

Les vertisols des Bassins tertiaires méditerranéens et leur érosion

Boulaine J.

Conservation et utilisation des sols

Paris : CIHEAM
Options Méditerranéennes; n. 25

1974
pages 43-47

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI010582>

To cite this article / Pour citer cet article

Boulaine J. **Les vertisols des Bassins tertiaires méditerranéens et leur érosion.** *Conservation et utilisation des sols.* Paris : CIHEAM, 1974. p. 43-47 (Options Méditerranéennes; n. 25)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Jean BOULAINE
 Professeur à l'I.N.A.,
 Paris
 Professeur à l'I.N.A.,
 Rabat

Les vertisols des bassins tertiaires méditerranéens et leur érosion

Parmi toutes les formes de l'érosion des régions méditerranéennes, celles qui affectent les argiles et les marnes sont les plus spectaculaires. Les pays anglo-saxons emploient le terme général de *Bad-Lands* pour désigner ces paysages, parfois grandioses, sculptés dans les matériaux tendres par une érosion régressive que rien n'arrête vers l'amont : plusieurs parcs nationaux américains permettent aux touristes de les admirer. En effet, les sols qui recouvrent ces marnes sont susceptibles d'être parcourus par des crises d'érosion dont le résultat désespère à tel point les agriculteurs et les services chargés de la lutte antiérosive que rien n'est tenté, le plus souvent, pour les arrêter.

Or, la nature des sols en question peut grandement faciliter, pour peu que des techniques simples soient mises en œuvre, la stabilisation de surfaces d'autant plus précieuses que, par ailleurs, il s'agit de très bonnes terres à céréales.

LES VERTISOLS ET LES SOLS BRUNS VERTIQUES

Sur les marnes et les argiles tertiaires, avec un climat méditerranéen (xérotérique accentué) caractérisé par des conditions de précipitations et de température (1), on trouve actuellement dans le sud de l'Italie, au Maroc (sillon sud rifain), en Algérie (région de Mendez, Constantinois) et notamment sur les formations éocènes, miocènes et pliocènes, la séquence évolutive suivante.

Les sols les plus jeunes sont des sols minéraux bruts d'érosion ou des sols peu évolués sur les pentes stabilisées, tandis que, si la durée d'évolution du sol augmente, par exemple sur des replats ou dans des zones respectées par l'érosion, on trouve des sols bruns calcaires, des sols bruns vertiques et, terme ultime, des vertisols.

LES VERTISOLS

D'après G. SMITH (1965) :

« L'ordre des *vertisols* a été créé pour tenter de regrouper les sols argileux qui, suivant les saisons, se gonflent ou se

(1) P compris entre 500 et 600 mm, T égal à 17 °C.

rétractent et qui montrent de larges et profondes fentes de retrait en périodes sèches. »

On savait depuis longtemps que dans des régions assez humides, mais avec une saison sèche, il existait des sols argileux, de couleur foncée, et profonds : Grumosols, Regurs (Inde), Tirs (Maroc), Black Cotton Soil (Soudan), Argiles Noires Tropicales (Afrique Centrale), etc.

Un congrès international (Léopolville, 1954) avait été l'occasion de discussions mémorables à leur sujet. Les travaux suscités par ces discussions ont permis aux auteurs de la 7th approximation (MADISON, 1960) de proposer la notion de vertisols, reprise en France par la classification C.P.C.S. (1967).

Signification

Verto signifie en latin « je tourne ». Dans les vertisols, il y a un brassage continu des constituants du sol sous l'action de pressions de gonflement développées par des argiles de type Montmorillonite.

Le profil granulométrique est donc homogène. Par contre, les structures sont très différentes du sommet à la base du pédon.

En même temps, la couleur est gris olive assez foncé, quelquefois rougeâtre. Les teneurs en matières organiques, surtout des acides humiques gris, sont cependant assez faibles, le noircissement étant dû à des liaisons argile-humus particulières.

