

Modalités d'action du lessivage dans les sols tropicaux développés sur granites (Haute-Volta)

Étude micromorphologique

R. BOULET

Pédologue de L'ORSTOM

RÉSUMÉ

Deux modes d'action du lessivage sont mis en évidence dans les sols développés sur granites en Haute-Volta. Le premier est ménagé et progressif. Il provoque des migrations sur courte distance, emprunte des voies ouvertes par d'autres mécanismes tels que l'activité biologique, permet à l'organisation héritée de la roche mère de se conserver longtemps dans le profil. Le second est brutal et total. Il détruit les structures pédologiques des horizons qu'il affecte, crée une porosité qui lui est propre, réorganise le squelette dont il modifie la granulométrie, transporte à l'aval du versant ou du bassin tout ou partie des produits lessivés.

Le lessivage « ménagé et progressif » agit seul dans des toposéquences à sols d'altération (sols bruns eutrophes - vertisols par exemple), tandis que le lessivage « total et brutal » lui succède dans les toposéquences à dynamique latérale accentuée.

ABSTRACT

Two processes of leaching are pointed out in the soils developed on granites in the Upper Volta. The first is moderate and gradual. It induces translocations on short distance ; it uses ways opened by other mechanisms such as biologic activity ; it results in the durable conservation of the organization inherited from the parent material, inside the soil profile. The second is violent and total. It destroys the pedologic organization of the horizons affected ; it creates its own porosity ; it reorganizes the skeleton, the granulometry of which it transforms ; it removes downslope all the leached products or at least a part of them.

The « moderate and gradual » leaching acts alone in the toposequences of weathering soils (such as eutrophic brown soils and vertisols), whilst the « total and violent » one follows the latter in the toposequences with strongly marked lateral dynamics.

PLAN

1. Introduction
2. Formation et mouvements de l'argile dans les toposéquences à sols d'altération (Premier type).
 - 2.1 - Caractérisation sommaire de ces toposéquences
 - 2.2 - Etude micromorphologique
 - (a) Description macro- et micromorphologique
 - (b) Interprétation
3. Origine et migration de l'argile dans les toposéquences à dynamique latérale accentuée (Second type).
 - 3.1 - Caractérisation sommaire de ces toposéquences

3.2 - Etude micromorphologique

- 3.2.1 - Le sol rouge sommital
 - (a) Description macro- et micromorphologique
 - (b) Interprétation
- 3.2.2 - Les sols à horizon lessivé et horizon illuvial profonds
 - (a) Description macro- et micromorphologique
 - (b) Interprétation

4. Cas des horizons éluviaux superficiels

5. Résumé et conclusions

Bibliographie

1 - INTRODUCTION

L'étude des sols développés sur les granites ou migmatites de Haute-Volta orientale a mis en évidence deux voies différentes de la pédogenèse (BOULET, PAQUET, 1972). L'une de ces voies laisse à l'altération des minéraux primaires une part prépondérante dans la formation des horizons B et aboutit à ce que l'on appellera provisoirement, faute de meilleur terme, des « sols d'altération ». L'autre voie fait intervenir, après une première phase d'argilification in situ, des mécanismes de lessivage et d'illuviation intenses, qui donnent naissance à des horizons lessivés puis à des horizons B. Ces horizons éluviaux et illuviaux se forment d'abord à l'aval de la chaîne, pour remonter ensuite le versant dont ils finissent dans certains cas par envahir la majeure partie (BOCQUIER, PAQUET, MILLOT, 1970) ; leur dynamique est donc principalement latérale.

A chacune de ces voies d'évolution correspond un type de toposéquence décrit par ailleurs (BOULET, 1971, 1972), dont on rappellera les caractéristiques essentielles avant d'en aborder l'étude micromorphologique. Cette étude sera faite principalement sous l'angle de la formation et de la différenciation du plasma argileux.

L'analyse micromorphologique de ces toposéquences montre que le lessivage et en particulier les migrations d'argile interviennent en réalité dans les deux cas. Mais ce lessivage présente alors des modalités d'action qui diffèrent notablement selon l'itinéraire emprunté par la pédogenèse.

2 - FORMATION ET MOUVEMENTS DE L'ARGILE DANS LES TOPOSÉQUENCES A SOLS D'ALTÉRATION (Premier type)

2.1 - Caractérisation sommaire de ces toposéquences

Les toposéquences à sols d'altération sont les plus fréquentes dans l'ensemble de la Haute-Volta orientale. Elles se développent sur des roches granitiques à grain moyen ou fin dont la composition minéralogique va de granodioritique à calco-alcaline. Elles associent des sols bruns vertiques (subarides ou eutrophes selon la zone climatique) en amont et des vertisols en aval. Ces toposéquences comportent donc, en toute position topographique, des sols plus ou moins vertiques où la montmorillonite est présente en quantités importantes dès la base du profil. Une

autre de leurs caractéristiques essentielles est de ne présenter que des variations latérales faibles et progressives du haut en bas de la pente.

2.2 - Etude micromorphologique

L'analyse micromorphologique des horizons successifs des profils montre que l'horizon B de ces sols résulte de la transformation des minéraux altérables dont on suit verticalement l'évolution depuis l'arène à structure conservée jusqu'aux horizons supérieurs. C'est donc dans cet ordre que l'on étudiera les horizons et leurs lames minces. La terminologie employée est celle de BREWER (1964).

L'exemple choisi est un sol brun eutrophe vertique, développé sur un granite à biotite et amphibole, situé à Garango (0°33' W - 11°46' N, pluviosité 900 mm) au sommet d'un versant à pente de 1,5 %. Ce type de sol couvre la moitié du versant puis passe progressivement à des vertisols.

