

UN DISPOSITIF DE MESURE DU LESSIVAGE OBLIQUE DANS LES SOLS EN PLACE

par E.J. ROOSE*

PLAN

1. INTRODUCTION.

- 1.1. L'appauvrissement en argile de la partie supérieure de certains profils pédologiques.
- 1.2. Les hypothèses de travail.
- 1.3. Le but du dispositif.

2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

- 2.1. Choix du site et construction d'une « case de lessivage oblique ».
- 2.2. Schéma des mouvements de l'eau de gravité dans le sol.

3. DISCUSSION SUR LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

- 3.1. L'origine et la nature des échantillons.
- 3.2. Le choix des matériaux.

4. LES PREMIERS RÉSULTATS.

- 4.1. Les volumes d'eau circulant obliquement.
- 4.2. Variation des caractères physiques et chimiques des eaux.
- 4.3. La température et le pH.
- 4.4. Les domaines de variation des résultats analytiques.
- 4.5. Les teneurs en éléments trace.
- 4.6. Transport des colloïdes par les eaux de drainage oblique.

5. CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE — Détails de la construction d'une case de lessivage oblique

* Chargé de Recherches. Centre ORSTOM Adiopodoumé.

RÉSUMÉ

Partant du fait que beaucoup de sols tropicaux présentent des horizons superficiels appauvris en argile, l'auteur pose le problème du déplacement des éléments minéraux dû aux mouvements obliques de l'eau à la surface et dans les différents horizons du sol.

Une méthode est décrite en détail, qui permet de capter, de mesurer et d'étudier qualitativement, et dans certains cas quantitativement, les eaux de drainage oblique et de ruissellement.

Les premiers résultats donnent un aperçu général sur la variation du pH et la résistivité ainsi que sur les teneurs en colloïdes, en matière organique, en dix éléments majeurs et quinze oligo-éléments.

Il en ressort que ces teneurs sont influencées principalement par la saison (teneur faible dès le milieu de la saison des pluies), puis par le débit et par la profondeur des écoulements d'eau.

1 - INTRODUCTION

Le terme de lessivage a été utilisé par de nombreux auteurs pour définir les processus d'entraînement et d'accumulation de différents matériaux solubles ou pseudosolubles (1) dans les sols. Au sens large, le lessivage implique l'existence d'horizons appauvris et d'horizons enrichis. Les éléments qui migrent à travers le profil sont très divers et il est apparu nécessaire de préciser la nature des éléments transportés et leur destination.

A la suite de la note récente d'AUBERT et SEGALIN (1966) il convient de réserver le terme de « lessivage » à l'entraînement du fer et de l'argile d'un horizon appauvri vers un horizon enrichi. On parlera « d'appauvrissement » pour désigner le départ seul des colloïdes et on utilisera le mot « lixiviation » pour désigner la dissolution et l'élimination hors du profil des bases et d'une partie de la silice (AUBERT G. et SEGALIN P., 1966).

1.1 - L'APPAUVRISSMENT EN ARGILE DE LA PARTIE SUPÉRIEURE DE CERTAINS PROFILS PÉDOLOGIQUES

Le problème qui est étudié ici concerne un grand nombre de sols tropicaux sous climat humide qui présentent en surface un net appauvrissement en colloïdes minéraux et particulièrement en argile. Ils se distinguent des sols lessivés classiques sous climat tempéré par le faible développement ou l'absence totale du « ventre » que présente la courbe de répartition de l'argile en profondeur. Dès lors, il s'avère difficile de connaître les causes des variations de texture dans un sol comprenant des minéraux en voie

(1) Il n'est pas exclu que des particules du sol circulent dans le profil à l'état de suspension. On retrouve des matières organiques, des limons et parfois même des grains de quartz dans les fentes de retrait et les trous laissés par les rats ou les racines pourries. Dès lors, on peut imaginer des particules fines en suspension qui circulent dans les macropores du sol.

d'altération et dans certains cas (ex. les sables tertiaires de Côte d'Ivoire) de distinguer l'horizon (B) d'accumulation du matériau originel (fig. 1).



FIG. 1. — Courbes de répartition de l'argile en fonction de la profondeur.

1. Sol lessivé classique : " ventre " ou " bec " marqué.
2. Sol " appauvri " en région équatoriale humide: " bec " peu marqué sur la courbe granulométrique.

1.2 - LES HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer cet appauvrissement en argile dans les horizons superficiels.

1. Dans les profils sur matériaux très poreux, les eaux pénètrent profondément dans la zone d'altération et déposent des *accumulations diffuses* et progressives de colloïdes en profondeur.

2. *L'érosion en nappe* arrache sélectivement les particules fines à la surface du sol. Cet appauvrissement très superficiel est transmis en profondeur par des *facteurs d'homogénéisation* du sol (microfaune, arbres déracinés, etc...) dont la densité diminue à mesure qu'on pénètre dans le profil (1).

3. La perméabilité de chaque horizon est souvent supérieure à celle de l'horizon sous-jacent ; une pente légère suffit alors pour imprimer un mouvement oblique aux eaux de drainage qui engorgent momentanément la partie inférieure des horizons. Ce *lessivage oblique* appauvrit les profils des sols en haut des versants en faveur des sols situés en contrebas dans la toposéquence (AUBERT G. ; DUCHAUFOUR P., 1965).

Ces mouvements obliques des eaux de drainage ont souvent été observés dans le cas particulier où un horizon pratiquement imperméable se trouve sous une faible couche de sol très perméable (par exemple, dalle granitique sous une arène d'altération) mais il n'y a pas de raison pour que les mêmes phénomènes ne se produisent plus si les différences de perméabilité d'un horizon au suivant sont moins tranchées.