Le profil des vertisols

Horizons : les concepts classiques d'horizons A et B ne s'appliquent pas aux vertisols puisque ces horizons sont brassés continuellement. Mais cependant, comme il y a un gradient de pression dans le sol, ne serait-ce qu'à cause de la pesanteur, les structures sont très différentes. De plus, certains caractères du sol : pH, saturation du complexe, humidité, ont des gradients verticaux comme d'ailleurs la température, et la matière organique.

Il y a donc des horizons très différents dans les vertisols et on peut les noter A_{v1} , A_{v3} , (B)_v, etc.

La structure est très développée dans tous les horizons des vertisols. En effet, la proportion d'argile est le plus souvent

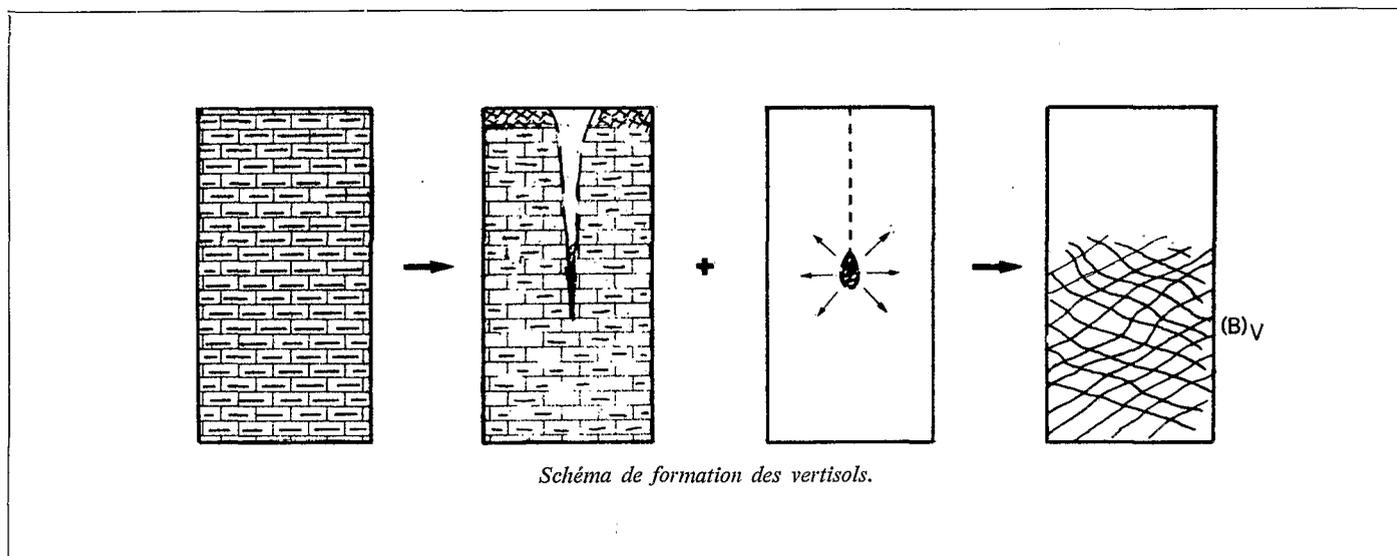


Schéma de formation des vertisols.

supérieure à 30 % et il s'agit en grande partie d'argile gonflante, généralement de la montmorillonite. Pendant les périodes sèches, le sol se fend et son horizon de surface prend une structure polyédrique fine. Les petits polyèdres tombent dans les fentes de retrait et quand le sol se réhumecte, l'apport de matière provoque après gonflement l'apparition de fortes pressions dans les horizons profonds. Ces pressions se traduisent par des déplacements des agrégats (d'où le nom de vertisol). Les agrégats des horizons profonds à structure large gardent la trace de ces glissements : leurs faces sont lustrées et striées (slickensides).

Ces phénomènes entraînent une homogénéisation rapide du profil qui peut avoir de 50 centimètres à 2 mètres d'épaisseur.

Microrelief: ces mouvements se traduisent souvent en surface par le soulèvement de certaines parties du sol alors que d'autres restent en creux (microrelief Gilgai). Dans certaines régions du monde, les différences de niveaux peuvent atteindre plusieurs centimètres. Autour de la Méditerranée, on observe tout au plus le soulèvement de mottes de plusieurs décimètres cubes (observé au Maroc en 1970 par P. ANTOINE et J. BOULAIN) qui sont vite détruites par les pluies et les labours et qui ne donnent pas des microreliefs particuliers durables.