(a) Description macro- et micromorphologique

Roche mère :

migmatite à biotite et amphibole nettement orientée (biotites alignées) comportant, en dehors des minéraux ferromagnésiens, du microcline, de l'orthose, de l'oligoclase, plus ou moins séricitisés, et du quartz.

> 250 cm :

- Matériau d'altération arénacé de la migmatite, présentant l'aspect d'une mosaïque de petits polygones (1-3 mm) blancs, verts, noirs ou ocres (minéraux primaires ou leurs fantômes). Texture sableuse, structure massive à cohésion moyenne.
- En lame mince, la conservation de la structure de la roche est nette, aucune trace de déplacement des minéraux primaires n'ayant été décelée.

Le squelette est constitué de quartz un peu fracturés, à fragments non déplacés (extinction commune), de feldspaths, de biotites plus ou moins exfoliées, de hornblende.

L'altération des cristaux de feldspath K s'effectue selon un front d'attaque linéaire par transformation brutale en un plasma silasépique à argilasépique suivant la taille des cristallites élémentaires ainsi formées (voir photo 7 pl. III montrant une altération de même type dans un autre profil). Des îlots de feldspath persistent,

noyés dans ce plasma « d'altération », mais ils ne sont pas déplacés ainsi qu'en témoigne leur orientation cristallographique qui reste inchangée.

Les plagioclases sont généralement altérés dans leur masse en amas microcristallins (2-15 μ) donnant une amorce de plasma silasépique. Plus rarement ils sont soumis à un front d'attaque moins brutal toutefois que celui des feldspaths K (photo 1 pl. I au sommet de la photo). La hornblende évolue de la même façon que les feldspaths K (photo 3 pl. I) et ne se charge en fer que rarement. Les biotites se ferruginisent plus fréquemment (photo 2 pl. I) ou se transforment également en un plasma qui présente toutefois une certaine orientation. Mais à fort grossissement, on constate que cette orientation est due à la persistance d'éléments résiduels filamenteux constitués de cristallites alignées parallèlement au plan de clivage des biotites et noyées au sein d'un plasma argilasépique ; elle constitue un reflet des structures cristallines primaires et non une organisation propre au plasma néoformé. Le plasma est donc *exclusivement asépique* et résulte de la transformation *sur place des minéraux altérables*.

La porosité est faible, constituée essentiellement de fissures non revêtues (orthovides) dont une bonne partie est due à des arrachements lors de la fabrication de la lame.

200-150 cm :

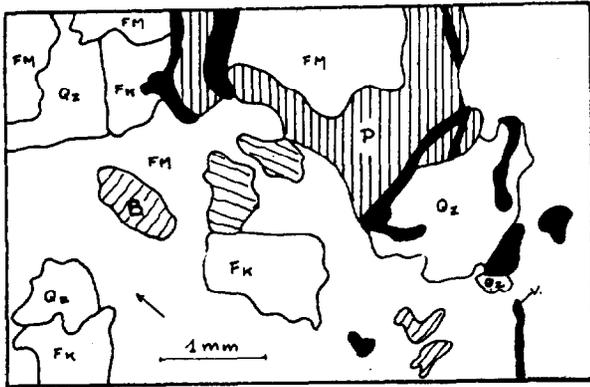
- Horizon de transition entre le matériau et l'horizon B. Brun jaune à fantômes cristallins encore visibles, gris verdâtre, à limites diffuses. Très riche en feldspaths blancs friables. Taches noires, tendres, à forme irrégulière, $\varnothing \leq 5$ mm. Argilo-sableux. Structure prismatique 5-10 cm, en assemblage compact, à débit oblique. Cohésion excessive en sec, plastique en humide, compact. La transition est progressive avec l'horizon sus-jacent.
- En lame mince, on observe les mêmes éléments constituants que dans le matériau, mais le plasma asépique est beaucoup plus abondant. Il reste encore de nombreux fantômes cristallins avec éléments résiduels non déplacés, à extinction commune, noyés dans leur plasma d'altération. La taille du squelette reste toutefois à large dominance de cristaux de la dimension des sables grossiers (0,5-1 mm) ; les cristaux sont peu fracturés ; la teneur en quartz a augmenté

relativement par rapport à celle des autres minéraux primaires. Les concentrations ferrugineuses, essentiellement centrées sur les cristaux de biotite ou leur fantôme se font plus nombreuses.

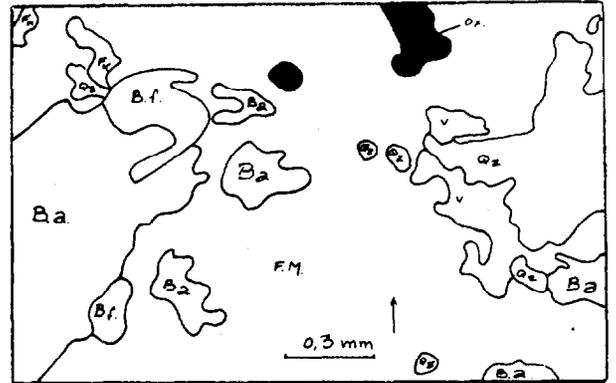
150-30 cm :