Dans certains cas, l'entraînement paraît se faire directement jusqu'au réseau hydrographique (« ruissellement hypodermique » des hydrologues) car il ne laisse pas de trace nette d'accumulation dans les sols des zones basses. Ailleurs, l'horizon imperméable se trouve à plusieurs mètres de profondeur dans le sol, et les eaux de drainage oblique forment une nappe suspendue momentanée qui tarit en quelques heures sans laisser d'autres traces qu'une hydromorphie temporaire.

(1) d'HOORE J. ; Communication personnelle, janvier 1966.

Dans d'autres cas, le drainage vertical est si abondant pendant une période de l'année que la nappe remonte jusque dans les horizons supérieurs des sols en pente (à Azaguié sur pente de 14 %, la nappe reste à 30 cm de la surface du sol pendant 15 jours). La vitesse du drainage oblique est telle dans ces horizons poreux qu'ils sont réellement lessivés pendant ce court laps de temps.

Les hydrogrammes ne permettant pas de distinguer ces différents cas sur les bassins versants, les hydrologues donnent le nom de « interflow » à toutes les eaux qui ne proviennent ni du ruissellement superficiel ni de l'écoulement normal de la nappe (1).

1.3 - LE BUT DU DISPOSITIF

Le but de cette note est de décrire une technique permettant de recueillir des échantillons de l'eau de gravité qui percole obliquement dans les différents horizons du sol, en vue de mesurer qualitativement et parfois quantitativement les produits transportés par le lessivage oblique.

Outre les résultats intéressant la pédogenèse de différents types de sol, cette technique peut donner des indications précieuses sur la composition de la solution du sol dans chaque horizon, et sur la vitesse de lixiviation au cours de l'année des diverses formes d'engrais dans le cadre de cultures irriguées ou non.

La méthode a d'abord été expérimentée sur les sols sablo-argileux de basse Côte d'Ivoire (Adiopodoumé et Anguédédou ; pluviosité annuelle de 2,1 m) puis sur des sols ferrallitiques comportant un horizon graveleux (Azaguié, pluviosité annuelle de 1,8 m et irrigations) ou gravillonnaire (Divo, pluviosité annuelle de 1,7 m ; Bouaké, pluviosité annuelle de 1,2 m et Korhogo, pluviosité annuelle de 1,4 m) (2).

2 - DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

2.1 - CHOIX DU SITE ET CONSTRUCTION D'UNE « CASE DE LESSIVAGE OBLIQUE »

Trois conditions sont nécessaires pour permettre un mouvement oblique des eaux de gravité dans le sol :

- des pluies importantes et intenses
- un sol perméable en surface et comportant un horizon moins perméable en profondeur
- une surface en pente.

On choisira une pente régulière et uniforme dont la surface est couverte de façon homogène par la végétation mais pas trop tourmentée par de grosses racines traçantes ni par l'activité intempestive de

(1) RODIER J. ; Communication personnelle, janvier 1967.

(2) Moyennes arrêtées en 1966 et communiquées par l'ASECNA.

la faune (rats, lapins, etc...). Il est commode de travailler sur des pentes fortes dont les sols présentent un horizon imperméable pas trop profond.

Une fosse est creusée au tiers inférieur de la pente et protégée par un toit. Les échantillons de l'eau qui circule obliquement sont recueillis dans des gouttières disposées dans des fentes creusées sous les limites inférieures des horizons pédologiques, et stockés dans des jerricans en plastique. Un canal dirige les eaux de ruissellement superficiel vers une cuve de stockage. Nous avons décrit en annexe les matériaux utilisés et les détails de la construction d'une « case de lessivage oblique ».

2.2 - SCHÉMA DES MOUVEMENTS DE L'EAU DE GRAVITÉ DANS LE SOL (fig. 2)

Si « P » est la pluie qui tombe verticalement sur le sol, une part « R » va ruisseler en surface tandis que l'autre va s'infiltrer : c'est le drainage « DV ».

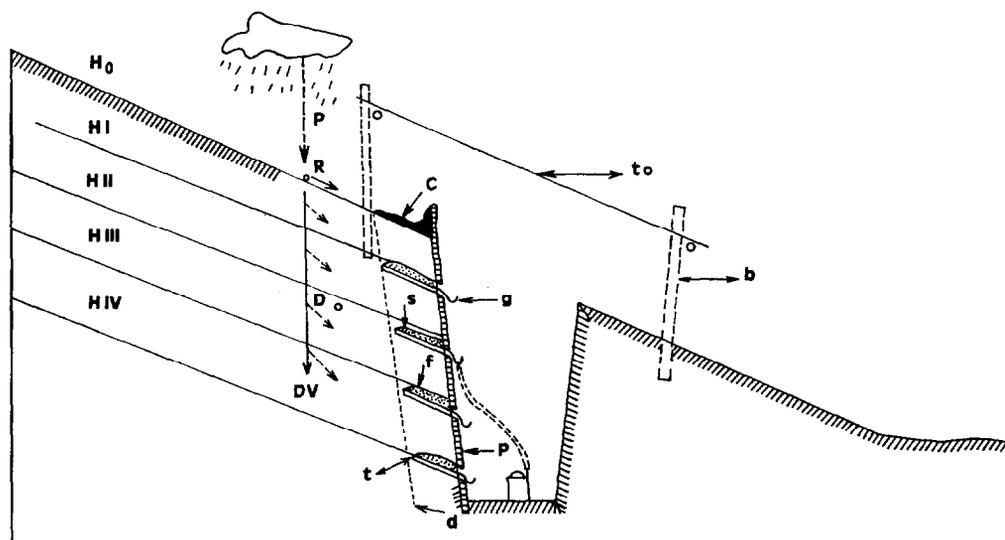


FIG. 2. — Schéma des mouvements de l'eau de gravité et d'une case de lessivage oblique.