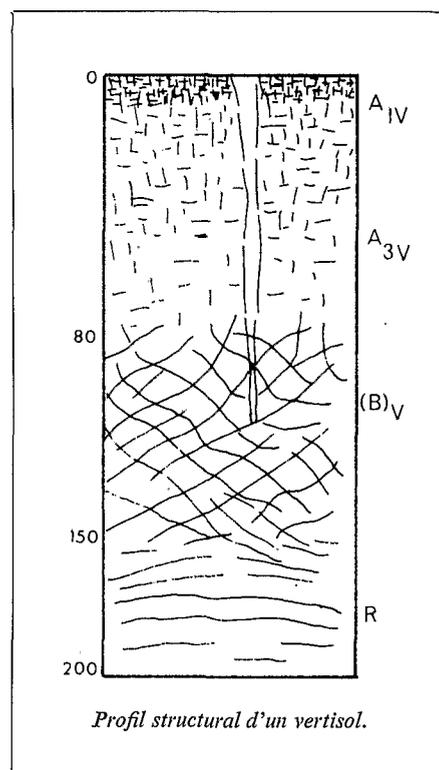
La compression des agrégats augmente leur densité et ils sont difficilement pénétrables par les petites racines. Celles-ci sont souvent brisées ou écrasées par les agrégats soumis aux pressions de gonflement. La végétation qui les recouvre est surtout saisonnière (graminées, composées); les arbres sont très rares.

En surface, les vertisols sont plastiques et collants à l'état humide; par contre, à l'état sec, leur structure superficielle est finement polyédrique (*self-mulching* ou *auto-labour*). Ils sont compacts et leur teneur en eau utilisable est faible pendant la saison sèche mais élevée en période humide; les mouvements mécaniques dont ils sont le siège sont la cause de grandes difficultés pour les travaux de génie civil.

On trouve de haut en bas les structures suivantes :

— une structure finement polyédrique (grumosol) ou, au contraire, massive (mazosol) en surface (A_{1p}). Puis la taille des agrégats augmente, leur forme restant cubique ou polyédrique, ils peuvent atteindre 4 à 8 centimètres de dimensions moyennes (A_{3v}). Ce n'est que vers 60-80 centimètres que l'on trouve la structure typique (vertique ou en plaquette oblique, ou rhomboédrique). C'est l'horizon (B_v) ou encore V.

Vers 150-200, la roche-mère apparaît avec ses caractères propres. Naturellement, ces horizons sont recoupés à l'état sec par des fentes de retrait de 3 à 8 centimètres d'ouverture et de 150 à 180 centimètres de profondeur.



Profil structural d'un vertisol.

La porosité varie considérablement de nature et d'intensité suivant l'état du pédon. A sec, la macro-porosité est considérable dans les horizons de surface et jusqu'à 60-80 centimètres. Plus bas, c'est surtout la fissuration verticale qui assure la pénétration de l'air et de l'eau. Par contre, la microporosité est faible (porosité d'agrégat). Les valeurs de densité apparentes d'agrégats citées par R. DUDAL (1957) varient entre 1,6 et 2,1!

A l'état humide, par contre, les vertisols sont pratiquement imperméables.

Conséquences pour les travaux publics: Les vertisols sont profonds, à l'état humide des tensions obliques s'y manifestent et, s'ils sont imbibés d'eau, constituent un matériau très fluant.

Il s'ensuit qu'un objet quelque peu pesant (poteau, maison, route), situé sur ou dans les vertisols, va se trouver soumis, au moins à certaines périodes de l'année, à des tensions non équilibrées : sa position par rapport à la verticale s'en trouvera modifiée; les barrières dans les champs, les poteaux électriques, les pylônes, s'inclinent dans tous les sens; les édifices penchent et se lézardent, les routes ondulent ou glissent.

