

Observations sur l'exportation de l'argile par les eaux de drainage, effectuées sur trois sols tropicaux sablo-argileux reconstitués en cases lysimétriques

par **A. CHAUVEL**
Pédologue O.R.S.T.O.M.
et **C. CHARREAU**
Pédologue O.R.S.T.O.M.
Détaché à l'I.R.A.T.

RESUME

L'étude comparée des exportations d'argile à partir de 3 sols tropicaux, sablo-argileux, reconstitués dans les cases lysimétriques de Bambey (Sénégal) nous renseigne :

1° *Sur l'influence des caractéristiques du sol sur les possibilités d'exportation d'argile :*

- *là où le degré de saturation calcique est élevé (sol DEK), les eaux de drainage ne contiennent pas d'éléments en suspension ;*
- *là où il est plus faible, l'importance des exportations semble être dépendante de la teneur en argile très fine ($< 0,2 \mu$) facilement dispersable (très faible dans le sol ROUGE, forte dans le sol DIOR) ;*

2° *Sur le déroulement des exportations au cours d'une période de lessivage :*

- *d'abord faible, l'exportation se fait brutale, comme si de l'argile facilement exportable préexistait dans le sol, puis se ralentit plus ou moins rapidement suivant les années et les cases lysimétriques (courbe en S) ;*

3° *Sur la nature minéralogique des éléments entraînés :*

- *ce sont, en particulier : la Kaolinite mal cristallisée, la Goethite microcristalline (cas du sol DIOR) et le quartz.*

1. INTRODUCTION.

Le lessivage de l'argile et sa migration verticale dans le profil de sol sont des phénomènes encore mal connus, en particulier pour les sols de la zone tropicale sèche.

L'étude de ce phénomène est délicate. Pour être menée à bien, elle doit être abordée par différentes méthodes d'approche. L'une de celle-ci consiste à mesurer les quantités d'argile entraînée dans les eaux de drainage des sols placés en cases lysimétriques. Cette méthode ne prétend pas rendre compte de tous les mouvements verticaux de l'argile intervenant dans le profil de sol, puisque les déplacements qui se produisent entre 0 et 2 m lui échappent. Elle ne fournit de renseignements que sur l'argile exportée hors du profil en dessous de 2 m de profondeur. C'est cette méthode que nous avons utilisée ici pour trois sols tropicaux sablo-argileux soumis à divers traitements, sous climat Sahélo-Soudanien.

Le dispositif expérimental et les sols seront brièvement décrits. On s'attachera ensuite à la caractérisation des éléments fins entraînés dans les eaux de drainage au cours des années et on s'efforcera de préciser le rôle de différents facteurs pouvant influencer ces variations. On terminera par une tentative globale d'interprétation des résultats obtenus.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL : CLIMAT ET SOLS.

L'étude a été réalisée à Bambey (Centre Sénégal; latitude : 14° 42' N; longitude : 16° 28' W; altitude : 20 m). Le climat y est du type Sahélo-Sénégalais défini par AUBREVILLE (1). Il se caractérise essentiellement par l'opposition de deux saisons à caractères tranchés :

- une saison sèche, allant de la mi-octobre à la mi-juin pendant laquelle les précipitations sont nulles ou négligeables;
- une saison des pluies, de la mi-juin à la mi-octobre, au cours de laquelle il tombe en moyenne 650 mm de pluie.

La température moyenne annuelle est de 26°6; le régime thermique présente deux maxima (mai-juin et octobre) et deux minima (décembre-janvier et août).

Le dispositif expérimental de lysimétrie utilisé pour cette étude a été mis en place en 1952, à des fins essentiellement agronomiques : établissement de bilans hydriques et minéraux pour 3 sols différents, soumis à deux rotations (une triennale sans engrais et une quadriennale avec engrais).

Les lysimètres, au nombre de 12, sont des cubes de 2 m d'arête en béton armé recouvert, intérieurement, d'un enduit au fluosilicate de magnésium. Le fond des cases est rempli sur 10 cm, par des graviers de quartz de tailles décroissantes. Les détails de construction et d'aménagement ont été exposés dans une note antérieure (BONFILS P, CHARREAU C. et MARA, 1958-1959).

Les sols placés dans les lysimètres ont été prélevés à Bambey même (sols « DIOR » et « DEK ») et à Boulel (sol « rouge »), localité située à 150 km au Sud-Est de Bambey, sous un climat un peu plus pluvieux (800 mm). Ils se répartissent comme suit :

Cases 1 à 4 : Sol ferrugineux tropical faiblement lessivé, ou sol « DIOR » prélevé à Bambey.

La roche mère de ce sol correspond à des reprises éoliennes d'un matériau alluvial et éluvial. Elle est constituée principalement de grains de quartz associés à de faibles quantités d'argile.

Cases 5 à 8 : Sol peu évolué, hydromorphe, à structure massive, ou sol « DEK » prélevé à Bambey.

La roche mère de ce sol est constituée par un matériau complexe (sables argileux et calcaires).

Cases 9 à 12 : Sol ferrugineux tropical lessivé, à taches et concrétions, ou sol « ROUGE » prélevé à Boulel.

Ce sol est développé sur les grès sablo-argileux du Continental Terminal, composés principalement de quartz et de kaolinite, associés à des sesquioxides libres.

Pour la suite de l'exposé, et dans un but de simplification, on donnera aux sols leur dénomination locale : « DIOR », « DEK » et « ROUGE ».

Les résultats analytiques concernant ces différents sols figurent en annexe (annexe n° 1).

On en retiendra les principales caractéristiques suivantes :

— **La granulométrie** de ces trois sols est à nette dominante sableuse (entre 70 et 90 % de sable, dont la plus grande partie est à diamètre inférieur à 0,2 mm).

Les proportions de limons fins et grossiers sont toujours faibles (entre 5 et 14 %).

On observe partout un gradient d'augmentation en argile avec la profondeur. Ce gradient est peu accentué pour les sols « DIOR » et « DEK » : Le taux d'argile passe de 3 % en surface pour le « DIOR » à 7 % à 2 m de profondeur; pour le « DEK », les chiffres sont respectivement de 6 à 11 %. Pour le sol « ROUGE », au contraire, le gradient est nettement mieux marqué : 7 % d'argile en surface, 11 % à 50 cm et 20 à 22 % à 2 m.

Les fractions argileuses (de 0 à 2 μ) peuvent elles-mêmes différer par la répartition dimensionnelle de leurs constituants.

La centrifugation des suspensions argileuses obtenues par un traitement dispersant peu agressif (DEMCLON et BASTISSE) a permis de séparer l'argile très fine (de 0 à 0,2 μ) d'une argile plus grossière (0,2 à 2 μ).

Les résultats obtenus, exprimés en % de l'argile totale, figurent ci-dessous :

	de 0 à 0,2 μ	de 0,2 à 2 μ
	DIOR	45,0 %
DEK	8,5 %	91,5 %
ROUGE	3,0 %	97,0 %

Il apparaît que l'argile du sol DIOR est beaucoup plus riche en éléments de très petite taille que celle des sols DEK et ROUGE (*).

— La constitution minéralogique des fractions argileuses a été étudiée à l'aide des méthodes de diffraction X (avec essais de glycolage), d'analyse thermogravimétrique et thermique différentielle.

Les résultats obtenus (**) sont résumés dans le tableau n° 1 :

Tableau n° 1 : COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES FRACTIONS ARGILEUSES (< 2 μ)

Types de sols	Minéraux Fraction granulométriques	argileux			non argileux	
		Kaolinite	Illite	Montmorillonite	Goëthite	Quartz
DIOR 45 - 55 cm	0 - 0,2 μ	+++	+	+	+	
	0,2 - 2 μ	+++	+			+
DEK 45 - 55 cm	0 - 0,2 μ	+++		++	(+)	
	0,2 - 2 μ	+++		++		+
ROUGE 45 - 55 cm	0 - 0,2 μ	++++				
	0,2 - 2 μ	++++				+

Les fractions de diamètre inférieur à 2 μ des sols analysés comportent des minéraux argileux et des minéraux non argileux.