P : pluie ; R : ruissellement ; DV : drainage vertical ; DO : drainage oblique ; H I, II, III, IV : horizons pédologiques ; C : canal de ruissellement ; g : gouttière ; t : tôle ; f : fente ; s : sable lavé ; d : tranche de sol protégée par le canal C et la tôle to ; b : bâti qui soutient le toit to ; p : planches de soutènement.

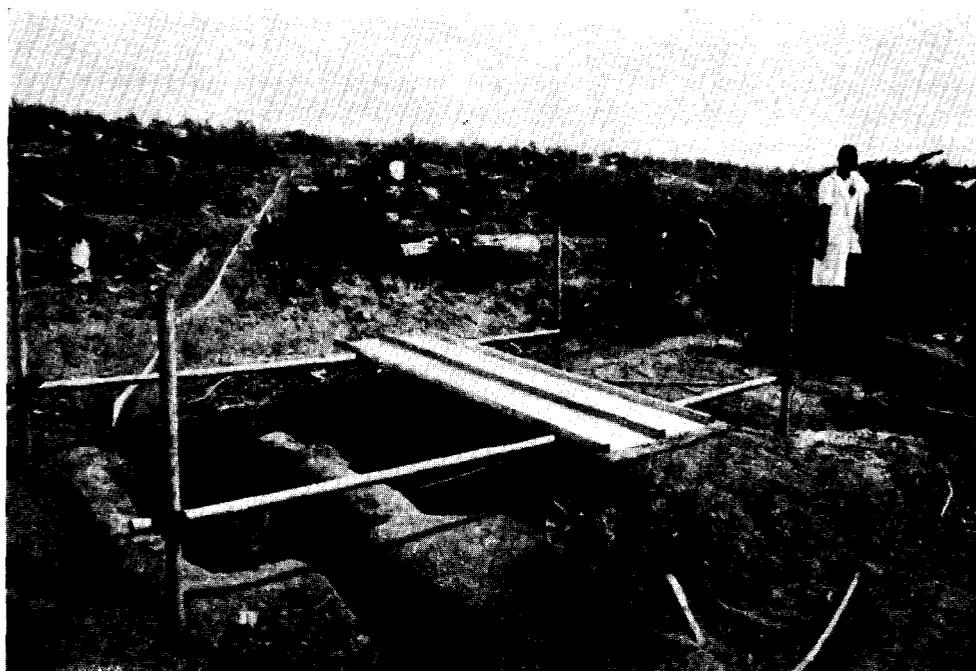
Si un horizon du sol présente une perméabilité triple de celle de l'horizon sous-jacent, une fois satisfaite la capacité au champ, les deux tiers de l'eau s'infiltrant verticalement dans cet horizon sont libres d'entamer un mouvement oblique (DO) suivant la pente. Comme souvent la perméabilité oblique n'est pas supérieure à la perméabilité verticale, l'horizon s'engorge et il se forme une nappe suspendue temporaire.

Cette dernière met quelques heures à tarir après la fin de la pluie.

Sur la tranche (1) de sol « d » située sous le canal de ruissellement et en amont du profil, l'eau de pluie est interceptée par le toit « to » tandis que le ruissellement est capté par le canal « C ».

Il ne peut donc y avoir de drainage vertical dans cette tranche de terre et l'eau qu'on y récolte vient sûrement d'un mouvement oblique de l'eau de gravité circulant en amont.

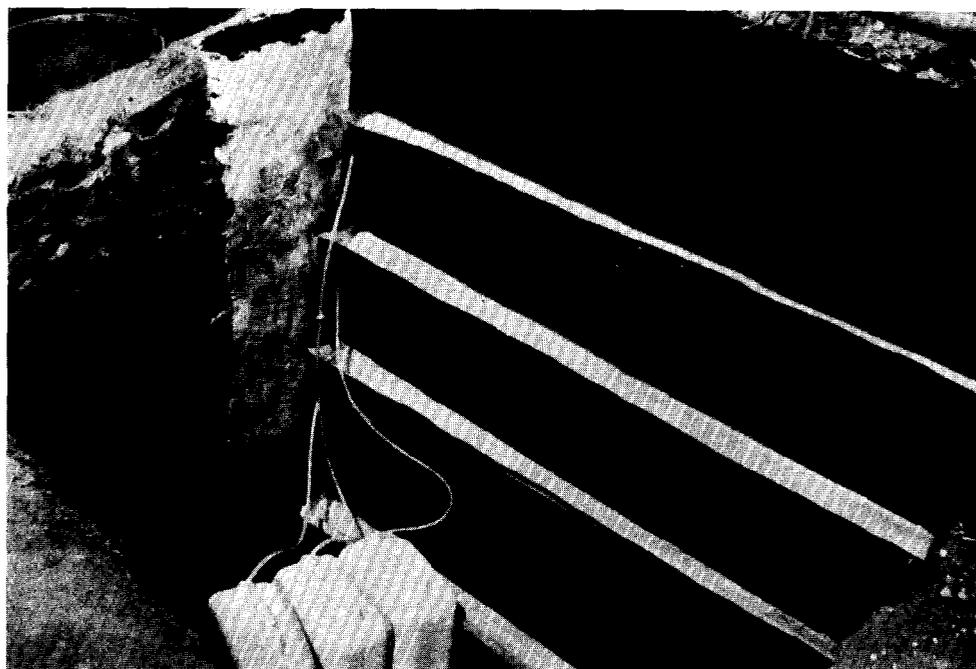
(1) Sa largeur est celle du canal de ruissellement, soit un peu plus de 20 cm.



(photo DUVAL)

Vue générale d'une case d'érosion et de lessivage oblique

ANGUÉDÉDOU — Sables tertiaires — plantation d'hévéas en courbe de niveau après abattage de la forêt.



(photo DUVAL)

Détail d'une case d'érosion et de lessivage oblique : les gouttières « g » reliées aux jerricans par des tuyaux en plastique ; le canal « c » du ruissellement débouche directement dans un fût de 200 litres ; le toit a été enlevé pour la photo.