Pour un matériau vertical, les pressions supportables au centimètre carré sont faibles. Les routes qui traversent des zones de vertisols doivent avoir une couche épaisse (1 à 2 m pour les routes qui ont un trafic lourd), de répartition faite de matériaux tout venant (galets, graviers et sables). Les maisons doivent avoir des fondations très profondes (à la roche-mère ou par pieux dans les marnes) ou, au contraire, une simple dalle indéformable posée sur le sol sans s'y enfoncer.

Les canalisations sont déboîtées et rompues dans les vertisols : il faut choisir l'acier qui est élastique ou placer les tuyaux à l'air libre sur un ballast de cailloux qui sert de lubrifiant s'il y a un mouvement d'ensemble ou qui se déforme localement si besoin est (conduite d'alimentation de la ville d'Oran).

Matière organique et couleur

Les vertisols ont en commun une couleur assez sombre, parfois noire, due, non pas à l'accumulation de la matière organique, mais à une fixation de petites quantités de celle-ci sur l'argile par un phénomène dans lequel le type d'argile et le fer semblent jouer un rôle important.

Dans un passé récent, on a aussi expliqué cette couleur par la présence d'oxydes (Mn) ou par l'action du magnésium, mais les travaux récents (de l'École de Nancy notamment) donnent plus d'importance au fer.

La nature de la matière organique et des liaisons : d'après Ph. DUCHAUFOR (1972), la quantité totale de matière organique est de l'ordre de 2 %, donc assez faible; mais la polymérisation de l'humus est très poussée et les noyaux phénoliques sont prépondérants, les chaînes aliphatiques peu développées. Les acides fulviques sont en faible proportion et dans les acides humiques ce sont les gris (+ de 80 % du total) qui dominent.

C'est le fer qui constitue avec la matière organique très polymérisée des liaisons spéciales : il est intégré dans les molécules d'acide humique gris ou d'humine (NGUYEN KHA, 1972), et il se trouve sous une forme peu soluble. Malgré des teneurs importantes (2 à 6 %), ce fer est très difficilement extractible, même très probablement à l'état réduit.

C'est cette matière organique très condensée qui contracte avec les montmorillonites des liaisons très solides, par l'intermédiaire du fer d'ailleurs... et que seule l'acide fluorhydrique peut rompre. L'humine, non extractible par les procédés classiques, est une fraction dominante de la matière organique. Après traitement au glycol, les rayons X montrent fréquemment des écartements entre feuillettes de 19 à 21 Å au lieu de 18, et qui sont probablement dus à la matière organique (DUDAL, 1957).

Le C/N varie de 10 à 14 en général.

La couleur : les teintes sont essentiellement 5 Y, 7,5 Y, 10 YR, avec des chromas et des valeurs très basses (2/1, 4/2, 6/4), reviennent fréquemment dans les descriptions de profils (DUDAL R., 1957).

En clair, il s'agit de couleur : gris, gris foncé, surtout en surface et parfois gris olive (5 Y 4/2) en profondeur.

Parfois, certains horizons franchement rouges présentent des faces de glissement et tous les caractères de structure des vertisols. Faut-il parler de vertisols rouges ou de sols rouges vertiques? Ces sols posent le problème de la différence entre mélanisation et verticisation.

Mélanisation : acquisition par certains horizons du sol d'une couleur très foncée bien que le taux de matière organique reste discret. C'est la nature spéciale des liaisons entre la fraction argileuse et l'humus qui contraint l'existence de la composante noire de la couleur.

Verticisation : autobrassage du pédon lié à l'existence d'argile gonflante,

entraînant un approfondissement rapide et un profil structural particulier.

Certains sols sont mélanisés sans être profonds (sols calciques mélanisés); d'autres ont des caractères vertiques sans être mélanisés.

Dynamique minérale

L'origine des montmorillonites : l'héritage suffit parfois à expliquer la genèse des vertisols : c'est le cas notamment des argiles de certains étages (l'Éocène), riches en argiles gonflantes ou d'alluvions et de colluvions provenant de bassins eux-mêmes couverts de vertisols ou possédant des affleurements d'argiles de ce type.