- Horizon B brun (10 YR 4/4) à nodules noirs peu abondants. Feldspaths blancs friables encore nombreux, argilo-sableux à argileux. Structure prismatique 10-20 cm en assemblage compact lors du creusement de la fosse, devenant lâche au séchage. Sur les 30 cm supérieurs, sous-structure cubique 3-4 cm en assemblage prismatique de même taille. En dessous, débit des prismes primaires en plaquettes à faces horizontales ou légèrement obliques non lissées. Cohésion excessive. Porosité non visible sauf au sommet où elle est moyenne.
- En lame mince et à la base ou au milieu de l'horizon l'assemblage est toujours porphyroscuelique. Le squelette est constitué de quartz, de microcline à limite très dentelée, les cristaux étant rongés par le fond matriciel, de plagioclases très altérés dans leur masse, de biotites localement ferruginisées (photo 4 pl. I), souvent dissociées en amas allongés selon les plans de clivage, de quelques amphiboles, de nodules ferrugineux à divers stades d'individualisation. Les cristaux de quartz et de feldspath K sont très fracturés mais à fragments non ou peu déplacés. Les plagioclases présentent tous les intermédiaires entre les cristaux altérés à maclage polysynthétique encore visible et un fond matriciel silasépique dont les constituants, de la taille des limons, sont des cristallites ou des amas cristallins d'argile et de séricite.

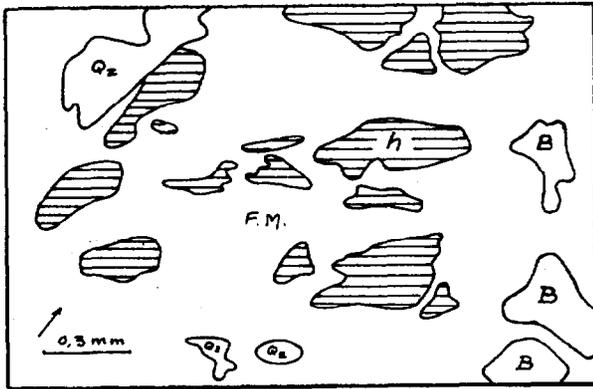
Le fond matriciel dominant est le fond matriciel asépique de transformation des minéraux, dont on suit la formation depuis l'arène. Il ne comporte pas de squelette fin autre que des fragments de biotite ferruginisée issus des amas immédiatement adjacents. Il est plus abondant que dans l'horizon précédent. Il est parcouru de fentes sinueuses (photo 5 pl. I). Au voisinage des fentes les plus larges, apparaît, au sein de ce fond matriciel, un squelette fin (0,05 mm) de quartz et de feldspath, ainsi que des domaines légèrement orientés (tendance masépique) En bordure de certains pores on note la présence d'argilanes jaunes bien orientés à limites nettes. Certains de ces argilanes comportent des fragments alignés de biotite issus des amas contigus,



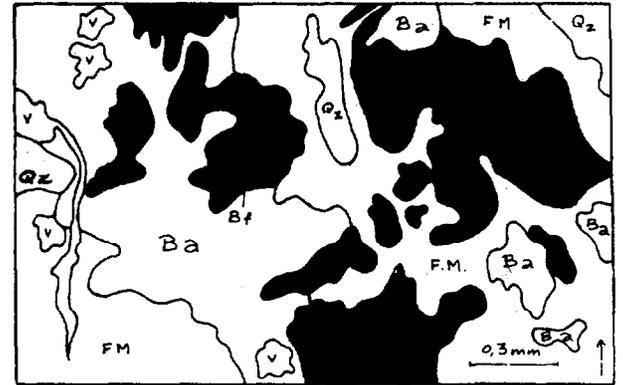
1 - Qz: quartz - F_K: feldspath potassique
- P: plagioclase - B: biotite - FM: fond
matriciel - V: vide.



2 - Ba: biotite altérée - Bf: biotite
ferruginisée - Ox.: oxydes de fer -
V: arrachement de la lame lors de la
fabrication



3 - h: hornblende - B: biotite -
FM: fond matriciel argilasépique.



4 - Bf: biotite ferruginisée - Ba: bio-
tite altérée - V: vide

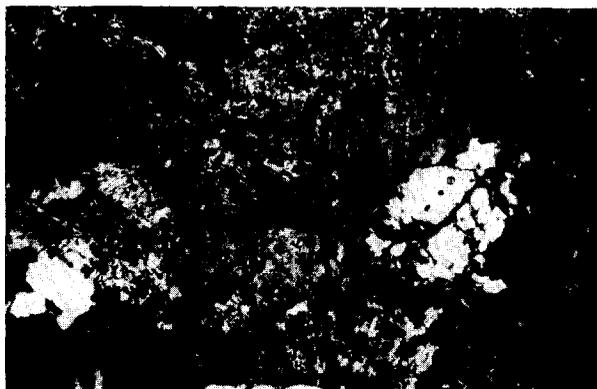


5 - F_{Ka}: feldspath K altéré - f: fissure
- FM: fond matriciel.

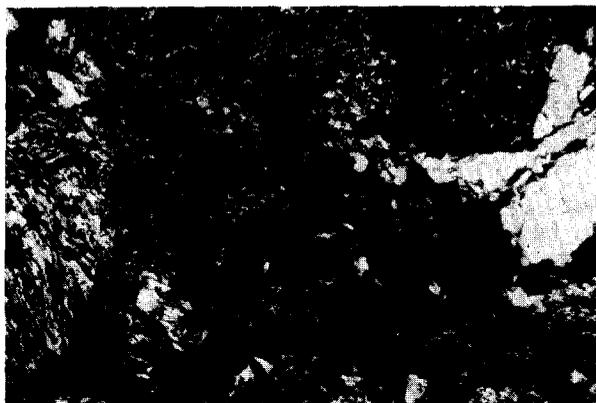


6 - V: vide - FM: fond matriciel
squelbimasépique.