3 - DISCUSSION SUR LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

3.1 - L'ORIGINE ET LA NATURE DES ÉCHANTILLONS D'EAU

Il a déjà été signalé (cf. 2.2.) que les échantillons d'eau recueillis à la base des différents horizons ne peuvent se composer que des eaux de drainage oblique à l'exclusion de toutes autres provenances.

Cependant, on ne peut recueillir *la totalité du drainage oblique*, car la tranche « d » de sol doit d'abord être humectée avant de laisser l'eau s'écouler à travers ses pores.

Certains pensent que l'on ne recueille, par cette méthode, que les eaux circulant au sommet de la nappe phréatique ou encore craignent que la tranche de sol ne crée une succion latérale artificielle.

Cela est en contradiction avec les faits.

En effet, la succion latérale ne peut entraîner qu'un suintement très limité (1) alors qu'il a été possible de recueillir plusieurs litres et même plusieurs dizaines de litres à certaines époques. Par ailleurs, les échantillons recueillis au début de la saison des pluies proviennent exclusivement des horizons superficiels : ils sont donc sans rapport avec la nappe phréatique qui, à Adiopodoumé, est à cette époque à plus de 10 mètres de profondeur.

De plus, un horizon est plus perméable quand il est humide que lorsqu'il est sec, car des bulles d'air gênent alors la circulation dans les macropores (2). C'est ainsi qu'au début des pluies, le drainage oblique est localisé exclusivement dans les horizons superficiels du sol, tandis qu'il est bien plus abondant en profondeur vers la fin de cette saison.

S'il est possible de délimiter une parcelle en vue de réaliser une mesure quantitative du ruissellement superficiel, par contre, on est obligatoirement amené à troubler gravement les conditions naturelles d'écoulement du drainage oblique dans le sol si on cherche à circonscrire une parcelle. Dans un cas particulier pourtant, il est possible d'obtenir une mesure non seulement qualitative, mais quantitative : lorsque la parcelle est délimitée en amont par le sommet d'une colline. Encore faudrait-il vérifier par un certain nombre de répétitions que la répartition de l'eau dans le sol se fasse équitablement tout au long de la colline.

Le sol est un matériau très hétérogène. Il est souhaitable de toujours veiller à écarter les voies « extraordinaires » de circulation des eaux telles que les trous de rats et les racines pourries pour ne recueillir que l'eau de gravité qui influence la pédogenèse de la masse du sol (3).

Il est préférable de récolter la somme des eaux de drainage oblique s'écoulant sur un front de deux mètres de large, plutôt que sur un grand nombre de petites sections, afin de ne pas multiplier les fractions recueillies qu'il serait très difficile d'analyser ensuite. D'autre part, il est difficile d'élargir encore la section sans risquer des éboulements dans le profil étançonné.

(1) RODIER J. ; Communication personnelle, janvier 1967.

(2) CHAHAL R.S., 1964 et 1965 ; PECK A.J., mai et juillet 1965 ; POWERS W.L., 1934 ; SEGNER I. et LEVINE G., 1964.

(3) Au cas où l'activité de la macrofaune est un facteur essentiel à la pédogenèse, il faut au contraire en tenir compte.

3.2 - LE CHOIX DES MATÉRIAUX

L'idéal serait de n'utiliser que du matériel chimiquement inerte. Pour des raisons pratiques, il faut parfois choisir d'autres matériaux, qui seront alors protégés contre la corrosion (flintkote) ou la putréfaction (carbonil).

Le canal de ruissellement, protégé des eaux acides par une double couche de goudron est en ciment. Ce dernier présente l'avantage de se mouler parfaitement sur la surface irrégulière du sol, alors que l'érosion creuse généralement une rigole artificielle en amont d'une plaque de plastique même biseautée et posée avec le plus grand soin. Enfin, l'eau ruisselle très rapidement sur ce canal, et on a pu observer aux cases d'érosion d'Adiopodoumé la bonne tenue des canaux en béton exposés depuis dix ans aux intempéries.

Il faut par contre veiller à ce que le toit en tôle recouvre entièrement le canal, surtout sous forêt, où les gouttelettes s'agglomèrent sur les feuilles et tombent de la couronne des arbres avec une énergie cinétique importante.

On a choisi des tôles en zinc : celui-ci résiste suffisamment aux conditions d'humidité imposées, et sa présence éventuelle dans l'eau ne gêne pas trop le dosage des éléments chimiques recherchés. Ces tôles sont rigides et facilement travaillées.

L'étaçonnage en bois protégé contre les pourritures a bien tenu jusqu'ici. On peut espérer qu'il remplira sa fonction durant 5 à 7 ans (laps de temps nécessaire à une étude approfondie du lessivage oblique) surtout grâce à une plastification à la résine.

Il est absolument nécessaire d'écarter tous matériaux ferreux si on veut suivre le lessivage du fer dans le sol.

Tous ces matériaux ont été expérimentés durant deux ans à Adiopodoumé, où ils ont donné satisfaction. Leur longévité pourra être améliorée en les enrobant de résine, ce qui augmente leur rigidité, isole les matériaux du contact avec l'humidité et empêche toute corrosion. Moyennant certaines précautions (tissus de laine de verre), il est possible d'écarter toute contamination de calcium par le canal de ruissellement en plastifiant la terre en place.

4 - LES PREMIERS RÉSULTATS

Ils ont été obtenus sur des sols ferrallitiques très désaturés sur matériaux sablo-argileux de basse Côte d'Ivoire en 1965 et 1966. Il y tombe en moyenne 2 100 mm de pluie par an, répartis en deux saisons humides centrées sur juin (la plus importante) et novembre. A Adiopodoumé, la parcelle R₂ (31 × 2 m) est très pentue (45 %) et sous forêt dense, tandis que, à Anguédédou, la pente est de 29 % et couverte d'une jeune plantation d'hévéas. On tiendra compte aussi dans le tableau II des résultats obtenus à Azaguié (sol ferrallitique très désaturé et remanié sur schiste) sous culture bananière irriguée (1).

