2. Analyses chimiques.

a) Variations des éléments basiques du complexe d'échange.

Différentes analyses de fer (total, libre, facilement extractible) n'ont mis en évidence aucune variation de cet élément. Par contre, le complexe d'échange a été particulièrement sensible aux applications d'eau chargée de gaz carbonique, mais l'eau distillée, même appliquée en grande quantité, ne provoque aucune variation significative (tableau 7), si ce n'est pour le sodium.

Sur le tableau 8, sont représentées, pour les 4 tubes percolés par l'eau chargée en gaz carbonique, les variations en pour cent, par rapport aux témoins respectifs, des différents éléments basiques du complexe absorbant.

La plupart des variations positives pour le potassium en particulier et pour le sodium, doivent être attribuées à des accroissements relatifs provoqués par les pertes élevées en calcium et magnésium.

L'application continue de solution de percolation provoque les plus fortes désaturations surtout en surface (74 à 82 %), tandis que les échantillons traités au chlorure de calcium se désaturent un peu moins que les échantillons non traités, riches en magnésium échangeable.

b) Aluminium échangeable et interfoliaire.

Le pH des échantillons étant voisin de 5 et parfois nettement inférieur après une forte désaturation du complexe d'échange, il a paru intéressant de suivre l'évolution de l'aluminium échangeable et interfoliaire. Le tableau 9 présente les quelques résultats obtenus par la méthode au chlorure de potassium normal pour l'aluminium échangeable et, par la soude normale pour l'aluminium dit interfoliaire (en effet la soude attaque les silicates et les valeurs obtenues pour « Al interfoliaire » sont alors trop élevées) Les accroissements en alumine par rapport aux témoins donnent une idée de l'importance des quantités d'alumine déplacées.

Aux rayons X, aucune variation notable n'a pu être décelée, même pour les échantillons (5 et 6) traités en continu par l'eau chargée de gaz carbonique.

2.3. Observations micromorphologiques.

a) Echantillons témoins avant percolation.

— **L'échantillon témoin** non traité, tamisé à 2 m/m, est constitué d'un ensemble d'agrégats disjoints les uns des autres. Ces agrégats sont plus ou moins anguleux, mais le plus souvent arrondis. Ils sont constitués d'un important plasma incluant des

TABLEAU 6. — Tests d'agrégation d'après Hénin (1976)
 Aggregation tests (according to Henin)

(Valeurs obtenues en tenant compte du chiffre de sable après l'essai au benzène)

Traitements	AGREGATS %				Dispersion %	Is
	Alcool	Eau	Benzène	Moyenne		
<u>Témoins avant expérimentation:</u>						
Traités	32,8	4,7	1,0	12,8	48,0	3,7
Naturels	51,0	21,7	0,9	24,5	68,9	2,9
<u>Témoins après expérimentation:</u>						
Traités	44,1	12,8	0,9	19,2	55,8	2,9
Naturels	58,8	30,2	0,9	30,0	48,6	1,6
Avec CO ₂	48,9	21,5	0,9	23,7	51,2	2,3
Sans CO ₂	51,5	19,3	0,9	23,9	53,8	2,4
Avec périodes sèches	51,0	16,8	0,9	22,9	54,3	2,5
Toujours humide	49,9	22,9	0,9	24,5	51,5	2,2

TABLEAU 7. — Analyses chimiques (complexe absorbant, pH et fer) effectués sur les échantillons avant (témoins traités et naturels) et après expérimentation (haut et bas du tube)

Chemical analysis (sorption complex, pH, iron) carried out before (reference natural and samples) and after experimentation (upper and lower points of the tube)