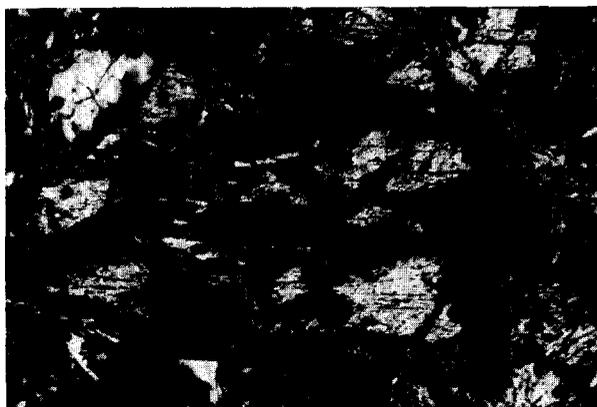
*Toposéquences du premier type sols bruns eutrophes vertiques
Formation d'un Horizon B d'altération*



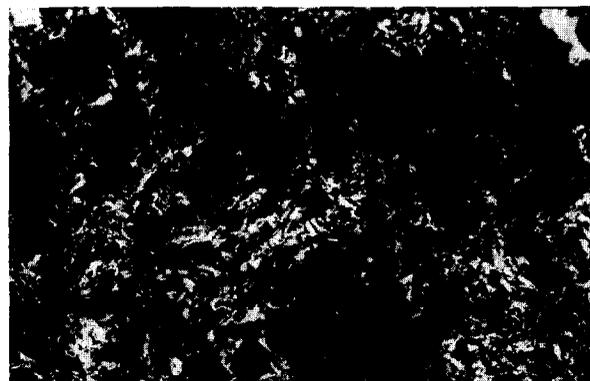
1. L.P. — Horizon C, 3 m. Matériau à structure conservée..



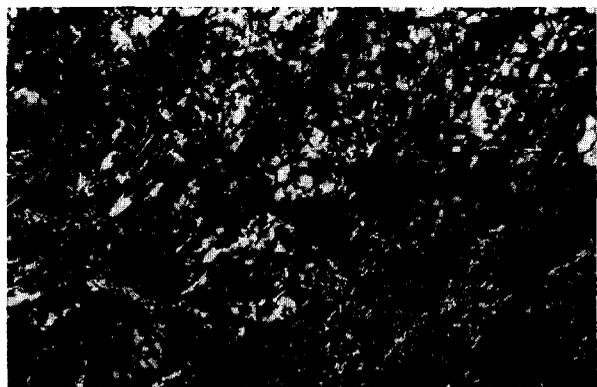
2. L.P. — Horizon BC, 2 m. Fond matriciel d'altération argilasépique.



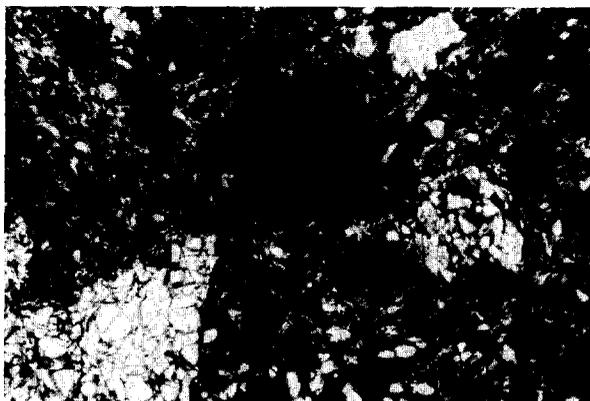
3. L.P. — Horizon BC, 2 m. Cristal de hornblende s'altérant sans déplacement en donnant un fond matriciel argilasépique.



4. L.P. — Horizon B, 80 cm. Biotite altérée, fortement exfoliée, localement ferruginisée.



5. L.P. — Horizon B, 80 cm. Les fissures sont plus nombreuses, les quartz très fracturés. Des domaines orientés apparaissent dans le fond matriciel (tendance masépique).



6. L.P. — Partie supérieure de l'horizon B (30 cm). Quartz très fracturés, porosité plus forte. Fond matriciel squelettique à squelette fin hétérogène.

ce qui suggère que l'argile qu'ils orientent peut être issue du fond matriciel voisin.

Au sommet de l'horizon B, sur ses 30 cm supérieurs, là où apparaît une sous-structure cubique, l'organisation micromorphologique change considérablement. L'assemblage devient aggloméro-plasmique ou même intertextique. Le squelette est constitué de quartz et de feldspath très fracturés à fragments souvent dissociés qui se dispersent dans le fond matriciel (photo 6 pl. I), de concrétions, de quelques fines lamelles de biotite ferruginisée isolées au sein du fond matriciel. Les plagioclases ont disparu. Le squelette fin (0,05 mm) est régulièrement réparti dans le fond matriciel qui est partout *squelbimasépique*. Les vides sont nombreux ; ce sont des orthovides ou, plus rarement, des métavides revêtus d'argilanes jaunes bien circonscrites. Leur forme est plus ou moins circulaire, les fissures sont rares.

0-20 cm :

- Horizon humifère gris brun foncé (10 YR 3/2), homogène ; sablo-argileux ; structure prismatique 10-15 cm en assemblage assez compact ; prismes à débit malaisé à tendance cubique, cohésion excessive. Porosité tubulaire moyenne à faible.
- En lame mince, l'organisation est voisine de celle du sommet de l'horizon B, mais le plasma argileux est moins abondant, l'organisation étant plus nettement intertextique. La dissociation des quartz fracturés est plus avancée et les grains de la taille des limons grossiers plus nombreux. La porosité est bien développée, à pores rarement revêtus.