(1) Des résultats plus détaillés font l'objet d'une communication au « Colloque sur la fertilité des sols tropicaux »

4.1 - LES VOLUMES D'EAU CIRCULANT OBLIQUEMENT

Au début de la saison des pluies, les écoulements obliques sont peu abondants et s'effectuent sur la surface du sol et dans les horizons humifères superficiels. Il a plu, par exemple, 24 mm le 12 mai 1966 et on a recueilli sur une parcelle de 62 m², 120 litres d'eau de ruissellement et 3 litres d'eau de drainage oblique dans les horizons humifères. Advient ensuite une courte période où le sol absorbe très activement les eaux de pluie et pendant laquelle on n'enregistre que très peu d'écoulements obliques tant en surface qu'en profondeur.

Par contre, lorsque tout le profil a été humecté, ce sont les horizons profonds, proches du niveau imperméable qui débitent le plus. Lors de la pluie de 200 mm tombée le 19 juillet 1966, on a recueilli un ruissellement de plus de 200 litres et un drainage oblique de 60 litres dans les horizons humifères (0 à 0,5 m) et de 160 litres dans les horizons de profondeur (1 à 1,5 m).

Tout se passe comme si, en saison sèche, il y avait rupture des films d'eau sur les parois des pores de grande taille et opposition à l'écoulement des eaux en profondeur par les bulles de gaz qui les remplissent (1). Une fois vaincue cette opposition à l'humectation, les micropores du sol absorbent les eaux de pluie jusqu'à engorgement d'un horizon avant de leur permettre de s'écouler obliquement.

Parallèlement au coefficient de ruissellement « superficiel », on peut définir un « coefficient de ruissellement hypodermique » comme étant le pourcentage des eaux de pluie qui effectuent un mouvement oblique à l'intérieur d'une tranche d'un sol en pente. Ce coefficient peut s'appliquer à chaque horizon pédologique où l'on a recueilli des eaux de drainage oblique, ou encore à l'ensemble des horizons situés au-dessus du niveau imperméable.

A Adiopodoumé, le coefficient de ruissellement superficiel par pluie individuelle varie généralement entre 0,1 et 8 %, et semble le plus fort lors des premières tornades d'avril et mai, ce qui peut s'expliquer par la faible mouillabilité du sol desséché, et aussi par un couvert végétal forestier moins dense qu'en pleine saison des pluies.

Le coefficient de ruissellement hypodermique global (c.-à-d. pour l'ensemble des horizons concernés) est de l'ordre du dixième de ces valeurs. Cependant, il augmente à mesure que la saison des pluies s'avance et a atteint 1,7 % lors de la pluie exceptionnelle du 19 juillet 1966.

4.2 - VARIATION DES CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX

Coloration, charge en colloïdes, charge minérale en solution (azote, matière organique, bases et sesquioxydes) et résistivité sont essentiellement fonction de l'avancement dans la saison des pluies, puis des quantités écoulées et de la profondeur du niveau d'écoulement de l'eau dans le sol.

Durant la période des tornades et le début de la saison des pluies :

- les eaux sont fortement colorées en brun-jaune (couleur du thé ou de l'aliou humo-ferrugineux).

(1) Peut-être faut-il aussi faire intervenir la faible mouillabilité de certaines matières organiques lorsqu'elles sont desséchées puisqu'on peut encore en trouver 1 % vers 1 m de profondeur.

TABLEAU I

Quelques exemples de coefficients de ruissellement superficiel et hypodermique au cours de l'année 1966 à Adiopodoumé sur la parcelle R₂.

Date hauteur de pluie mm		Ruissellement superficiel	Ruissellement hypodermique				Total
			0 à 25 cm	25 à 50 cm	50 à 100 cm	100 à 150 cm	
7-3-66 18 mm	Volume l. Coeff. %	11,7 1,049	0,7 0,062	0,4 0,035	0 —	0 —	1,1 0,098
25-4-66 16 mm	Volume l. Coeff. %	85,2 8,597	1,0 0,100	0,4 0,040	0 —	0 —	1,4 1,141
14-6-66 88 mm	Volume l. Coeff. %	8,2 0,150	2,0 0,036	2,7 0,049	0,8 0,014	2,0 0,036	7,5 0,137
4-7-66 57 mm	Volume l. Coeff. %	4,5 0,127	4,7 0,132	3,7 0,104	1,8 0,050	8,5 0,240	18,7 0,529
19-7-66 200 mm	Volume l. Coeff. %	> 200 > 1,613	> 32 > 0,258	> 28 > 0,225	> 74 > 0,597	> 84 > 0,677	> 218 > 1,758
29-10-66 37 mm	Volume l. Coeff. %	7,8 0,340	1,25 0,054	0 —	0 —	0 —	1,25 0,054

— des dépôts importants de colloïdes (fer, argile, humus) flocculent au fond des bouteilles de polyéthylène où sont stockés les échantillons (de l'ordre de 0,1 g/litre).

— les solutions sont riches en bases, en azote et spécialement en azote ammoniacal, en matières organiques et en sesquioxides.

— la résistivité est faible.

Vers la fin de la saison des pluies :

— les eaux sont à peine opalescentes et pratiquement incolores.

— les échantillons laissent rarement des dépôts de flocculat dans les récipients sauf si on le provoque artificiellement.

— les solutions voient leur richesse chimique baisser notablement (dans certains cas au 1/3 de leur concentration du début de la saison).

— la résistivité tend à se rapprocher de celle de l'eau distillée.