Echantillons				BASES ECHANGEABLES en mē. pour 100 g							pH	Fe ₂ O ₃ T %	
N° Série:	Prof. ^r cm:	Répét. ⁿ		Ca	Mg	K	Na	S	CEC	T %	Ca		
											Mg		
Nat.	(Avant expér.)	8		3,14	6,56	0,135	1,64	11,47	18,0	63,7	0,5	4,9	7,5
Traité		5		12,13	0,40	0,16	0,08	12,77	18,0	71,0	30,3	5,1	7,7
1.1	0 - 6	2		9,90	1,65	0,37	0,16	12,08	18,5	65,3	6,0	5,1	7,6
1.2	12 - 17	2		11,38	0,74	0,27	0,11	12,53	19,3	64,7	15,3	5,3	8,7
2.1	0 - 6	2		3,30	5,80	0,36	0,12	9,58	17,4	54,8	0,6	5,0	7,6
2.2	13 - 19	2		3,30	6,60	0,28	0,06	10,24	18,6	55,0	0,5	5,15	8,1
3.1	0 - 6	2		11,55	1,32	0,30	0,09	13,26	17,1	77,8	8,7	5,4	7,5
3.2	12 - 18	2		12,20	0,50	0,23	0,08	13,01	17,9	72,7	24,4	5,0	7,2
4.1	0 - 6	2		4,13	5,80	0,37	0,08	10,38	17,4	59,7	0,7	4,9	8,3
4.2	12 - 18	2		3,30	6,60	0,22	0,05	10,17	17,1	59,6	0,5	5,0	7,5
5.1	0 - 6	2		3,30	0,33	0,19	0,07	3,89	21,1	17,9	10,0	4,7	8,0
5.2	12 - 18	2		6,60	1,48	0,19	0,08	8,35	20,3	41,4	4,4	4,95	7,5
6.1	0 - 6	2		1,65	0,33	0,16	0,04	2,18	19,9	10,9	5,0	4,7	7,4
6.2	12 - 18	2		2,64	2,64	0,18	0,05	5,51	17,2	32,0	1,0	4,95	7,5
7.1	0 - 6	2		6,86	0,07	0,19	0,12	7,24	17,8	40,8	98,0	5,0	7,4
7.2	12 - 18	2		11,55	0,20	0,14	0,13	12,02	17,0	70,7	57,7	5,2	7,3
8.1	0 - 6	2		2,64	2,97	0,16	0,03	5,80	18,8	30,8	0,9	4,75	7,5
8.2	12 - 18	2		3,30	5,61	0,14	0,03	9,08	20,6	44,3	0,6	5,05	7,8

TABLEAU 8. — Variations en % (pertes —, augmentation +) par rapport aux différents éléments du complexe absorbant dans le cas du traitement avec CO₂
 Variations in % (losses —, gains +) as compared to the reference samples, considering the exchangeable bases in the case of CO₂ treatment

Numéro du tube	Place de l'échantillon dans le tube	Ca	Mg	K	Na	S	T
5	Surface	- 73	- 17	+ 19	- 12	- 69	- 75
	Profondeur	- 47	+270	+ 19	0	- 35	- 42
6	Surface	- 47	- 95	+ 18	- 98	- 81	- 83
	Profondeur	- 16	- 60	+ 33	- 97	- 52	- 50
7	Surface	- 43	- 82	+ 19	+ 50	- 43	- 42
	Profondeur	- 5	- 50	- 12	+ 62	- 6	0
8	Surface	- 16	- 55	+ 18	- 62	- 49	- 52
	Profondeur	+ 5	- 14	+ 4	- 62	- 21	- 30

TABLEAU 9. — Aluminium échangeable et interfoliaire
Exchangeable and interlayered aluminium

Echantillons	Aluminium échangeable			Aluminium interfoliaire	
	mé/100 g.	Al mé % du C.E.	Aug [¶] en Al ₂ O ₃ : p/aux témoins : (mg)	Al ₂ O ₃ %	Aug [¶] en Al ₂ O ₃ : p/aux témoins : (mg)
Ech. Nat. (témoin 1)	2,64	14,6		0,94	
Ech. traité (témoin 2)	0,22	1,2			
1.1.	1,22	6,5	17	1,02	80
4.1.	2,50	14,3	—	0,92	—
5.1.	8,24	39,0	137	1,24	300
5.2.	4,56	22,4	74	1,21	270
6.1.	9,71	48,8	121	1,21	270
6.2.	6,47	37,6	65	1,32	360
7.1.	5,52	31,0	90	1,07	110
7.2.	1,17	6,9	16	0,96	—
8.1.	6,62	35,2	68	1,13	190
8.2.	3,68	17,8	18	0,96	—

grains de quartz, de feldspaths et quelques nodules ferrugineux. Ce plasma est rouge (fer et argile sont bien liés), avec par points des tâches brunes déferruginisées. Il est « omnisépique à masépique », avec quelques orientations préférentielles autour des grains de quartz. Il s'agit dans l'ensemble de « cutanes de pression », mais on ne peut pas exclure l'existence d'anciens « cutanes d'illuviation », plus ou moins remaniés par les alternances de retrait et de gonflement.

b) Echantillons après percolation.