— Parmi les minéraux argileux, la kaolinite est toujours prédominante : elle représente environ 80 % de la phase argileuse du sol DIOR, 55 % de celle du sol DEK et la presque totalité de celle du sol ROUGE.

L'étude aux rayons X montre que la kaolinite contenue dans la fraction la plus grossière (de 0,2 à 2 μ) présente, dans tous les cas, un pic aigu et propre : elle est bien cristallisée. Il apparaît, par contre, que la kaolinite contenue dans la fraction plus fine (< 0,2 μ) est caractérisée par des pics plus émoussés et plus flous, indices d'une moins bonne cristallinité.

Cette kaolinite est accompagnée d'une faible proportion d'illite et de montmorillonite dans le sol DIOR et d'une quantité appréciable de montmorillonite dans le sol DEK.

Les minéraux argileux se répartissent de façon sensiblement comparable dans les fractions les plus grossières (de 0,2 à 2 μ) et dans les plus fines.

(*) Il est à noter que les particules ainsi séparées ne correspondent pas nécessairement aux cristallites d'argile mais qu'elles peuvent être constituées d'assemblages polycristallins cimentés par des sesquioxydes de fer. Il n'en reste pas moins vrai que sous l'action d'agents dispersants peu agressifs, le matériau du sol DIOR se dissocie en éléments sensiblement plus fins que celui des autres sols étudiés.

(**) Nous remercions M^{lle} H. Paquet, de la Faculté des Sciences de Strasbourg, qui nous a prêté son concours pour l'interprétation minéralogique.

— Dans la phase non argileuse des fractions inférieures à 2 μ on peut mettre en évidence :

- de la goéthite (une quantité appréciable dans le sol DIOR, faible dans le sol DEK, nulle dans le sol ROUGE) ;
- des produits amorphes (surtout dans les sols DEK et DIOR) ;
- du quartz (dans les trois sols étudiés, particulièrement abondant dans l'argile extraite des horizons superficiels).

A la différence des minéraux argileux, ces autres constituants ne se répartissent pas également dans les fractions fines et grossières. C'est ainsi que la présence de quartz n'est décelée que dans l'argile la plus grossière, tandis que la goéthite n'apparaît, en quantité appréciable, que dans les fractions très fines extraites des sols DIOR et DEK (< 0,2 μ).

— Les autres caractéristiques analytiques des sols étudiés, figurées en annexe, révèlent des différences qui portent principalement sur :

- la présence de calcaire, en faible quantité (de 0,2 à 0,8 %), uniquement dans les horizons profonds du sol DEK (entre 1 et 2 mètres) ;
- l'abondance du calcium échangeable qui, pour les échantillons prélevés de 45 à 55 cm, correspond à 22,5 % de la capacité d'échange dans le cas du sol DIOR, à 34 % dans le cas du sol ROUGE et à 90 % dans le cas du sol DEK.
- le degré de saturation du complexe, plus faible dans le sol DIOR (42,7 % de 10 à 20 cm) que dans le sol ROUGE (78,8 % de 10 à 20 cm) et très élevé dans le sol DEK (99,6 % de 10 à 20 cm) ;
- les pH, nettement acides dans le cas des sols DIOR et ROUGE, mais voisins de la neutralité dans le sol DEK.

Ce dernier sol apparaît ainsi comme étant seul caractérisé par une « ambiance » nettement calcaïque.

3. IDENTIFICATION DES ELEMENTS FINS ENTRAINES DANS LES EAUX DE DRAINAGE.

3.1. METHODE D'ETUDE.

En 1969, des prélèvements systématiques ont été effectués dans les eaux de drainage des cases de manière à disposer d'une quantité d'éléments fins suffisante pour pouvoir en effectuer l'étude minéralogique.

Les couvertures végétales sur les différentes cases ont été les suivantes :

Sol « DIOR » : cases 1 et 2 : friche herbacée
cases 3 et 4 : sol nu

Sol « DEK » : cases 5 et 6 : sol nu
cases 7 et 8 : friche herbacée

Sol « ROUGE » : cases 10 et 11 : sol nu
cases 9 et 12 : friche herbacée.

Des sarclages ont été effectués régulièrement sur les cases en sol nu de façon à empêcher toute pousse de l'herbe.

Les volumes de drainage ont été mesurés quotidiennement.

Les eaux de drainage ont été soumises au traitement suivant :

- Addition d'une quantité suffisante de Cl_2 Mg pour flocculer les argiles ;
- Décantation puis siphonnage du liquide clair surnageant ;
- Lavages à l'eau distillée et centrifugation répétés de façon à éliminer les chlorures ;
- Séchage à l'étuve à 60° et pesée du produit obtenu.

3.2. RESULTATS .

On examinera successivement :

- la pluviométrie et le drainage ;

- les quantités d'éléments fins entraînés dans les eaux de drainage ;
- les données de l'analyse minéralogique relatives à ces éléments.

3.2.1. Pluviométrie et drainage.

La pluviométrie a été relevée à proximité immédiate de la batterie de cases lysimétriques. Elle a été la suivante :

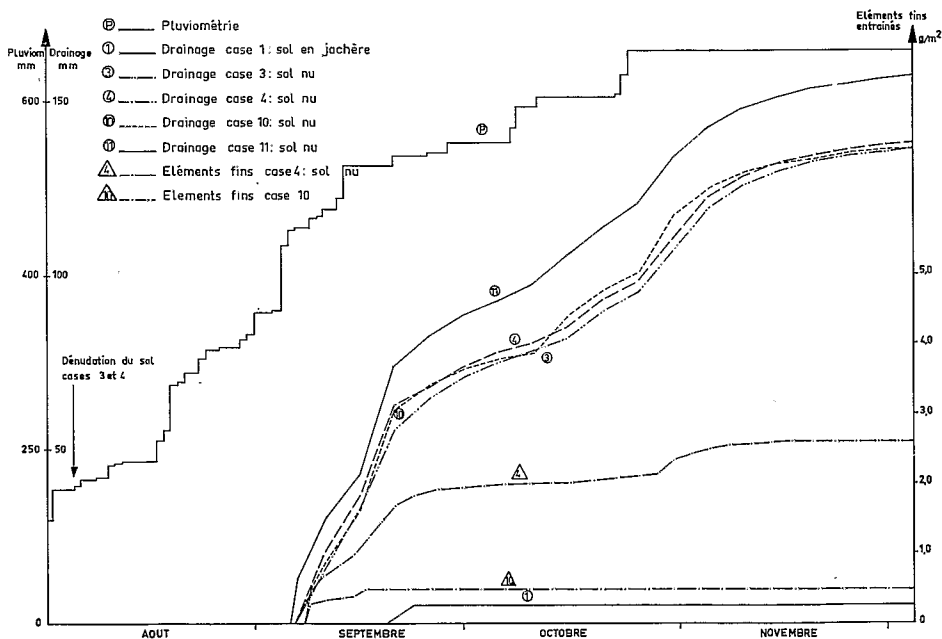
Mois	Hauteurs (mm)	Nombre de jours de pluie
Juillet	119,0	12
Août	238,9	19
Septembre	193,6	15
Octobre	107,1	9
TOTAL	658,6	55

La première pluie est tombée le 2 juillet, la dernière le 25 octobre. La hauteur annuelle correspond à peu près à la normale pour Bambey. La courbe de pluviométrie cumulée figure sur le graphique n° 1.