4.3 - LA TEMPÉRATURE ET LE pH

La température et le pH sont des données importantes concernant les vitesses et les domaines de solubilité des corps, en particulier du fer, de l'alumine, de la silice et du phosphore.

Les rares mesures de la température des eaux à leur sortie de terre montrent qu'elle varie peu (entre 22 et 25 °C). Les températures sont d'autant plus élevées que les eaux de pluie ont eu le temps de se réchauffer au contact de l'air et de la terre.

D'autre part, il est extrêmement difficile de faire la mesure du pH réel de l'eau percolant à travers le profil. Les échanges de gaz carbonique avec l'atmosphère dès leur sortie de terre entraînent des variations qui peuvent atteindre deux unités en 24 heures à 25 °C.

Cela peut s'expliquer par la faible charge de la plupart des eaux récoltées qui présentent ainsi un pouvoir tampon très réduit. On peut dire cependant que le pH est plus élevé au début des pluies (il oscille entre 6 et 8 unités, rarement plus de 8) qu'à la fin où il tend vers des valeurs de l'ordre de 6 unités (6,8 à 6).

4.4 - LES DOMAINES DE VARIATION DES RÉSULTATS ANALYTIQUES

Avec toutes les réserves nécessaires lorsqu'on s'appuie sur les résultats des deux premières années d'expérimentation, on peut, en première approximation, et dans les cas de sols ferrallitiques très désaturés sur sable tertiaire, sous forêt défrichée ou non, sur schiste et sous culture bananière, limiter les domaines de variation des mesures dans les eaux de ruissellement et de drainage oblique aux valeurs consignées au tableau II (1).

Remarquons d'abord les pertes importantes en matières organiques et en azote total (d'origine organique principalement). Ces matières organiques circulent encore abondamment à des profondeurs de l'ordre de 1,50 m et se retrouvent aussi dans les marigots et la lagune.

TABLEAU II

Domaines de variation des mesures effectuées sur les eaux de ruissellement et de lessivage oblique

	Valeurs fréquentes			Valeurs extrêmes	
	minima	les plus fréquentes	maxima	min. min.	max. max.
Résistivité ohms cm/cm ²	2·10 ⁴	6 et 11·10 ⁴	3·10 ⁵	500	10 ⁶
pH	6,5	6,9	7,4	2,9	9,5
CaO	4	10	25	1	130
MgO	2	9	25	1	45
K ₂ O	2	12	25	0,1	170
Na ₂ O	1	4	6	0,1	56
N total	5	10	30	1	100
N-NH ₄	0,05	0,2	1	traces	8
N-NO ₃	0,3	1	10	traces	50
Mat. organiques .. mg/l de O ₂	10	25	40	3	160
P ₂ O ₅	0,1	0,3	1,4	traces	4
Fe ₂ O ₃	0,4	1	2	0,1	13
Al ₂ O ₃	0,3	0,9	2	0,01	7,5
SiO ₂	3	5	12	0,5	20

(1) Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire de l'ORSTOM à Adiopodoumé. Nous tenons à exprimer ici tous nos remerciements à M. NALOVIC, Chef de laboratoire, à ses collaborateurs Mmes PERRAUD et GAVINELLI, M. PETARD et aux techniciens africains.

Les eaux sont riches en calcium, magnésium et potassium, surtout au début de la saison des pluies, mais ce dernier est rapidement lixivié et ses teneurs tombent à des valeurs proches de celles du sodium dès la fin du mois de juin.

La pauvreté en sodium des eaux de drainage oblique s'explique par celle du sol lui-même. La soude serait lixiviée presque entièrement au niveau de la roche altérée dans la zone tropicale humide.

Les teneurs en phosphore sont constantes au cours de l'année, mais faibles en regard de la richesse du sol en phosphore total. Cet élément est sans doute étroitement lié au fer.

Les teneurs en silice sont cinq à dix fois supérieures à celles du phosphore, du fer et de l'alumine, ce qui cadre bien avec le type ferrallitique de pédogenèse auquel sont soumis les sols étudiés. Ces résultats concordent également avec ceux que l'on a trouvés dans les eaux du fleuve Bandama (MANGIN et coll. 1966).

Il a été remarqué par ailleurs que les teneurs en silice des eaux étaient en relation avec la richesse en bases du sol. Ainsi les teneurs relevées à Azaguié sous bananeraie irriguée et fumée sont bien supérieures à celles de l'Anguédédou et surtout d'Adiopodoumé. A l'Anguédédou, suite aux défrichements et brûlis, les teneurs en silice sont élevées au début de la saison des pluies, mais tendent rapidement vers les valeurs observées à Adiopodoumé sous forêt.

C'est sous forêt que l'on suit le mieux l'influence des saisons sur les caractéristiques chimiques et physiques de l'eau du sol. Une fois la forêt abattue et partiellement brûlée, la minéralisation accélérée à la surface du sol masque certains aspects des qualités physiques et chimiques des eaux et l'influence de leur pénétration en profondeur. Mais la culture irriguée et fumée (dolomie, phosphate, urée, chlorure de potasse) de la banane entraîne des modifications bien plus profondes : inversion dans la distribution des teneurs en fonction de la profondeur d'écoulement et extension des domaines de variation. La plupart des valeurs extrêmes maximales mais aussi minimales, proviennent de la bananeraie d'Azaguié et, en particulier, celles du pH, des bases, de la silice et de l'azote nitrique et ammoniacal.

4.5 - LES TENEURS EN ÉLÉMENTS TRACE

Une vingtaine d'échantillons d'eau de drainage provenant de Azaguié et Adiopodoumé ont été soumis à des analyses plus fines aux laboratoires centraux de l'ORSTOM à Bondy (1).