(b) Interprétation

De la base du profil jusqu'au milieu de l'horizon B, on a suivi la transformation, progressive (plagioclases) ou brutale (feldspath K, hornblende), des minéraux altérables en un plasma argilo-limoneux sans aucune orientation relative des cristallites (asépique). Cette absence d'orientation est due tout d'abord à ce que la transformation s'effectue sur place, sans aucun déplacement susceptible d'orienter les cristallites argileuses ainsi formées selon une direction commune ; elle est due aussi à l'absence de contraintes (pression, cisaillement) suffisantes pour déterminer l'apparition de domaines orientés et encore moins de cutanes de contraintes (1).

Ce n'est que vers le milieu du B et à proximité des fissures les plus larges qu'apparaissent des domaines orientés à tendance masépique (photo 5 pl. I). Simultanément, les minéraux primaires fracturés, situés dans ces domaines orientés ou à leur périphérie se dissocient et leurs fragments se dispersent dans le plasma masépique où ils alimentent un squelette fin (< 0,1 mm) jusqu'alors très peu abondant. Nous voyons donc naître ici une nouvelle organisation étroitement associée aux fissures qui sont les manifestations des mouvements de gonflement et de retrait.

Dans les 30 cm supérieurs de l'horizon B par contre, l'orientation du plasma devient la règle en même temps que l'intégration dans ce plasma du squelette fin, issu des minéraux primaires fracturés, se généralise. Cette réorganisation, ainsi que le suggère son mode d'apparition dans le profil (paragraphe précédent), résulte des contraintes dues à des mouvements de gonflement et de retrait accentués. En effet la partie supérieure du B est soumise à chaque pluie importante à une humectation suivie d'une dessiccation rapide, tandis que ces fluctuations s'amortissent en profondeur. Au-delà d'une cinquantaine de cm de profondeur, le cycle des humectations et dessiccation tend vers celui des saisons sèches et humides. Sa période change alors, passant de quelques jours à l'année. Cette modification verticale rapide dans l'organisation micromorphologique correspond d'ailleurs à une variation de la macrostructure qui s'affine au sommet du B, variation apparaissant elle aussi liée à la fréquence des cycles d'humectation et de dessiccation. Ainsi, un simple changement dans la périodicité des conditions hydriques suffit à modifier notablement l'organisation macro- et microstructurale d'un matériau pédologique.

Le passage à l'horizon A, est rapide il s'effectue sur 5 à 10 cm. Il ne s'accompagne pas d'une transformation importante de l'organisation du plasma qui reste bimasépique ; mais la proportion de ce plasma dans le fond matriciel diminue nettement au bénéfice du squelette (assemblage intertextique). Cette variation

(1) Cette faiblesse des contraintes peut paraître surprenante pour qui a l'habitude d'étudier ces sols bruns eutrophes quelque temps après l'ouverture des fosses car on observe alors des fentes de retrait pouvant atteindre plus de 1 cm de large. Cependant on a pu constater que, dans ce cas, les fentes de retrait ouvertes sont des artefacts dus à la dessiccation anormale du profil provoquée par l'ouverture de la fosse. En effet, même en fin de saison sèche, lorsque la dessiccation est maximum, on n'observe aucune fente de retrait ouverte au fond de la fosse pendant son creusement sauf sur les 40 à 50 premiers cm. Elles apparaissent rapidement une dizaine de mn après la mise à l'air.

correspond à une perte de fraction fine. Il s'agit donc d'un horizon éluvial. Toutefois, la faible importance des microstructures d'illuviation dans l'horizon B sous-jacent ne permet pas de relier cet appauvrissement superficiel en plasma à une migration exclusive-ment verticale. D'autres facteurs tels que l'érosion peuvent intervenir. Le problème des horizons éluviaux superficiels sera à nouveau envisagé au paragraphe IV.

Nous avons constaté que l'essentiel du plasma argileux de ces sols est né sur place de l'altération des minéraux primaires. Il résulte de ce que l'on pourrait appeler l'*altéroplassation*. Par contre, l'orientation du plasma et l'intégration au fond matriciel du squelette fin, tous deux liés aux contraintes évoquées ci-dessus, sont dues à la *pédoplassation* telle que la définissent FLACH, CADY et NETTLETON (1968).

Les migrations d'argile sont faibles dans ces sols mais on a toujours observé au moins quelques argilanes indiscutablement attribuables à l'illuviation. Ces argilanes se localisent soit sur les parois des pores résultant de l'activité biologique, soit, très rarement, sur les faces des fissures de retrait. D'autre part, certains faits tendent à montrer que cette argile illuviée n'a pas été transportée sur une distance importante et qu'elle est probablement issue du fond matriciel immédiatement supérieur. En effet, elle entraîne souvent des fragments issus des amas cristallins adjacents, biotites en particulier, et, vraisemblablement, une partie de leur argile d'altération. Ce point sera repris au paragraphe III sur la base d'observations plus concluantes.

On notera d'autre part que le lessivage et l'illuviation concomitante empruntent des voies et des structures d'accueil créées par d'autres mécanismes (activité biologique, retrait...) et qu'ils agissent sans brutalité, en respectant les organisations fragiles pré-existantes (biotites altérées, fantômes de feldspath, cristaux fissurés sans déplacement). Ce mode de lessivage-illuviation diffère nettement sur ce point de celui que l'on exposera plus loin.