Le drainage n'a commencé que le 6 septembre, soit après plus de 450 mm de pluie cumulée.

Les hauteurs d'eau drainée ont été les suivantes (en millimètres) :

	Sol nu	Friche herbacée
Sol « DIOR »	3 : 139	1 : 5
	4 : 140	2 : 0
Sol « DEK »	5 : 132	7 : 0
	6 : 150	8 : 2
Sol « ROUGE »	10 : 137	9 : 0
	11 : 159	12 : 0



GRAPHIQUE 1. — Courbes cumulées de pluviométrie, drainage et entraînement d'éléments fins sur les sols des cases lysimétriques en 1969

Soit en moyenne : 22 % de la pluviométrie sous sol nu et moins de 1 % de la pluviométrie sous sol recouvert de friche herbacée.

Cette différence est due à la plus grande évapotranspiration sur sol recouvert de friche herbacée.

Pour chaque traitement : sol nu ou friche herbacée, il y a assez peu de différence de volumes drainés entre les répétitions d'un même sol et entre les différents sols. Ceci rejoint les observations faites les années précédentes montrant que la nature de la végétation a nettement plus d'influence, sur la hauteur d'eau drainée que la nature du sol, dans les conditions de l'expérimentation de Bambeï (BONFILS P., CHARREAU C. et MARA, 1958-1959).

Les courbes de drainage cumulé en fonction du temps figurent sur le graphique n° 1.

3.2.2. Quantité d'éléments fins entraînés dans les eaux de drainage.

La liste des prélèvements effectués figurent dans le tableau en annexe n° 2.

Les courbes de sommation, en fonction du temps, des poids d'éléments fins entraînés dans les eaux de drainage figurent sur le graphique n° 1.

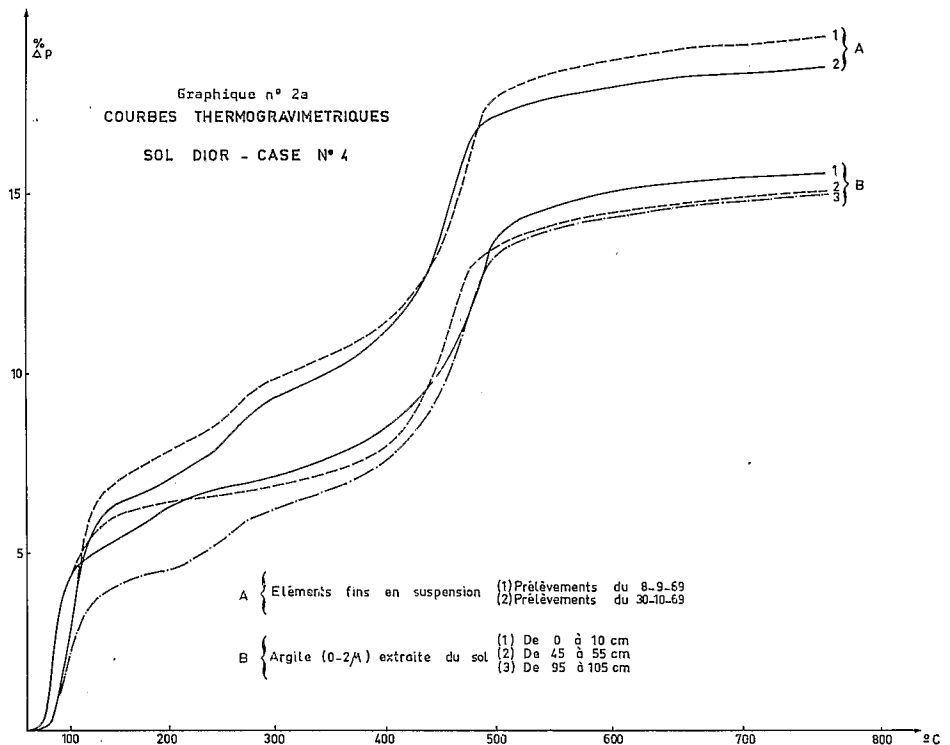
On constate que :

— l'entraînement d'éléments fins ne s'est produit que pour les sols DIOR (cases 1 et 4) et ROUGE (case 10) ; il est par contre nul pour les sols DEK ;

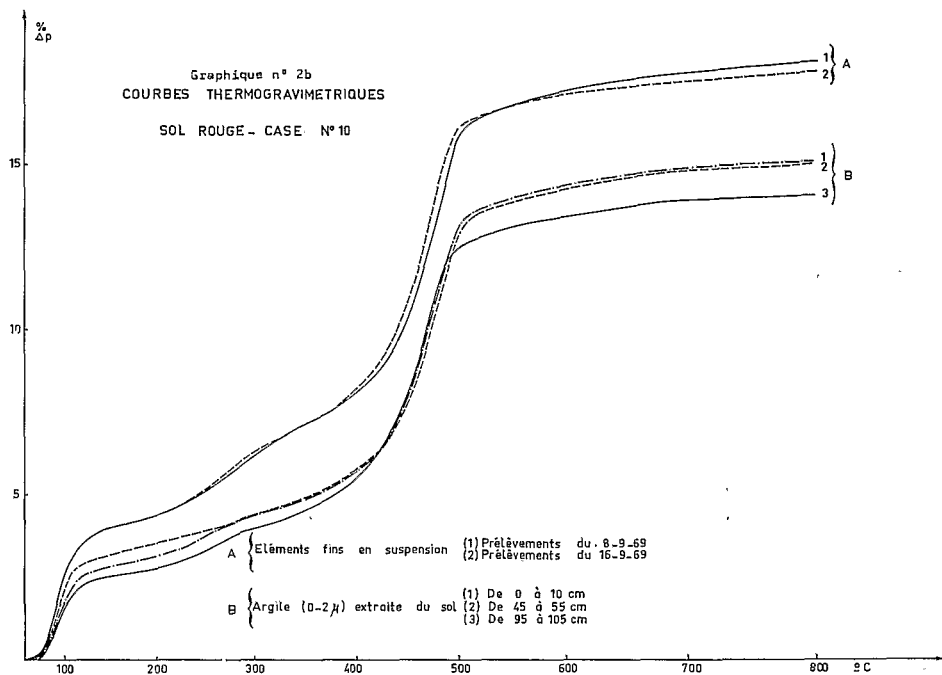
— cet entraînement n'est notable que pour les sols nus (cases 4 et 10), le drainage ayant été très faible sous friche herbacée (case 1) ;

— il se manifeste une variabilité importante entre répétitions : la case 3 se comporte différemment de la case 4 (sol « DIOR » nu), et la 11 de la 10 (sol « ROUGE » nu) ;

— cette variabilité contraste avec l'homogénéité des volumes d'eaux drainés.



GRAPHIQUE 2 a



GRAPHIQUE 2 b

3.2.3. Analyse minéralogique des éléments fins entraînés dans les eaux de drainage.

L'étude minéralogique a été réalisée sur les éléments fins entraînés dans les eaux de drainage des cases 4 (sol « DIOR » nu) et 10 (sol « ROUGE » nu), qui seuls étaient suffisamment abondants pour une analyse détaillée.

Les méthodes d'investigation utilisées ont été les mêmes que celles appliquées aux argiles de sols (Rayons X, A.T.D., A.T.P.).

Les courbes d'analyse thermogravimétrique (graphique 2 A et B) mettent en évidence les caractères minéralogiques communs aux éléments fins entraînés et à l'argile des sols correspondants ; les taux de kaolinite déduits de ces courbes sont, en effet, sensiblement identiques dans les deux cas : peu différents de 73 % pour le sol ROUGE et de 53 % pour le sol DIOR.