Les teneurs en gallium, étain, cobalt et lithium sont extrêmement faibles, et toujours inférieures à 0,010 mg/litre. Le plomb, le vanadium, le nickel, le chrome et le rubidium ne dépassent guère des teneurs de 0,035 mg/litre. Le manganèse peut atteindre 0,060 mg/litre tandis que l'argent et le titane dépassent 0,100 mg/litre.

Les teneurs en cuivre, strontium et baryum sont très variables et tendent à des valeurs semblables à celles du phosphore (0,3 à 0,4 mg/litre).

Le baryum et le strontium sont plus abondants à Azaguié tandis que les teneurs en chrome et en cuivre sont plus fortes à Adiopodoumé.

(1) Nous remercions vivement M. PINTA et ses collaborateurs pour leur précieuse collaboration.

4.6 - TRANSPORT DES COLLOIDES PAR LES EAUX DE DRAINAGE OBLIQUE

Le problème qui nous a amené à mettre au point le dispositif expérimental décrit plus haut est celui de savoir si les transports de colloïdes par l'eau qui circule obliquement dans certains sols suffisent à expliquer les appauvrissements en argile constatés dans les horizons superficiels de ces sols.

Nous avons laissé reposer durant quatre mois 35 échantillons de 1 à 20 litres d'eau filtrée (au filtre rapide) en provenance des cases de lessivage oblique et avons constaté des dépôts sur les parois des récipients en polyéthylène qui les contenaient. Après leur transfert dans des dames-jeannes en verre, nous avons hâté leur floculation (1).

Les floculats présentent une couleur brun-jaune d'autant plus sombre qu'ils proviennent d'horizons humifères.

Sauf à Azaguié où l'horizon graveleux permet des transports importants, il semble que les teneurs en colloïde des eaux de drainage oblique diminuent depuis la surface jusqu'en profondeur.

Les échantillons provenant des plantations de l'Anguédedou ont une faible turbidité (8 à 53 mg de floculat par litre) ; ceux d'Azaguié ont une turbidité presque nulle (1 à 13 mg/litre) dans les horizons profonds d'argile tachetée, mais très forte dans les horizons superficiels (122 mg/litre dans l'horizon graveleux, et 28 à 72 mg/litre au-dessus). A Adiopodoumé, les valeurs s'étalent de 13 à 120 mg de floculat par litre d'échantillon d'eau de drainage des sols.

Nous nous garderons de tirer des conclusions hâtives de ces premiers résultats qui devront être confirmés au cours des cinq années qui viennent. Cependant, il semble difficile d'expliquer l'appauvrissement en éléments fins dans les horizons superficiels des types de sol étudiés par le seul lessivage oblique. Celui-ci interviendrait à côté de l'érosion en nappe pour une part plus ou moins importante suivant les sols (2).

5 - CONCLUSIONS

La méthode décrite dans cette note permet de réaliser une approche qualitative, et dans certains cas quantitative, des phénomènes consécutifs aux mouvements obliques des eaux de gravité à la surface et dans les différents horizons du sol.

Cette technique peut ouvrir des perspectives intéressantes sur la pédogenèse de certains types de sol, et sur le lessivage et l'entraînement par l'eau des éléments minéraux sous forme soluble ou pseudo-soluble.

De plus, les eaux recueillies sous les différents horizons du sol reflètent plus ou moins fidèlement l'état des solutions du sol à ces niveaux. Il est donc possible d'en tirer des renseignements précieux sur la migration des différentes formes d'engrais sous l'effet des eaux d'irrigation et de drainage. En s'appuyant sur un bilan hydrique, on pourra également tenter un bilan chimique dans des conditions pédologiques moins artificielles qu'en case lysimétrique.

(1) Floculation soit au sulfate d'alumine : 1 cm³/l d'une solution à 5% ; soit à l'acide chlorhydrique fumant : 1 cm³/l.

Cette dernière méthode a toujours donné des quantités moins importantes de floculat que la première, probablement à cause de la solubilisation de certains corps par l'acide chlorhydrique.

(2) Voir notre communication à la 6^e Conférence Biennale de la WASA/ASOA, Abidjan, 8-13 avril 1968. « Erosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire ».

ANNEXE

DÉTAILS DE LA CONSTRUCTION D'UNE CASE DE LESSIVAGE OBLIQUE

Etant donné l'importance des détails de la construction en vue de récolter effectivement les échantillons d'eau désirés, il peut être utile de décrire les opérations et le matériel utilisé jusqu'ici pour la construction des cases de mesure du lessivage oblique.

Au tiers inférieur de la pente, on creuse une fosse (1) dont les bords sont verticaux et bien tranchés. La profondeur doit dépasser de 50 cm celle de l'horizon imperméable ou des horizons dont on désire mesurer le lessivage oblique.

Après avoir délimité, décrit les horizons pédologiques et récolté les échantillons nécessaires, on étançonne soigneusement tout le profil à l'aide de planches (2) qui s'appuient sur deux chevrons (3) encastés dans les bords de la fosse (voir schéma). Les bois sont choisis parmi les plus résistants (châtaignier, iroko, makoré, etc...) et protégés de la pourriture par un recouvrement de carbonil ou, mieux encore, plastifiés à la résine.

On a pris soin de laisser un interstice de 3 cm entre les planches délimitant les horizons pédologiques.

Au moyen d'un outil tranchant (long couteau, machette) et en dérangeant le moins possible la structure, on découpe une tranche « f » de sol (4) dont la pente épouse celle du terrain (5). On y introduit une tôle « t » en zinc (6) plastifiée à la résine que l'on force à pénétrer au-delà du fond de la fente et dont le rebord extérieur est soudé à une gouttière ordinaire. On bourre avec soin (5) la fente « f » de sable grossier lavé « s » en vue de plaquer la tôle « t » contre la lèvre inférieure de « f » et de percer les capillaires qui contournent la lèvre supérieure (effet du lissage). Sans ces précautions l'eau suit ces capillaires et n'est pas captée par la tôle « t ». Des tuyaux en plastique canalisent l'eau de drainage oblique coulant dans les gouttières « g » (pente longitudinale de 1 %) vers des récipients en polyéthylène posés au fond de la fosse. Les eaux ruisselantes sont recueillies dans un canal large de 20 cm (7) et menées par des tubes en plastique vers un piège à sédiment, puis un fût de stockage de 200 litres. Un limnigraphe (8) mis en relation avec un pluviographe permet d'enregistrer le retard des phénomènes par rapport aux pluies d'intensités connues.