Il est important de souligner que ce n'est pas la faible quantité d'argilanes qui constitue l'argument prouvant la part mineure de l'illuviation dans la formation du B. En effet, cet argument fut réfuté avec raison par NETTLETON, FLACH et BRASCHER (1969) qui ont démontré que l'on peut avoir des horizons illuviaux sans argilanes. Mais dans ce cas, l'horizon B présente une orientation intense omni- ou masépique due aux contraintes qui sont justement responsables de la disparition rapide ou de l'absence d'argilanes, tandis que l'altéro-plasma des horizons B des sols bruns eutrophes étudiés dans ce texte n'est pas orienté,

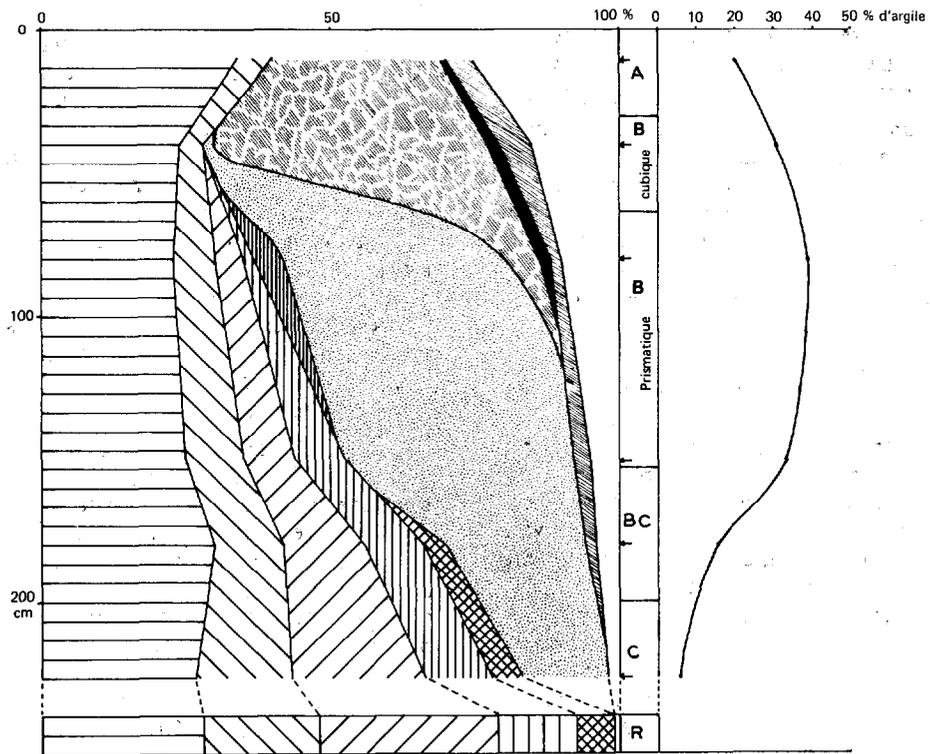
du moins à la base et au milieu du B, là où il se forme. C'est uniquement la transformation sur place des minéraux altérables en un fond matriciel *asépique* qui montre la stricte autochtonie du plasma de ce fond matriciel.

Il est possible de donner une représentation quantitative de ces transformations grâce à l'analyse modale au compteur de points telle que l'a déjà pratiquée ESWARAN (1968). On vérifie ainsi (pl. II) que les vitesses de transformation des divers minéraux altérables ne sont pas les mêmes. La hornblende disparaît très rapidement. Quelques cristaux se maintiennent jusqu'à 80 cm du sommet du profil, mais couvrent moins de 1 % de la surface. La biotite s'altère également très vite, mais ne donne un plasma entièrement formé que plus lentement ; elle disparaît, en tant que forme cristalline primaire, à peu près en même temps que les plagioclases. Les feldspaths potassiques enfin sont les plus résistants.

On assiste dans le BC au développement rapide du fond matriciel asépique et, grâce à la courbe granulométrique juxtaposée, on constate que le taux d'argile le plus élevé est atteint lorsque « l'altéroplassation » est maximum, avant que ne se manifeste pleinement la pédoplassation. Ceci confirme que l'horizon B a acquis son stock d'argile par altération in situ. La pédoplassation intervient ensuite pour réorganiser le fond matriciel. Les argilanes apparaissent vers la base du B mais restent partout inférieurs à 3 % de la surface de la lame. On pourrait cependant supposer que le plasma masépique résulte aussi de l'intégration d'argilanes au fur et à mesure de leur dépôt ainsi que NETTLETON *et al.* en ont montré la possibilité. Toutefois, l'intégration d'argilanes au fond matriciel se détecte souvent à la présence de papules d'argile orientée absentes ici. De plus, une illuviation importante d'argile à ce niveau se serait traduite, dans la courbe granulométrique par un « ventre », absent lui aussi. Une dernière hypothèse contradictoire consiste à envisager qu'il y a eu un lessivage latéral de l'argile dans la partie supérieure masépique du B, suivi d'une illuviation. Nous examinerons des phénomènes de ce type au paragraphe III. B. 2 et l'on montrera qu'ils laissent des organisations caractéristiques, et en particulier des transitions linéaires entre horizons, que l'on n'observe pas dans les sols bruns eutrophes.

En conclusion, le plasma argileux des sols bruns eutrophes que nous étudions est essentiellement autochtone. S'il subit des déplacements, ceux-ci n'intéressent qu'une fraction très faible de ce plasma et ils ne se font que sur de courtes distances, à l'échelle de la lame mince ou de l'horizon.