La comparaison des courbes d'analyse thermogravimétrique (graphique n° 2 a et b) et thermiques différentielles relatives aux échantillons prélevés à différentes étapes de la période de drainage fait également apparaître que la composition minéralogique des éléments entraînés ne manifeste pas de variation importante en fonction de la date des prélèvements.

Tous les éléments fins recueillis dans chacune des deux cases (4 et 10) ont donc été rassemblés en deux échantillons qui ont été soumis à des analyses détaillées.

On fournira d'abord les résultats concernant le sol DIOR (case n° 4).

L'analyse chimique totale (fusion alcaline) a été pratiquée sur l'ensemble des fractions inférieures à 2 μ entraînées en suspension dans les eaux de drainage ou extraites du sol. Les résultats sont figurés dans le tableau ci-après.

Tableau n° 2 : ANALYSES CHIMIQUES COMPAREES DE L'ARGILE ENTRAINEE EN SUSPENSION DANS LES EAUX DE DRAINAGE ET DE L'ARGILE EXTRAITE DU SOL (CAS DU SOL DIOR)

Eléments		Origine de l'argile								
		Si O ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Ti O ₂ %	Ca O %	Mg O %	Perte au feu %	Total %	ki = $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
El. en suspension		40,9	27,5	6,8	1,9	0,84	0,41	18,9	97,25	2,53
Argile extraite du sol	(0- 10 cm)	45,5	27,6	9,0	2,5	0,04	0,77	16,0	101,41	2,79
	(45- 55 cm)	41,4	29,1	8,3	2,2	0,64	0,46	15,4	97,50	2,41
	(90-105 cm)	41,8	29,5	8,8	1,9	0,60	1,56	15,3	99,46	2,41

Il ressort de l'examen de ce tableau que les éléments fins entraînés en suspension dans les eaux de drainage ont une composition chimique très comparable à celle de l'argile extraite de l'échantillon prélevé à 45-55 cm. Ils s'en distinguent toutefois par une perte au feu sensiblement plus importante, et par une teneur en Fe₂O₃ moindre.

La diffraction X confirme que la composition minéralogique du matériel entraîné est comparable à celle de la fraction inférieure à 2 μ du sol (graphique n° 3).

Il est néanmoins intéressant de constater que, dans le matériau entraîné en suspension, les minéraux argileux, et en particulier la kaolinite, présentent des pics plus émousés et plus flous, indices d'une cristallinité médiocre.

Ceci tendrait à prouver que le matériau entraîné en suspension est essentiellement constitué des particules argileuses les plus abîmées et les plus altérées qui, du fait des défauts présentés par leur structure, en particulier des liaisons non satisfaites, sont entraînées préférentiellement.

Compte tenu du fait que les particules de diamètre inférieur à 0,2 μ (qui constituent 45 % de l'argile de sol DIOR) présentent également les indices d'une médiocre cristallinité, il apparaît vraisemblable que ces mêmes particules sont entraînées préférentiellement en suspension dans les eaux de drainage (PAQUET H.).

Pour vérifier cette hypothèse, il est utile de comparer la constitution minéralogique des fractions argileuses grossières et fines à celle des éléments entraînés en suspension.

Les diffractogrammes X et les courbes d'analyse thermique différentielle, figurés sur les graphiques n° 3 et n° 4, mettent en évidence une gradation entre ces 3 échantillons :

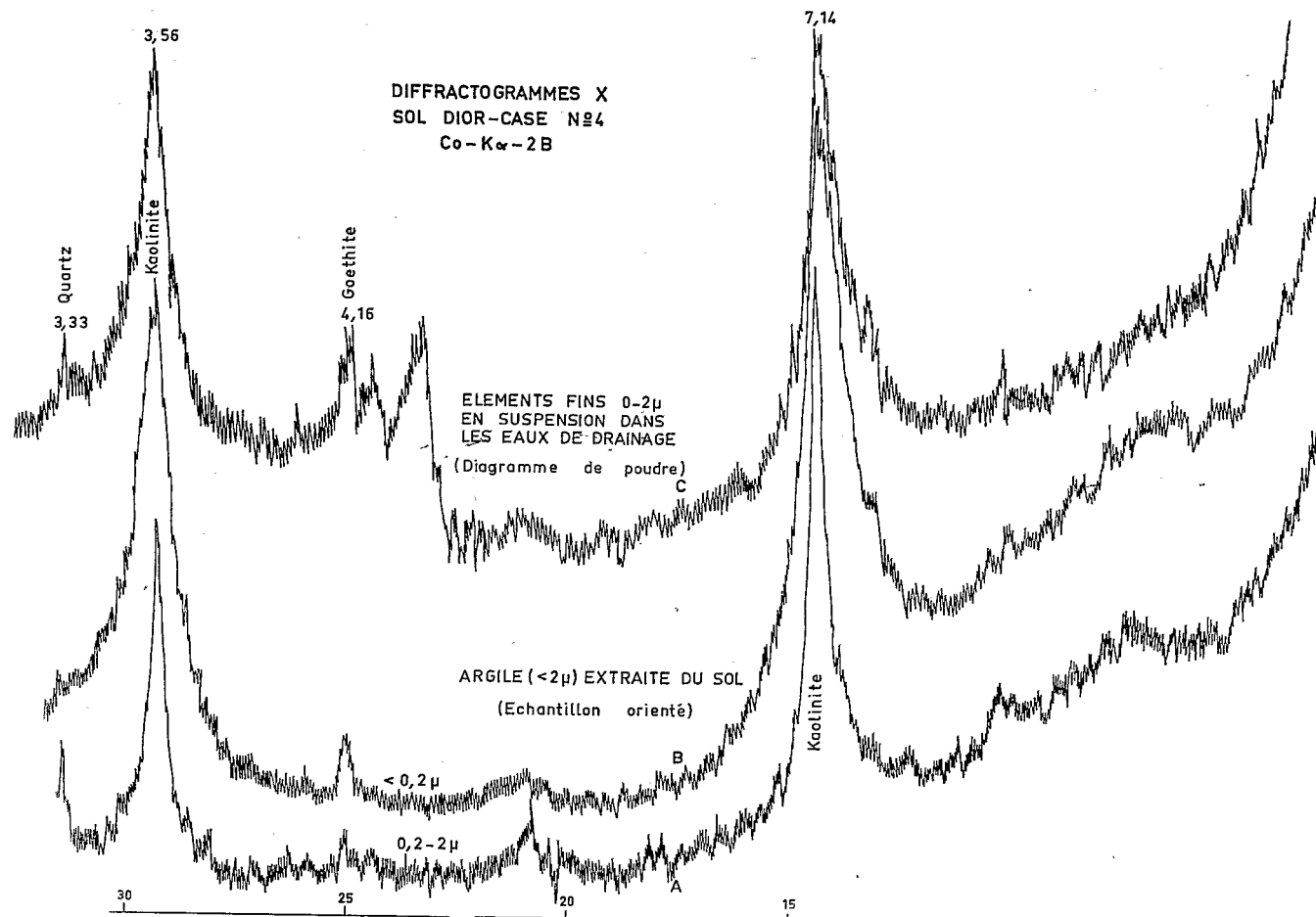
- A) Fraction grossière (0,2 à 2 μ) de l'argile du sol ;
- B) Fraction fine (<0,2 μ) de l'argile du sol ;
- C) Matériau en suspension dans les eaux de drainage.