Un bâti « b » en tube d'acier soutient un toit « to » de tôle dont l'extrémité supérieure empêche l'eau de pluie de tomber dans le canal de ruissellement. Les bords de la fosse sont stabilisés par une couche

(1) Fosse : largeur 1,5 m ; longueur 2,1 m.

(2) Planches : largeur 20 à 30 cm ; longueur 2,2 m ; épaisseur 30 mm.

(3) Chevron : longueur 2 m ; épaisseur 6 × 6 cm.

(4) Fente : longueur 210 cm ; profondeur légèrement inférieure à la largeur de la tôle soudée à la gouttière soit 19 cm ; épaisseur moins de 2 cm.

(5) Ces deux opérations sont les plus délicates et décisives pour l'obtention des échantillons d'eau.

(6) Tôle soudée à la gouttière : longueur 2 m, largeur 20 cm, épaisseur 2 mm.

(7) Le canal peut être construit en ciment recouvert de deux couches de flintkote ou encore en tôles minces en plastique ou directement en plastifiant la terre en place à la résine.

(8) Limnigraphe OTT type 10 ; réduction 1/5.

de ciment. La vidange de fût de stockage du ruissellement s'effectue par siphon ou au moyen d'une vanne de fond.

Lorsque tous les matériaux sont prêts il faut compter dix jours de travail pour un manœuvre et le technicien qui participe aux opérations et les surveille ainsi de très près. Le prix de revient des matériaux utilisés est d'environ 20 000 CFA à Abidjan en 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, fasc. 4, pp. 97-112.
- CHAHAL (R.-S.), 1964. — Effect of temperature and trapped air on the energy status of water in porous media. *Soil Sci.*, vol. 98, n° 2, pp. 107-112.
- CHAHAL (R.-S.), 1965. — Effect of temperature and trapped air on matric suction. *Soil Sci.*, vol. 100, n° 4, pp. 262-266.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1965. — Précis de pédologie, 2^e éd. Masson, Paris, 481 p.
- FEODOROFF (A.), 1964. — Remarques sur le mécanisme de l'infiltration de l'eau non saturante dans un sol initialement sec. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 259, pp. 4320-4322.
- FEODOROFF (A.), 1965. — Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Thèse. *Ann. agron.*, vol. 16, pp. 127-175 et pp. 231-263.
- HANSEN (V.-E.), 1955. — Infiltration and soil water movement during irrigation. *Soil Sci.*, vol. 79, n° 2, pp. 93-105.
- HEWLETT (J.-D.), 1961. — Soil moisture as a source of baseflux from steep mountain watersheds. U.S. Dept. Agric. Southeast. Forest Expt. Stat. paper 132, 11 p.
- HOOVER (M.-D.), 1962. — Action et mouvement de l'eau dans la forêt. In : Influences exercées par la forêt sur son milieu. FAO. Etude sur les forêts et les produits forestiers, n° 15, Rome, pp. 38-91.
- HURSH (C.-R.), FLETCHER (P.-W.), 1942. — The soil profile as a natural reservoir. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, vol. 7, pp. 480-486.
- HURSH (C.-R.), 1944. — Chairman's report to sub-committee on subsurface flow. Trans. Amer. geophys. Union, Part. V, pp. 743-746.
- MANGIN (J.-Ph.), LECOLLE (J.), MATHIEU (Ph.), MONNET (C.), PINTA (M.), SIRCOULON (J.), 1966. — Géochimie des eaux naturelles ; le transport en solution par un fleuve de Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t. 262, sér. D, pp. 2204-2206.
- PECK (A.-J.), 1965. — Moisture profile development and air compression during water uptake by bounded porous bodies : 2 horizontal columns. *Soil Sci.*, vol. 99, n° 5, pp. 327-334.
- PECK (A.-J.), 1965. — Moisture profile development and air compression during water uptake by bounded porous bodies : 3 vertical columns. *Soil Sci.*, vol. 100, n° 1, pp. 44-51.
- PLAISANCE (G.), CAILLEUX (A.), 1958. — Dictionnaire des sols. *La Maison Rustique*, Paris, 604 p.
- POWERS (W.-L.), 1934. — Soil water movement as affected by confined air. *J. agric. Res.*, vol. 49, pp. 1125-1133.
- ROESSEL (B.W.P.), 1951. — Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions. Trans. Amer. geophys. Union, vol. 31, pp. 431-442.
- SEGINER (I.), LEVINE (G.), 1964. — Infiltration of water under pressure from a piezometer cavity into a homogeneous soil : 1. one-dimensional infiltration. *Soil. Sci.*, vol. 97, n° 1, pp. 48-57.
- VAN'T WOUTD (B.-D.), 1954. — On factors governing subsurface stormflow in volcanic ash soils, N.Z. Trans. Amer. geophys. Union, vol. 35, pp. 136-144.
- WHIPKEY (R.-Z.), 1965. — Measuring subsurface stormflow from simulated rainstorms : a plot technique. U.S. Dept. Agric., Forest Serv. Cent. States Forest Expt. Sta. Res. Note CS-29, 6 p.
- WHIPKEY (R.-Z.), 1965. — Subsurface stormflow from forested slopes. *Bull. Ass. int. Hydrol. sci.*, X, n° 2, pp. 74-85.