— **Les échantillons naturels, non traités.**

Les agrégats apparaissent encore, mais beaucoup plus soudés et laissent entre eux de très larges vides en surface, beaucoup plus fins en profondeur. Le type d'organisation à l'intérieur des agrégats est le même que dans le témoin. On n'observe pas même en profondeur, de cutanes d'illuviation récents (recouvrant des limites d'agrégats, etc.). Aucune différence n'apparaît entre les différents traitements, si ce n'est pour les échantillons 4 et 8 qui ont subi de plus faibles applications d'eau et qui présentent des liaisons inter-agrégats beaucoup plus faibles.

— **Les échantillons traités au chlorure de calcium.**

Ce qui caractérise l'aspect micromorphologique général, c'est qu'il n'y a plus de larges vides comme dans les échantillons non traités. L'ensemble du plasma s'est fondu dans une masse continue rougeâtre, sans tâches brunes déferrifiées. L'assemblage est « insépique », c'est-à-dire constitué d'une multitude de points biréfringents désordonnés, même les orientations, visibles autour des quartz, dans les échantillons non traités, ont disparu.

IV. — DISCUSSION.

Les applications d'eau avec ou sans gaz carbonique ont duré 1 an 1/2 et correspondent à des précipitations de 197 mètres dans le cas des tubes continuellement percolés et de 70 mètres dans le cas des tubes périodiquement percolés. Dans les conditions de Béja au Portugal, où a été prélevé l'échantillon, cela correspond à 300 ans et 110 ans de précipitations (633 mm/an). Il ne s'agit pas d'établir des comparaisons entre laboratoire et terrain, mais de montrer que les traitements appliqués ont été relativement énergiques et peuvent donner des enseignements sur ce qui se passe dans les sols.

1. TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION.

Les observations et les mesures sur filtres millipores ont mis en évidence de très faibles transports solides, de l'ordre de 3 à 4 grammes. Cela suffit pour pouvoir affirmer qu'il y a eu un entraînement mécanique de très fines particules, mais que celui-ci n'a pas été suffisant pour être calculé avec précision et pour laisser à la base des tubes des indices d'illuviation, tels que des revêtements argileux.

Ceci confirme les observations faites sur les échantillons de sols rouges fersiallitiques de la même région : les indices de lessivage sont relativement peu élevés (DACHARY, 1972-1975) et les « cutanes d'illuviation » sont très peu nombreux. Cependant, dans les sols, la matière organique, bien que faible, peut provoquer des entraînements sous forme de complexes organo-minéraux.

Par contre, D'ARAUJO (1974-1976) vient de montrer à Vale-Formoso, près de Béja, qu'en 20 ans, 10.350 m³ de sédiments s'étaient déposés dans un lac de barrage de 2 hectares. Ce qui correspond à une érosion de 3 T 54/an/ha soit une ablation de 5,36 cm en 20 ans, chiffres confirmés sur des parcelles de mesure de l'érosion voisines.

Il apparaît donc que les entraînements sous forme de suspensions solides dans les sols rouges fersiallitiques du Portugal se font essentiellement par les ruissellements de surface, c'est l'appauvrissement. Les mêmes entraînements, mais à l'intérieur des sols (lessivage), soit verticalement, soit latéralement, seraient relativement faibles.

2. TRANSPORTS EN SOLUTION.

Quantitativement, il apparaît que les transports en solution sont aussi importants que les transports en suspension, mais qualitativement, ils ont une autre signification tant en ce qui concerne le complexe d'échange qu'en ce qui concerne les minéraux argileux.

2.1. Influence du gaz carbonique.

— Les analyses des solutions de percolation mettent en évidence, pour tous les éléments étudiés, des taux d'accroissement de dissolution importants dus à l'apport de gaz carbonique dans les eaux de percolation. Ces taux d'accroissement sont surtout marqués pour les cations basiques du complexe d'échange, en particulier pour le magnésium. L'ordre relatif de solubilité décroissante en présence de gaz carbonique s'établit ainsi :



— Le rapport moléculaire Ca/Mg dans les eaux de percolation est le suivant :

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8
Ca/Mg	6,4	2,6	12,3	7,3	18,2	1,0	8,3	0,8

Ainsi le gaz carbonique favoriserait les exportations relatives de magnésium par rapport au calcium, sauf dans le cas de l'échantillon 5, enrichi en calcium et soumis à une forte percolation en eau chargée de gaz carbonique. Un cation très abondant dans le complexe sera donc préférentiellement entraîné par rapport à un cation présent en petite quantité.