Cette gradation porte sur :

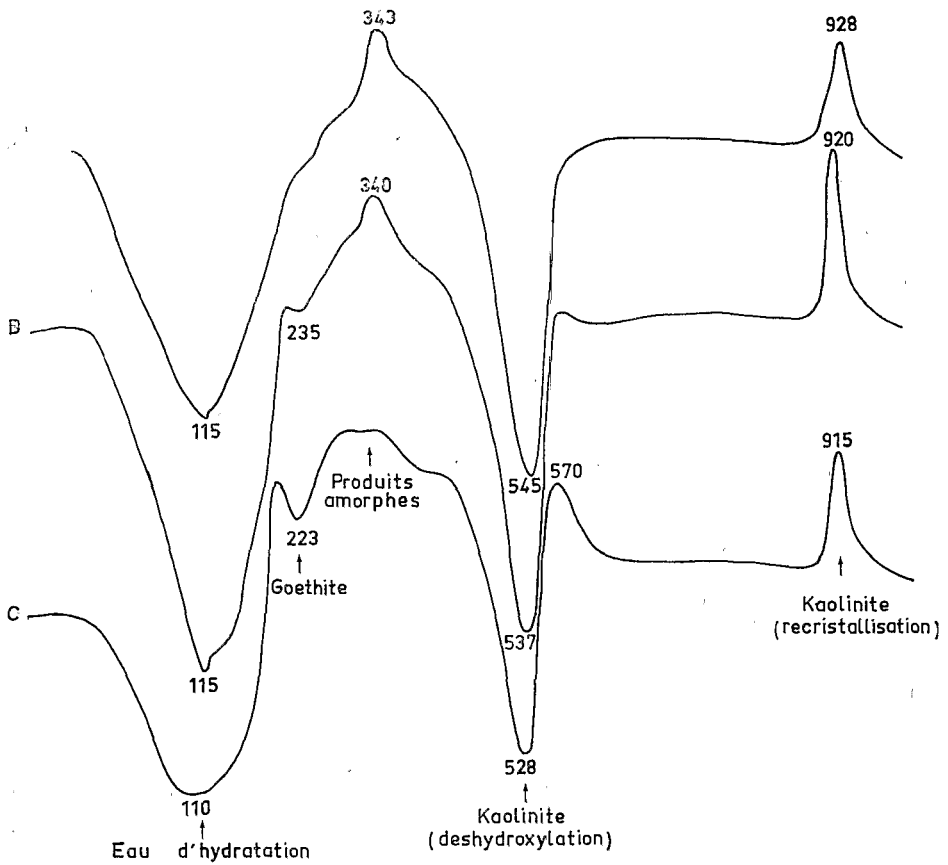
- le degré de cristallinité des minéraux argileux : élevé dans la fraction A, moindre dans la fraction B et médiocre dans la fraction C ;
- la présence de produits amorphes : en quantité appréciable dans A et décroissante dans B et C ;
- la teneur en goëthite, pratiquement nulle en A, croissante en B et C.

Il apparaît ainsi que les produits entraînés en suspension dans les eaux de drainage se présentent comme le terme extrême de la sélection faite par séparation des éléments les plus fins de l'argile granulométrique constitués par les minéraux argileux les moins bien cristallisés accompagnés par les hydroxydes les mieux cristallisés.

Il semble toutefois que cette sélection ne s'effectue pas seulement en fonction de la taille des particules puisque l'on retrouve dans les éléments entraînés en suspension une quantité appréciable de quartz, qui n'existe que dans la fraction argileuse grossière. La sélection des éléments entraînés ferait donc intervenir non seulement la dimension



GRAPHIQUE 3
(Effectués au Laboratoire des Sols, I.N.R.A. Versailles - D. TESSIER)



- A - ARGILE (0,2 - 2 μ)
- B - ARGILE (< 0,2 μ)
- C - ARGILE (< 2 μ)

EXTRAITE DE L'ECHANTILLON
PRELEVE A 45-55 cm

FLOCULEE ET SEPEREE DES EAUX
DE DRAINAGE

GRAPHIQUE 4. — *Courbes d'analyse thermique différentielle. Sol Dior, case 4.*
(Effectuées au Laboratoire des Sols, I.N.R.A. Versailles - D. TESSIER)

des particules mais encore, et surtout, leur nature cristallo-chimique qui détermine leurs possibilités de liaison.

Les résultats disponibles relatifs au sol ROUGE, pour être moins complets, n'en montrent pas moins, cependant, que la sélection des éléments entraînés semble se faire selon les mêmes mécanismes.

L'argile du sol ROUGE, à la différence de celle du sol DIOR, ne contient pas de goëthite; il est donc normal qu'on ne trouve pas de trace de ce minéral dans les éléments fins entraînés dans les eaux de drainage de ce sol.

4. VARIATION DE L'ENTRAINEMENT D'ÉLÉMENTS FINS DANS LES EAUX DE DRAINAGE AU COURS DES ANNÉES.

L'expérimentation agronomique sur les mêmes cases lysimétriques, comparant deux rotations culturales (avec et sans engrais) a été réalisée pendant 13 ans, entre 1954 et 1966. Pendant cette période, on a observé, à différentes reprises, des entraînements

solides dans les eaux de drainage. Il s'agissait d'éléments fins, à vitesse de sédimentation très lente, identiques dans leur comportement, à ceux dont l'étude minéralogique vient d'être effectuée.

On trouvera, dans les annexes n° 3 et 4, les résultats annuels de ces exportations en éléments fins dans les eaux de drainage des lysimètres au cours des 13 ans d'expérimentation (1954-1966).

Les valeurs moyennes de ces résultats, pour la période considérée, ont été rassemblées dans le tableau n° 3.

A l'examen de ces données, plusieurs constatations peuvent être faites :

— L'entraînement d'éléments fins dans les eaux de drainage se produit pour les sols « DIOR » et « ROUGE », mais jamais pour les sols « DEK ». En 13 ans d'expérimentation, les eaux de drainage des sols « DEK » ont toujours été parfaitement limpides.

Tableau n° 3 : VALEURS MOYENNES (1954 A 1966) DU DRAINAGE ET DES EXPORTATIONS EN ELEMENTS FINS

Sols	Rotation	Cases	Drainage		Eléments fins entraînés		Nombre d'années avec entraînement d'éléments fins
			mm (*)	L	Concentration mg/l	Exportations g	
DIOR	Q	1	140,1	560,5	132,0	74,0	7
		2	137,2	548,8	6,8	3,7	2
	T	3	123,4	493,8	12,5	6,7	5
		4	133,4	533,6	80,3	42,8	5
DEK	T	5	150,9	603,9	0,0	0,0	0
		6	149,7	599,0	0,0	0,0	0
	Q	7	134,2	537,1	0,0	0,0	0
		8	147,5	590,0	0,0	0,0	0
ROUGE	T	10	121,5	486,0	14,8	7,2	4
		11	113,0	452,0	22,7	10,3	3
	Q	9	137,7	551,1	11,4	6,3	3
		12	97,4	389,7	12,5	4,9	4

— Cet entraînement est très irrégulier et il existe, pour un même sol, de grands écarts entre les répétitions d'un même traitement. Par exemple, en 1962, 309,5 g d'éléments fins ont été entraînés dans les eaux de drainage de la case 4 (sol « DIOR », rotation T) alors que sur la case 3 (même sol, même traitement), les départs étaient limités à 3,4 g.

Ceci incite à être très prudent dans l'analyse du jeu des facteurs pouvant influencer le départ d'éléments fins.

(*) Les moyennes des hauteurs d'eau drainée sous culture (comprises entre 97,4 et 150,9 mm) présentent les mêmes ordres de grandeur que les hauteurs d'eau drainée sous sol nu en 1969 (comprises entre 132 et 159 mm). Elles sont, par contre, très supérieures aux hauteurs d'eau drainée sous friche herbacée cette même année (comprises entre 0 et 5 mm).