Souvent, l'héritage n'est que partiel, mais il suffit à déclencher à la fois les phénomènes physiques et les dynamismes géochimiques propres au développement des vertisols (marne du miocène et du pliocène méditerranéen à illites dominantes). C'est alors la transformation des argiles en milieu confiné qui amplifie la proportion de montmorillonites.

Enfin, sur des roches cristallines basiques (basaltes, dolérites, péridotites), l'importante proportion des cations calcium et magnésium crée un milieu d'altération confiné et la silice libérée réédifie facilement avec les charpentes alumineuses de minéraux gonflants. La présence de fer (abondant dans ces roches) facilite probablement cette néogénèse. D'ailleurs, le fer participe souvent à l'édification des silicates dans lesquels il est piégé (montmorillonites).

En résumé, dans les climats à saisons contrastées, il y a altération intense pendant la saison humide. Les ions libérés « se concentrent à la saison sèche et donnent montmorillonite et sepiolite » (G. MILLOT, 1971). Cette concentration peut avoir lieu sur place sur les roches basiques ou les marnes, ou bien dans les points bas du paysage.

Le devenir et le rôle du fer : on a déjà vu qu'il était complexé, insolubilisé, intégré aussi bien dans la matière organique que dans la matière minérale. Tous les travaux récents convergent pour confirmer ce piégeage du fer. Cela explique peut-être que la mise en évidence du fer ferreux que l'on s'attend à trouver dans des sols qui sont très engorgés à la saison humide soit très difficile. G. BRYSSINE affirme qu'il ne l'a jamais réussie dans les très beaux vertisols du Maroc (Tirs), qu'il a étudiés.

Ce qui est certain, c'est que, dans de nombreux vertisols des régions humides, on rencontre de petites concrétions globuleuses d'oxydes de fer (plomb de chasse), et que dans les vertisols topomorphes développés sur des matériaux alluviaux provenant de l'érosion de sols à sesquioxides, les grains de sable sont blancs et nus, le fer ayant été mis en mouvement sous une forme qui doit bien être la forme réduite et piégée comme dit plus haut (Doukkal, Maroc).

Le calcaire : dans de nombreux vertisols, principalement ceux des régions les plus humides, les horizons de surface sont plus

ou moins décarbonatés, parfois même y a-t-il désaturation et le pH descend en dessous de 6. Par contre, en profondeur, des sels de calcium (sulfates et carbonates) s'individualisent alors que la proportion de magnésium du complexe augmente.

Comportement écologique

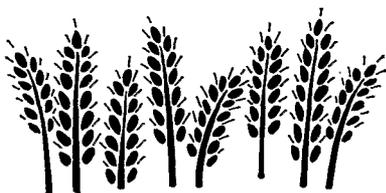
Comme habitat de végétaux, les vertisols présentent un certain nombre de contraintes sévères, mais aussi quelques aptitudes excellentes.

Contraintes : une forte teneur en argile et les mouvements internes associés à un climat à saison sèche marquée en font un milieu défavorable aux arbres. Exceptions, l'*Eucalyptus* et certaines légumineuses (*Prosopis*), surtout des épineux.

En effet, au niveau de l'horizon (B)_v, les racines sont écrasées, aplaties, cassées par les mouvements des agrégats. D'autre part, elles pénètrent difficilement dans les agrégats denses : au mieux, elles les recouvrent d'un lacis.

Aptitudes : par contre, la végétation herbacée annuelle (*Daucus*, *Cirsium*, graminées) profite au maximum d'un milieu de surface qui retient bien l'eau et qui est meuble dès que le sol est ressuyé.

Les vertisols sont des sols de savanes (Llanos du nord de l'Amérique du Sud), en climat tropical et des terres à blé (*Rharb* au Maroc; plaine de Foggia en Italie).



Lorsque l'on peut les irriguer, ou lorsque le climat est assez humide, ce sont d'excellentes terres à coton (Inde, Soudan) ou à maïs (Mexique).

Par contre, la culture du riz n'est pas toujours dans les conditions optima sur les vertisols. Les baisses de potentiel induites par l'engorgement y sont plus rapides que dans les autres types de sols (G. AUBERT).