Dans les sols, les solutions bien que non saturées, sont chargées en gaz carbonique et favorisent les dissolutions (GRAS, 1975).

Nous avons vu (tableaux 4 et 5) que seules les eaux chargées de gaz carbonique avaient une influence notable sur la dissolution des cations du complexe absorbant, allant jusqu'à une désaturation très poussée. Les rapports moléculaires Ca/Mg des échantillons après l'expérimentation sont tous plus forts en surface qu'en profondeur, dans le cas des traitements avec le gaz carbonique. Celui-ci semble favoriser l'exportation de Mg par rapport à Ca, du moins entre la surface des tubes et la profondeur. Même conclusion par rapport aux témoins, sauf dans le cas de l'échantillon 5 dont le rapport Ca/Mg a très fortement diminué comparé à celui du témoin, ce que nous avons également constaté pour les eaux de percolation.

2.2. Influence des alternances d'humectation et de dessiccation.

Les alternances de périodes sèches et humides ne semblent pas avoir une grande influence sur la dissolution des cations basiques du complexe, si ce n'est sur celle du sodium. Par contre, elles accroissent nettement (46,4%) la dissolution de la silice, ce qui apparaît également sur la figure IV dans les premiers litres percolés après une période sèche. On pourrait penser que les premiers litres percolés dissolvent en plus la silice contenue dans l'eau évaporée pendant la période sèche. En fait, le contenu moyen de cette eau ne représente qu'environ 1 mg de silice, quantité qui ne saurait justifier les accroissements de 4 à 6 mg observés dans les premiers litres percolés.

Cet accroissement de dissolution de la silice serait plutôt le résultat de l'action de la dessiccation sur la microdivision des fines plaquettes de minéraux argileux ou de leurs bordures. Cette microfragmentation qui existe à l'échelle des particules plus grosses (DACHARY 1975) favoriserait les dissolutions ultérieures de silice et en même temps la libération d'alumine, alors disponible pour résaturer partiellement le complexe d'échange et occuper des sites interfoliaires.

2.3. Evolution de l'aluminium au cours de l'expérimentation.

L'entraînement des bases alcalines du complexe d'échange est compensé en grande partie par une fixation d'alumine échangeable. Nous constatons également (tableau 9) un certain enrichissement en aluminium dit interfoliaire, bien que la méthode utilisée (soude normale) ne soit pas toujours très sensible. Le mécanisme de cette évolution est une désaturation hydrolytique continue des minéraux argileux. Parallèlement,

se produit une dissolution faible, mais progressive de la couche octaédrique de ces minéraux argileux dont les cations aluminium vont alimenter les sites d'échange et interfoliaires.

En fait, l'alumine fixée sur le complexe d'échange et en sites interfoliaires ne correspond qu'à une partie (15 à 20 %) de l'alumine qui serait fournie par les minéraux argileux, si la silice entraînée provenait entièrement de ceux-ci, ce qui n'est certainement pas le cas.

Nous noterons enfin que si expérimentalement nous n'avons atteint qu'une désaturation assez poussée du complexe d'échange, sur le terrain nous observons l'apparition de caractères d'hydromorphie (pseudogley et gley), à la base de l'horizon B et dans l'horizon d'altération.

V. — CONCLUSIONS.

L'expérimentation nous apporte un certain nombre de renseignements sur les entraînements dans un matériau fersiallitique percolé par des solutions aqueuses :

— les entraînements en suspension sont faibles malgré une porosité relativement bonne (44 % et 50 %) ;

— l'eau pure n'a que très peu d'action, si ce n'est un pouvoir de dissolution limité ;

— l'eau chargée en gaz carbonique provoque une forte lixiviation des cations du complexe d'échange, qui sont remplacés par de l'aluminium échangeable avec baisse de pH ;

— les alternances de dessiccation et d'humectation accroissent nettement les dissolutions de silice.

Si nous transposons ces quelques résultats dans la nature, nous constatons que l'état de désaturation des sols rouges fersiallitiques est le résultat d'une part des départs ioniques dus aux eaux de percolation plus ou moins chargées en gaz carbonique, d'autre part des apports ioniques suite aux altérations des minéraux primaires ou secondaires présents dans le milieu. Ainsi nous rejoignons en partie les conclusions auxquelles nous étions parvenus après la première expérimentation (LAMOUROUX, 1972).