PLANCHE II



- | | | | |
|---|----------------------|---|--------------------------|
|  | Quartz |  | Hornblende |
|  | Feldspath potassique |  | Fond matriciel asépique |
|  | Plagioclase |  | Fond matriciel masépique |
|  | Biotite saine |  | Argillanes |
|  | Biotite altérée |  | Nodules ferrugineux |
|  | Biotite ferruginisée |  | Vides |

3 - ORIGINE ET MIGRATION DE L'ARGILE DANS LES TOPOSÉQUENCES A DYNAMIQUE LATÉRALE ACCENTUÉE (second type)

3.1 - Caractérisation sommaire de ces toposéquences

Les toposéquences du second type n'apparaissent, sur arènes granitiques, qu'au sud de la Haute-Volta orientale, pour des pluviosités supérieures à 800 mm et dans certaines conditions géomorphologiques ou géologiques. Elles sont beaucoup plus complexes que les précédentes, aussi n'en exposerons-nous que les caractères nécessaires à l'interprétation de l'analyse micromorphologique en prenant pour exemple et de façon très partielle la plus simple d'entre elles, située à Diébiga (11°7' N-0°34' E).

La toposéquence de Diébiga est développée sur un granite leucocrate à gros grain comportant quartz, microcline, orthose, oligoclase et biotite. Tout à fait au sommet de l'interfluve se situe un sol fersiallitique présentant, sous un ensemble horizon A₁ humifère - horizon A₂ éluvial de 10 à 50 cm, un horizon B de 60 à 80 cm rouge homogène au sein duquel de nombreux feldspaths blancs ou jaunes, clivables à l'ongle, contrastent vivement. Cet horizon passe, par un horizon de transition d'une cinquantaine de cm, à une arène cohérente à structure parfaitement conservée. L'horizon de transition (BC) présente une variation progressive de couleur, du rouge vif au rose jaunâtre clair, et s'enrichit progressivement en îlots arénacés ; cependant, le passage à l'arène franche s'effectue brusquement selon une surface ondulée qui délimite des cuvettes dont on verra plus loin l'importance. L'ensemble du profil, jusqu'au BC inclus est parcouru de canaux grossiers ($\varnothing = 2-5$ cm), vides, sinueux, sans orientation préférentielle, qui résultent de l'activité biologique.

Latéralement, en suivant l'horizon B, on constate que celui-ci perd très graduellement son homogénéité, se tache de beige et de noir, puis se carapace à partir de la mi-pente (voir pl. V, fig. 1).

A quelques dizaines de mètres du sommet de l'interfluve et à la base du profil se développe un horizon lessivé presque blanc, très poreux, constitué de sables grossiers lâchement agencés, saupoudrés de sables fins et limons blancs. Cet horizon lessivé (A'₂) apparaît à la limite supérieure de l'arène puis remonte progressivement dans le profil, à mesure que l'on descend la pente. L'horizon BC, que l'on suivait depuis le sommet de l'interfluve disparaît ainsi rapidement, puis l'horizon B rouge est atteint à son tour, « rongé »

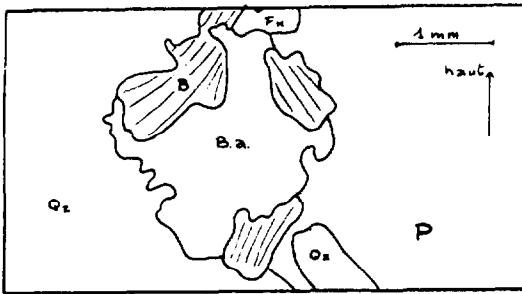
à sa base par le sommet de l'horizon lessivé qui se présente comme un front d'attaque linéaire mais sinueux. L'horizon lessivé finit par rejoindre l'horizon éluvial superficiel vers le 1/3 inférieur de pente, ne respectant que le réseau ferrugineux induré de la carapace. Celui-ci est bientôt à son tour attaqué et, aux abords du thalweg, il ne subsiste plus que quelques îlots de carapace noyés dans l'horizon lessivé (pl. V, fig. 1).

En haut de pente, dès qu'apparaît cet horizon lessivé, se développent dans les cuvettes délimitées par le sommet de l'arène, des horizons illuviaux (B't) dont la partie supérieure ne déborde pas le bord des cuvettes. On a pu vérifier par ailleurs que cette illuviation s'effectue par décantation de petites nappes d'eau de lessivage piégées par ces cuvettes. Il s'agit là d'une véritable sédimentation interne au versant. Ces horizons illuviaux, encore poreux à leur sommet, se colmatent très rapidement et deviennent très compacts, riches en revêtements argileux. Dans cette partie du bassin versant, ils restent très localisés, asservis aux cuvettes basales, la fuite des eaux de percolation étant assurée vers l'aval (pl. V, fig. 1). Un blocage latéral de ces eaux survient plus loin, au confluent du thalweg, qui draine cette toposéquence, avec l'exutoire principal. Des horizons B' plus épais se développent alors.

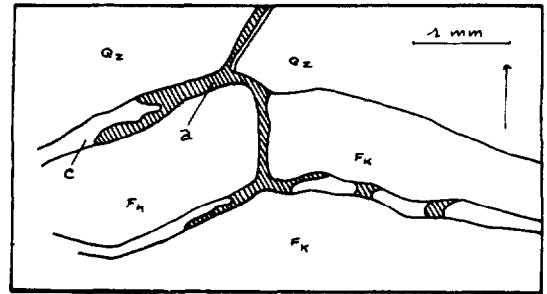
En résumé l'étude morphologique très sommairement exposée ci-dessus, nous permet de reconstituer l'histoire de cette toposéquence de la façon suivante :

— Une première chaîne s'est formée aux dépens des matériaux d'altération du granite. Elle associait des sols rouges en amont à des sols ferrugineux carapacés. Cette chaîne, que nous appellerons « chaîne de première génération », présentait ainsi que l'on peut en juger par ce qu'il en reste, des transitions verticales et latérales progressives et s'apparentait en cela aux toposéquences du premier type.