Composants solubles : Les sulfates et les carbonates existent dans les vertisols soit à l'état diffus, soit à l'état figuré de pseudomycélium ou d'amas pulvérulents, voire de concrétions dans les horizons profonds (Kankar des sols régur de l'Inde).

Profils cationiques : D'une manière très générale, les vertisols s'appauvrissent en cations dans les zones de surface et s'enrichissent dans les horizons profonds (BRYSSINE, 1971).

Il faut donc accepter l'idée que l'entraînement de ces cations et l'échange des bases avec le complexe argilo-humique auquel ils participent se fait avec une vitesse supérieure à celle de la remontée des constituants du vertisol par auto-brassage.

LES VERTISOLS DES BASSINS TERTIAIRES

Il existe deux grands types de vertisols autour de la Méditerranée, tout au moins pour les pédologues français qui distinguent d'après le gisement topographique : les vertisols topomorphes (ou à drainage externe réduit) et les vertisols lithomorphes (à drainage externe possible).

1° Les vertisols situés dans les basses fonds sont les *vertisols topomorphes*. Leur formation peut être due à des processus variés : dans certains cas, ils prennent naissance sur des alluvions ou sur des formations sédimentaires dont les argiles sont déjà originellement gonflantes. Elles peuvent alors provoquer les phénomènes successifs de gonflement et de rétraction qui sont à l'origine de la pédogénèse des vertisols. Dans d'autres cas, la genèse de ce type de sol est due à une accumulation relative de cations bivalents : l'argilogénèse est alors orientée vers la formation d'argiles gonflantes (R. MAIGNIEN).

2° Sur certaines roches-mères basiques le bilan général des cations bivalents peut être le même, mais pour des raisons différentes : c'est alors la vitesse de libération des cations et de la silice à partir des minéraux qui est plus rapide que leur exportation par drainage et il se forme aussi un vertisol. On dit alors qu'il s'agit d'un *vertisol lithomorphe*. Ce sont surtout les roches éruptives basiques, en particulier les basaltes, qui donnent naissance à ces derniers sols, ainsi que les marnes et les argiles, et cela d'autant plus facilement qu'elles contiennent, au départ, une certaine quantité de montmorillonites.

Ce sont ces vertisols lithomorphes qui recouvrent les portions les plus stables des bassins tertiaires.

L'ÉROSION DES VERTISOLS

À la fin des périodes de calme du point de vue de l'érosion (périodes biostatiques de H. ERHART), la morphologie des formations marneuses est ondulée avec des talwegs concaves ou les eaux de ruissellement coulent sur des fonds argileux à fonds plats envahis par les pores. Les parties les plus hautes des bassins versants ont encore aujourd'hui ces formes. On les rencontre, par exemple, sur la route de Mendez à Tiaret ou dans le plateau central marocain. Dès que l'érosion accélérée (rhéxistase) commence, les zones aval sont le lieu d'un creusement accentué des talwegs par des ravines en U dont le recul est très rapide. Les structures prismatiques et les fentes verticales des vertisols facilitent cette érosion régressive.

Ces ravines se ramifient et leurs lèvres s'abattent à chaque pluie importante, soit que des blocs verticaux s'effondrent en glissant sur leurs bases, soit que les agrégats secondaires se désagrègent.

Bien que les argiles soient gonflantes et que, à la longue, elles se mettent en suspension dans l'eau, les agrégats sont suffisamment compacts et leur porosité est faible : il y a donc dans la masse en mouvement une partie encore solide qui

à le comportement de graviers ou de sables grossiers et qui, donc, a tendance à se sédimenter.

Pendant la saison sèche, les vertisols des bordures des zones érodées reprennent une structure très développée avec des agrégats compacts et à densité élevée. Comme ils ne sont plus calés par des agrégats voisins, ils s'éboulent peu ou prou au bas des micro-falaises des ravines.

Les résultats de ces comportements des agrégats tant à l'état sec qu'à l'état humide ou mouillé est que, si un obstacle s'oppose à l'évacuation continue des produits de l'érosion, il y a une sédimentation relativement facile des agrégats encore solides, alors que les argiles en suspension ne se déposent que si la vitesse de l'eau devient pratiquement nulle.