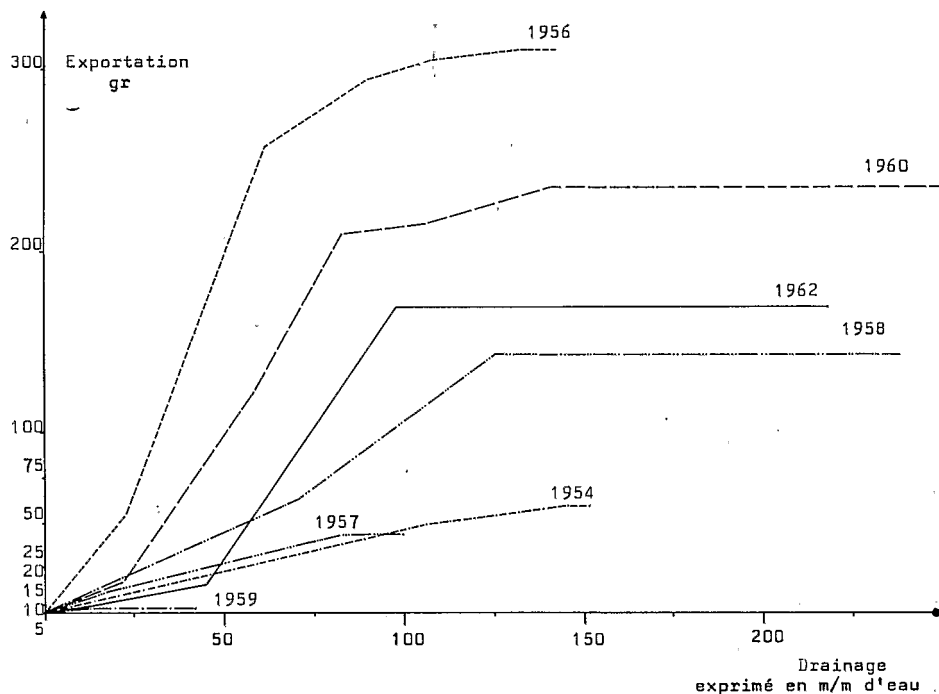
Ceci s'explique, en partie par l'effet des sarclages qui maintiennent les sols cultivés localement dénudés au début de la saison des pluies, en partie également par la bonne répartition des pluies observée en 1969, favorable au développement de l'évapotranspiration sur sol recouvert de friche herbacée.

— Ce départ est également irrégulier suivant les années ; certaines années l'entraînement apparaît plus général et plus important : tels sont les cas des années 1954 (troisième année d'installation et première année d'expérimentation) et 1958.

Il n'a pas été possible de mettre en évidence des liens de causalité entre l'importance des entraînements et divers facteurs tels que : allure de la pluviométrie et du drainage, nature de la couverture végétale, apports d'engrais, composition chimique des eaux de drainage.

— Si l'on suit l'évolution des entraînements d'éléments fins, au cours du temps pour une même case, on note que ceux-ci se produisent tout au long de l'expérimentation ; ils peuvent être aussi importants après 12 ans d'expérimentation (année 1965) qu'au début.

— A l'échelle de l'année, par contre, les départs d'éléments fins s'observent surtout **au début de la période de drainage** : Il y a généralement une décroissance assez nette des concentrations des éléments en suspension en fonction du temps et des volumes drainés. Ceci ne constitue pas toutefois une règle absolue, ainsi qu'on pourra s'en rendre compte à l'examen du graphique n° 5 fournissant, à titre d'exemple, pour la case 1, l'évolution en cours de saison des concentrations et exportations en éléments fins sur plusieurs années.



GRAPHIQUE 5. — Courbes cumulées d'exportation en éléments fins, en g, dans les eaux de drainage de la case 1 (Sol Dior) en fonction des volumes drainés au cours de différentes années

5. DISCUSSION ET CONCLUSION.

Malgré toutes les causes d'erreur inhérentes aux conditions d'expérimentation, plusieurs observations peuvent être dégagées de l'ensemble des résultats obtenus :

A) La première a trait à la comparaison des comportements des 3 sols reconstitués dans les cases lysimétriques de Bambej : deux seulement de ces sols donnent lieu à une exportation importante (sol DIOR) ou faible (sol ROUGE) d'argile, tandis que le troisième ne donne jamais lieu à aucune exportation (sol DEK) (tableau n° 4).

Tableau n° 4 : EXPORTATION D'ARGILE, DRAINAGE ET CARACTERISATION DES SOLS

TYPES DE SOLS	DIOR	ROUGE	DEK
Exportations d'argile par les eaux de drainage (exprimées en grammes par case) sous culture. Moyenne 1954-1966.	31,8	7,2	0
Drainages (exprimés en millimètres d'eau) sous culture. Moyenne 1954-1966.	133	117	148
Teneurs en argile (< 2 μ) (exprimées en % de la terre sèche). Prélèvement de 10 à 20 cm.	3,0	7,3	7,0
Granulométrie de l'argile (exprimée en % de la fraction < 2 μ). Prélèvement de 10 à 20 cm	< 0,2 μ	3	8,5
	0,2 μ à 2 μ	97	91,5
Ca/T. Prélèvements	de 10 à 20 cm	18,2	47,7
	de 100 à 125 cm	13,6	14,5
		68,9	86,1

Ces différences de comportement ne peuvent être expliquées par les hauteurs d'eau drainée puisque celles-ci présentent le même ordre de grandeur dans les 3 cas.

Elles ne peuvent pas non plus trouver leur origine dans la variation des teneurs en argile (< 2 μ) des horizons superficiels qui sont faibles dans les 3 sols.

Pour trouver une explication à ces différences, nous avons été conduits à étudier plus en détail les fractions argile (< 2 μ) en séparant une fraction très fine (< 0,2 μ) d'une fraction plus grossière (0,2 à 2 μ). Il est alors apparu que la fraction très fine était beaucoup plus représentée dans l'argile du sol DIOR que dans celle des autres sols.

L'analyse minéralogique révèle que la fraction exportée est comparable à la fraction très fine de l'argile du sol ; ceci laisse supposer que l'importance des exportations à partir du sol DIOR est liée à la richesse de l'argile de ce sol en éléments très fins.

Cette explication n'est pas suffisante, cependant, puisqu'elle ne rend pas compte de la différence de comportement entre sols ROUGE et DEK : ce dernier, plus riche en éléments très fins, ne donne lieu, en effet, à aucune exportation d'argile.

Pour tenter d'expliquer cette différence, il est possible de faire intervenir un indice traduisant la présence d'ions floculants dans le complexe adsorbant : le rapport Ca/T a été utilisé à cette fin.

On remarque que, pour les échantillons prélevés entre 10 et 20 cm de profondeur, la valeur de cet indice est sensiblement plus élevée pour le sol DEK (68,9) que pour les sols ROUGE (47,7) et DIOR (18,2) et que, de plus, cette valeur augmente avec la profondeur dans le sol DEK, tandis qu'elle diminue dans les autres sols.

L'absence de toute exportation d'argile à partir du sol DEK pourrait donc s'expliquer par l'importance du degré de saturation calcique, caractéristique de ce sol, qui s'oppose à la dispersion et à la migration des colloïdes argileux (*) (cf. entre autres RUELLAN A., 1970).

Pour un degré de saturation calcique moindre, l'exportation d'argile serait partiellement dépendante de la granulométrie de la fraction argileuse.

B) La deuxième observation a trait au déroulement de l'exportation d'argile au cours de chaque période de drainage.

(*) Il est probable que la nature des composés humiques exerce également une action importante sur la migration des colloïdes argileux.