Par contre, en l'absence de matières organiques, il apparaît que la désaturation du complexe absorbant ne favorise pas forcément les entraînements en suspension, comme c'était le cas avec les sols du Liban, plus argileux que ces sols formés sur schistes. Le moteur de ces entraînements serait, dans le cas de ces sols rouges formés sur schistes, essentiellement mécanique (quantité d'eau, vitesse du flux, etc.).

Les alternances de périodes sèches et humides qui jouent un grand rôle dans les sols formés sur roches carbonatées, favoriseraient dans les sols rouges formés sur schistes, les microdivisions de fines particules argileuses et partant la dissolution de la silice.

Le sol rouge fersiallitique de par la nature de ses constituants et de par son organisation, liée en particulier aux liaisons fer-argile, est extrêmement résistant aux entraînements provoqués par les eaux de percolation. En l'absence d'apports cationiques dus aux altérations de minéraux primaires, il se désature et peut se lessiver d'autant plus que les matières organiques sont abondantes.

(Reçu pour publication : novembre 1977.)

EXPERIMENTS ON THE WASHING DOWN OF DISSOLVED AND
SUSPENDED PRODUCTS IN A FERSIALLITIC MATERIAL

SUMMARY

The study of washing away in soluble form or in solid suspension has been entered upon in the laboratory working on a red fersiallitic schistes derived soil. The samples set in tubes were separated in two parts. The first has a natural magnesium rich absorption complex, the second has been artificially calcium enriched. The percolating solutions were pure water or carbonic gaz saturated, and applied without interruption or by turns as in wet and dry periods.

A number of results have been obtained:

- a relatively weak washing down of solid suspension: 3 - 4 g for 500 liters of percolating water;*
- a reduced effect of pure water but much more so by addition of carbonic gaz;*
- an important displacement of exchangeable cations, the place of which is taken, on the complex, by aluminium while pH is lowered. Exportations are important and concern mainly magnesium first and next in order calcium, potassium, sodium and silica;*
- a distinct increase (41% on an average) of the dissolution of silica, due to the alternating drying up and moistening.*

In the field, we can ascertain that red fersiallitic schists derived soils are liable to the carrying away of material in relation with surface erosion or impoverishment, and somewhat less to lixiviation. On the other hand, the absorption complex may be strongly desaturated, continued by aluminisation of the sites set free.

The results obtained during this experimental study show obviously that a fersiallitic material, in account of the nature of the constituents and of the organisation, resists pretty strongly to the mechanical washdown brought about by percolating waters. However, the cations fitted on the exchange complex are removed, especially as the percolating solution contains carbonic acid.

Bibliographie

- DACHARY M.-C. (1972). — Une séquence de sols rouges sur schistes à Vale Formoso (Alentejo, Portugal). Bull. A.F.E.S. n° 3, pp. 129-143.
- DACHARY M.-C. (1975). — Genèse actuelle des sols sur schistes de la région de Béja (Alentejo Portugal). Bull. A.F.E.S.-Sciences du Sol, 4, pp. 231-248.
- D'ARAÚJO E.B. (1974-1976). — A sedimentação na albufeira de Vale Formoso. Rev. Ciênc. Agrar. Lisb., 1, pp. 157-170.
- GRAS F. (1975). — Les sols très calcaires du Liban Sud. Evolution et mise en valeur. Thèse présentée. à l'Institut Louis-Pasteur de Strasbourg.
- HENIN S. (1976). — Cours de physique du sol. T. I et II. ORSTOM Paris.
- LAMOUREUX M. (1972). — Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. Mémoires ORSTOM n° 56, p. 266.

(Extrait de « Science du Sol - Bulletin de l'A.F.E.S. » n° 1 - 1978)

**Expérimentation sur l'entraînement
des produits dissous et en suspension
dans un matériau fersiallitique**

par **M. LAMOUREUX, J.-C. LOYER, M. PINTA et A. BOULEAU**
O.R.S.T.O.M., SERVICES SCIENTIFIQUES CENTRAUX (BONDY)

O. R. S. T. O. M. 23-OCT. 1978
Collection de Référence

n°

ex 1 B 9353 Peds.