La lutte contre l'érosion dans les bassins versants à vertisols doit donc être menée avec les principes suivants :

1° L'établissement aussi soigné que possible d'un seuil aval, si possible plus élevé que le niveau de base actuel et indestructible.

Cela est difficile car le matériau argileux ou marneux ne constitue pas une fondation solide et, en outre, on risque toujours le contournement de l'ouvrage par des eaux de débordement ou par des ravines accessoires. La construction d'un mur de palplanches métalliques qu'il est toujours possible d'agrandir latéralement, en cas de danger, est peut-être une solution quitte à récupérer des éléments ayant déjà servi pour diminuer le prix de revient. La construction d'un exutoire doit être envisagée et réalisée avec beaucoup de soin.

2° En amont de ce seuil, par contre, il suffit de favoriser la reconstitution d'une morphologie stable, c'est-à-dire de profils d'équilibre sur toutes les sections du relief. Si le soutirage aval est arrêté, ce phénomène peut être rapide, de l'ordre de quelques années à quelques dizaines d'années. Il se réalise d'ailleurs parfois sous nos yeux, par exemple lorsqu'une route traverse en tranchée une interfluve marneuse. Les premières années, après la construction de la route, les talus sont la proie d'érosions rapides et spectaculaires. Mais comme les Ponts et Chaussées stabilisent les fossés de la route qui servent d'exutoire (sinon la route serait détruite), on constate, assez vite, que les talus se stabilisent et prennent peu à peu un profil convexe qui est un nouvel état d'équilibre.

On peut évidemment envisager de faciliter à l'amont par les travaux annuels du sol la recherche de ce nouvel équilibre morphologique.

Peu d'expériences existent de traitement de ces sols argileux. Le système des banquettes est, en tout cas, catastrophique. Des labours légèrement inclinés vers les talwegs, l'abattage des micro-falaises des ravines, le versage de la chaume vers l'aval, l'engazonnement des exutoires sont à recommander, non à expérimenter.

*
**

Les vertisols des formations tertiaires marneuses et argileuses méditerranéennes sont très sensibles à l'érosion. Mais la

forte densité et la relative stabilité de leurs agrégats fournit un matériau dont la mise en suspension dans l'eau n'est pas immédiate et dont la séparation est très facile. Pour peu que l'érosion soit stoppée à l'aval par un seuil fixe la formation d'un nouveau profil d'équilibre est possible et cela d'autant plus vite que des travaux simples sont pratiqués dans les zones amont.

BIBLIOGRAPHIE

- D'HOORE (J.) (1955). — Sols argileux noirs tropicaux et subtropicaux. Sols africains. Vol. III, n° 3.
- SIMONSON (R. W.). (1954) — Morphology and classification of the regur soils of India. *The journal of soil Science*, 4-5, 275.
- BOCQUIER (G.) (1971). — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. *Thèse Sci.*, Strasbourg.
- MILLOT (G.) (1971). — Géochimie des altérations. *Bul. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.* 24-4, Strasbourg.
- NGUYEN KHA (1973). — Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. *Thèse Univers.* de Nancy, N° CNRS Ao 8033.
- DUDAL (R.) (1967). — Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales. *F.A.O.*, n° 83, Rome.

- FITZ PATRICK (E. A.) (1971). — *Pedology*. Oliver and Boyd. Edimbourg.
- PAQUET (H.) (1970). — Évolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées. *Bull. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.* 30, Strasbourg, 1970.
- BRIDGES (E. M.) (1970). — *World soils*. Cambridge university press. Cambridge.
- DUCHAUFOUR (Ph.) (1972). — Processus de formation des sols. C.R.D.P. Nancy.
- SOILS CLASSIFICATION (1960). — A comprehensive system. 7th approximation. Soil conservation service U.S.D.A., 124.
- PUYOS (A.) (1959). — Présentation de la carte des sols du Rharb à l'échelle de 1 100 000 par P. Divoux. Tx de la section de Pédologie, t. 13-14, 50 p.