Il apparaît nettement sur les courbes cumulées d'exportation d'éléments fins en fonction des volumes drainés (graphique n° 5) que plusieurs phases successives peuvent être distinguées au cours de chaque période de drainage :

- durant la première, on assiste à une augmentation progressive des exportations (accroissement de la turbidité) ;
- durant la seconde, la charge solide des eaux de drainage (exprimée par la pente de la courbe) est sensiblement constante ;
- durant la troisième, enfin, l'exportation diminue progressivement (1956-1960) ou s'arrête brutalement (1958-1962) : la charge solide des eaux de drainage tend alors vers zéro.

Tout se passe donc comme si, au début de la saison des pluies, une quantité variable d'argile « facilement exportable » préexistait dans les sols.

Le mécanisme qui donne naissance à cette « fraction argileuse exportable » ne nous est pas connu ; tout au plus pouvons-nous supposer qu'il est dépendant des alternances de dessiccation et d'humectation qui caractérisent les pédoclimats des sols étudiés ; tout au plus pouvons-nous constater aussi que son intensité varie largement, non seulement d'une année à l'autre, mais encore, pour un même sol et un même traitement, d'une case à l'autre.

L'intervention de ce mécanisme expliquerait pourquoi :

- dans une même station climatique (celle de Bambey) les quantités d'éléments exportés sont relativement indépendantes des hauteurs d'eau drainée ;
- dans des stations différentes, les déplacements de l'argile semblent atteindre leur valeur maximale sous des climats caractérisés par l'opposition entre une saison sèche prolongée (qui favoriserait la mobilisation de l'argile) et une saison humide suffisamment pluvieuse pour assurer le drainage (nécessaire au transport de l'argile).

C) La troisième observation, enfin, a trait à la nature minéralogique de l'argile entraînée en suspension dans les eaux de drainage à partir du sol DIOR.

Comparée à l'argile extraite du sol, cette argile exportée est caractérisée principalement :

- par sa plus grande richesse en kaolinite altérée et en goëthite (constituants qui sont, tous deux, plus largement représentés dans l'argile très fine extraite du sol que dans l'argile grossière) ;
- par la présence d'une faible quantité de quartz (constituant représenté uniquement dans l'argile grossière).

On retiendra que la sélection des éléments entraînés ne se fait pas seulement en fonction de la dimension des constituants mais aussi en fonction de leur état cristallin qui commande leurs possibilités de liaison.

On retiendra également que la migration du fer dans les sols DIOR étudiés semble s'effectuer principalement, non pas sous forme dissoute ou sous forme ionique mais sous forme de particules microcristallines.

Si le caractère sélectif de l'entraînement observé confirme bien que les cases ont fonctionné de façon satisfaisante, il n'en reste pas moins vrai que les conditions de milieu, dans des sols reconstitués, en volumes restreints, au-dessus d'une couche de graviers de quartz et sous une surface dénudée, cultivée ou laissée en friche, sont bien éloignées des conditions d'évolution normale du sol en place. Les résultats obtenus nous renseignent sur des mécanismes particuliers, ils ne sauraient être généralisés au niveau de la dynamique d'une unité de sol.

Il importe aussi de rappeler que ces résultats ne rendent pas compte de tous les mouvements verticaux d'argile qui interviennent dans le profil. ROOSE (ROOSE E.J., 1970) signale ainsi que l'illuviation d'argile peut s'effectuer dès les horizons superficiels, sur l'ensemble du profil pédologique ; l'eau recueillie à 2 mètres ne contiendrait alors que la partie restante de l'argile déplacée. D'autres auteurs (RUELLAN A., 1970) ont insisté sur le fait que l'entraînement vertical ne nécessitait pas une dispersion totale des éléments qui migrent : une simple mise en suspension pourrait suffire pour entraîner un déplacement à courte distance de certaines particules.

L'importance de l'entraînement d'éléments argileux à partir des cases lysimétriques peut, cependant, être estimé en rapport avec les quantités d'argile contenues dans le sol.

A titre d'indication, les 30 cm superficiels de la case n° 4 (sol DIOR), les plus « appauvris », contiennent un poids d'argile voisin de 50 kg, une perte de 556 grammes, observée pour cette case de 1954 à 1966 correspond donc sensiblement à 1 % de la quantité totale d'argile contenue dans cette couche superficielle, la plus exposée aux phénomènes d'éluviation.

Il apparaît donc que cette perte d'argile très dépendante de l'état de la couverture végétale, et donc de l'action de l'homme, pourrait, dans certains sols, modifier sensiblement le profil textural en l'espace d'une vie humaine.

Bibliographie

- AUBREVILLE A. (1949). — Climat, forêt et désertification de l'Afrique Tropicale. *Société d'Éditions Géographique Maritime et Coloniale*. Paris.
- BONFILS P., CHARREAU C. et MARA (1958-1959). — Etudes lysimétriques au Sénégal. *Annales du Centre de Recherches Agronomiques de Bambey au Sénégal. I.R.A.T., Bulletin Agronomique*, p. 29-62.
- PAQUET H. — Communication verbale.
- ROOSE E.J. — Communication verbale.
- RUELLAN A. (1970). — Contribution à la connaissance des sols et régions méditerranéennes. Les sols à profil calcaire différenciés des plaines de la Basse-Moulouya (Maroc Oriental). *Thèse Faculté des Sciences de Strasbourg*.

SUMMARY

A comparative study on the removal of clay from 3 sandy-clay tropical soils used in lysimeters in Bambey (Sénégal) has given the following informations:

- 1° *On the influence of soil characteristics on the possibilities of clay removal:*
 - *in soils in which the degree of Ca saturation is high (DEK soil) no clay particules are found in suspension in drainage waters;*
 - *when the Ca saturation degree is low, the importance of clay removal seems to depend on the content of very fine and easily dispersable clay (very low in the RED soil, high in DIOR soil).*
- 2° *On the rate of removal within a leaching period:*
 - *at first removal is low, then brutally accelerated as if easily removable clay preexisted in the soil, and finally slowed down more or less depending on the years and on the lysimeters (S curve).*
- 3° *On the mineralogical nature of the drained off elements:*
 - *these are essentially: the poorly cristallized Kaolinite, the microcristalline goethite (in DIOR soil) and quartz.*

ANNEXE 1. — Données analytiques sur les sols des cases lysimétriques de Bambey

SOLS	PROFON- DEUR CM	GRANULOMETRIE %							Fe ₂ O ₃ %	
		M.O.	Argile	Limon	Limon gros- sier	Sables	Sables	CO ₃ Ca	TOTAL	LIBRE
DIOR	0-10	0.5	2.3	1.0	4.0	66.1	24.9	0.0	6.4	4.8
	10-20	0.4	3.0	1.5	4.2	66.8	22.9	0.0	7.7	7.2
	40-50	0.2	4.5	1.8	3.5	64.9	23.3	0.0	8.3	5.6
	100-125	0.7	6.3	2.0	4.0	64.2	22.3	0.0	9.0	-
	175-200	0.1	6.1	0.8	4.5	59.1	29.3	0.0	9.7	-
DEK	0-10	0.7	7.3	2.8	5.4	63.6	19.7	0.0	12.8	7.2
	10-20	0.6	7.8	3.3	5.6	62.4	19.3	0.0	14.1	8.0
	40-50	0.5	8.5	3.5	6.4	61.3	19.5	0.0	12.5	11.3
	100-125	0.2	10.0	3.0	6.0	60.0	20.6	0.2	11.7	-
	175-200	0.1	10.5	2.5	6.9	63.0	16.2	0.8	-	-
ROUGE	0-10	0.8	7.0	2.5	11.4	51.1	26.8	0.0	8.0	6.4
	10-20	0.5	7.5	3.3	9.9	50.4	27.7	0.0	8.6	5.6
	40-50	0.3	11.0	5.3	8.5	45.5	28.6	0.0	9.3	8.0
	100-125	0.3	20.8	2.5	8.9	39.0	28.5	0.0	-	-
	175-200	0.3	20.2	4.7	8.0	44.8	22.0	0.0	-	-
SOLS	PROFON- DEUR CM	CATIONS ECHANGEABLES mé/100 g							pH eau 1/2,5	
		Ca	Mg	Na	K	Somme	T	V %		
DIOR	0-10	1.52	0.04	0.02	0.09	2.27	2.0	-	5.8	
	10-20	0.40	0.40	0.08	0.06	0.94	2.2	42.7	4.6	
	40-50	0.36	0.48	0.10	0.06	1.16	1.6	72.5	4.3	
	100-125	0.30	0.40	0.10	0.04	0.84	2.2	38.2	5.7	
	175-200	0.60	0.20	0.08	0.04	0.92	2.4	38.0	5.4	
DEK	0-10	4.52	1.64	0.09	0.13	6.38	7.4	86.2	6.9	
	10-20	5.24	1.72	0.19	0.06	7.57	7.6	99.6	6.6	
	40-50	6.82	0.96	0.17	0.06	7.51	7.0	107.3	6.7	
	100-125	9.00	1.10	0.29	0.06	10.45	10.5	99.0	8.0	
	175-200	1.63	3.40	0.34	0.07	15.41	11.0	-	8.1	
ROUGE	0-10	1.68	0.60	0.12	0.14	2.74	3.0	91.3	6.4	
	10-20	1.84	0.68	0.03	0.10	2.05	2.6	78.8	5.6	
	40-50	0.88	0.88	0.03	0.04	1.83	2.6	70.4	5.4	
	100-125	0.60	2.00	0.13	0.10	2.83	4.9	58.0	4.7	
	175-200	0.40	1.00	0.14	0.11	1.65	4.3	38.0	4.7	

ANNEXE 2. — Prélèvements effectués dans les eaux de drainage des cases lysimétriques en 1969

TYPE de SOL	VEGETATION	CASE n°	DATE de PRELEVEMENTS	VOLUME PRELEVE LITRES	POIDS DE SEDIMENT mg	CONCENTRATION mg/l
DIOR	JACHERE	1	10.10.69	20	294	14,7
"	Sol nu	4	8.09.69	40	178	4,5
"	" "	4	8.09.69	40	1673	41,8
"	" "	"	9.09.69	18	384	21,3
"	" "	"	10.09.69	23	429	18,7
"	" "	"	14.09.69	40	1124	28,1
"	" "	"	23.09.69	38	675	17,8
"	" "	"	6.10.69	33	284	8,6
"	" "	"	15.10.69	28	92	3,3
"	" "	"	22.10.69	27	216	8,0
"	" "	"	28.10.69	32	321	10,0
"	" "	"	30.10.69	29	657	22,7
"	" "	"	3.11.69	37	542	14,6
"	" "	"	7.11.69	24	318	13,2
"	" "	"	15.11.69	22	219	10,0
ROUGE	Sol nu	10	8.09.69	35	71	2,0
	" "	"	8.09.69	40	964	24,1
	" "	"	10.09.69	30	245	8,2
	" "	"	14.09.69	30	166	5,5
	" "	"	16.09.69	38	326	8,6

ANNEXE 3. — Evolution des concentrations et exportations en éléments fins dans les eaux de drainage des sols « Dior » au cours du temps

ANNEES	PLUVIO-SITE en mm	ROTATION Q						ROTATION T					
		Case 1			Case 2			Case 3			Case 4		
		drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g
1954	697	607.0	96.2	58.4	837.4	16.5	13.8	921.5	52.7	48.6	826.0	34.0	28.1
1955	694	797.7	0.0	0.0	539.2	0.0	0.0	752.4	0.0	0.0	893.1	0.0	0.0
1956	603	567.1	548.8	311.2	541.9	76.1	34.4	51.2	449.2	23.0	246.1	434.8	107.0
1957	645	398.5	107.1	42.7	399.0	0.0	0.0	252.4	2.4	0.6	255.1	0.0	0.0
1958	867	952.6	149.7	142.6	887.1	0.0	0.0	1158.9	0.0	0.0	1175.5	24.3	28.6
1959	466	166.2	21.6	3.6	177.9	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
1960	777	1065.4	221.0	235.5	973.9	0.0	0.0	553.9	0.0	0.0	625.7	0.0	0.0
1961	678	792.0	0.0	0.0	928.0	0.0	0.0	1046.0	0.0	0.0	1135.0	0.0	0.0
1962	662	870.0	193.7	168.5	832.0	0.0	0.0	550.0	6.2	3.4	476.0	650.2	309.5
1963	578	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	288.0	0.0	0.0
1964	590	349.0	0.0	0.0	304.0	0.0	0.0	138.0	0.0	0.0	147.0	0.0	0.0
1965	565	258.0	0.0	0.0	321.0	0.0	0.0	394.5	11.9	4.7	353.0	237.1	83.7
1966	610	464.0	0.0	0.0	483.0	0.0	0.0	593.0	0.0	0.0	616.0	0.0	0.0
TOTAL	8432	7287.5	-	962.5	7134.4	-	48.2	6419.8	-	80.3	6936.5	-	556.9
MOY.	649	560.5	132.0	74.0	548.8	6.8	3.7	493.8	12.5	6.7	533.6	80.3	42.8

ANNEXE 4. — Evolution des concentrations et exportations en éléments fins dans les eaux de drainage dans les sols « rouge » au cours du temps

ANNEES	ROTATION T						ROTATION Q					
	Case 10			Case 11			Case 9			Case 12		
	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g	drai- nage l	concen- tration mg/l	expor- tation g
1954	728.5	8.6	6.8	772.7	114.5	88.5	726.6	-	-	561.3	-	-
1955	541.8	0.0	0.0	443.8	0.0	0.0	471.2	0.0	0.0	256.9	0.0	0.0
1956	98.5	36.5	3.6	220.5	0.0	0.0	288.0	0.0	0.0	263.1	28.1	7.4
1957	313.6	0.0	0.0	200.9	0.0	0.0	371.9	0.0	0.0	260.9	0.0	0.0
1958	1306.0	19.9	26.0	1023.6	13.6	13.9	1350.6	25.1	33.9	959.9	35.6	34.2
1959	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	127.0	0.0	0.0
1960	647.5	0.0	0.0	476.2	0.0	0.0	1128.3	2.9	32.8	645.1	14.1	9.1
1961	842.0	0.0	0.0	903.0	0.0	0.0	495.0	0.0	0.0	547.5	0.0	0.0
1962	599.0	0.0	0.0	611.0	0.0	0.0	919.0	0.0	0.0	730.0	17.5	12.8
1963	106.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964	276.0	0.0	0.0	192.0	0.0	0.0	456.0	0.0	0.0	163.0	0.0	0.0
1965	394.5	146.3	57.7	463.0	67.4	31.2	365.0	40.3	14.7	146.0	0.0	0.0
1966	465.0	0.0	0.0	569.0	0.0	0.0	593.0	0.0	0.0	426.0	0.0	0.0
TOTAL	6318.4	-	93.6	5875.7	-	133.6	7164.6	-	81.4	5066.7	-	63.5
MOY.	486.0	14.8	7.2	452.0	22.7	10.3	551.1	11.4	6.3	389.7	12.5	4.9

**Observations sur l'exportation de l'argile
par les eaux de drainage, effectuées
sur trois sols tropicaux sablo-argileux
reconstitués en cases lysimétriques**

par **A. CHAUVEL**
Pédologue O.R.S.T.O.M.
et **C. CHARREAU**
Pédologue O.R.S.T.O.M.
Détaché à l'I.R.A.T.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29 252 ex 1

Cote : B