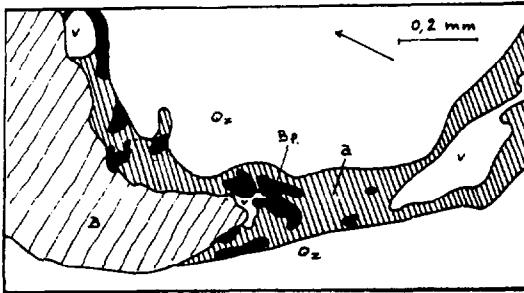
— A la suite de la différenciation même des horizons, le lessivage se déclenche à la base des profils, au contact de l'arène. Ce lessivage a démarré à l'aval pour remonter ensuite la pente en même temps qu'en un point donné, il remontait dans le profil. Il progresse selon un front continu, linéaire. Simultanément ou avec un léger retard, les produits fins entraînés décantent dans les pièges que constituent les cuvettes du sommet de l'arène. Plus à l'aval, un horizon B' épais se développe et remonte dans le versant. Ces phénomènes de lessivage-accumulation créent une chaîne à horizons lessivés-illuviés qui se surimpose à la première et que l'on appellera « chaîne de seconde génération ». Cette seconde chaîne interrompt l'évolution de la précédente sauf tout à fait en haut de pente, là où les sols rouges sont encore intacts.



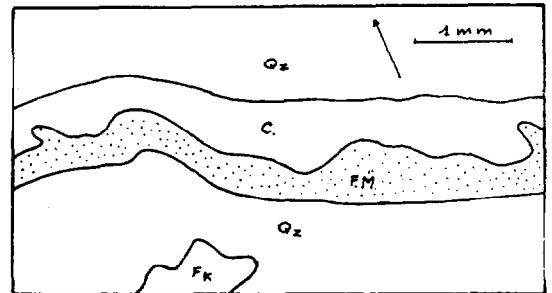
1 - B: Biotite - Ba: biotite altérée - P: plagioclase.



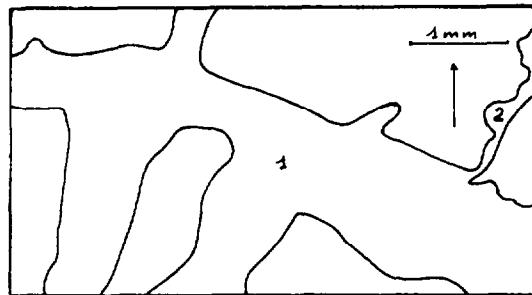
2 - C: canalicule - A: argilane - F_K: feldspath potassique.



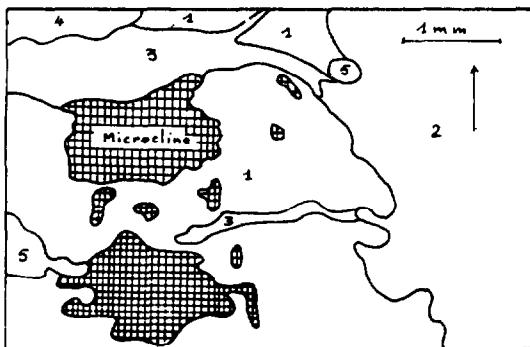
3 - biotite - B_f: biotite ferruginisée - A: argilane - V: vide.



4 - C : canalicule - FM: fond matriciel à squelette fin (quartz, feldspath, biotite en fines lamelles).



5 - 6 - 1: canaux grossiers - 2: canaux fins.

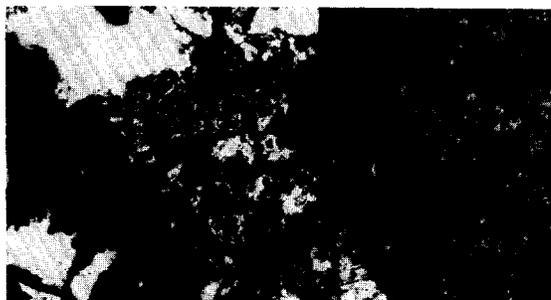


7 - 1: fond matriciel d'altération de microcline - 2: fond matriciel d'altération de biotite - 3: canalicule à argilanes - 4: fond matriciel "pédoturbe" - 5: vide.

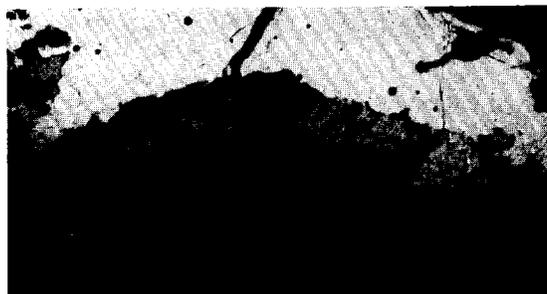


8 - 1: fond matriciel d'altération de feldspath - 2: fond matriciel "pédoturbe" - 3: canalicule à argilanes - 4: vide.

Toposéquences du second type
Les sols rouges amont de Diebiga (1^{re} génération)



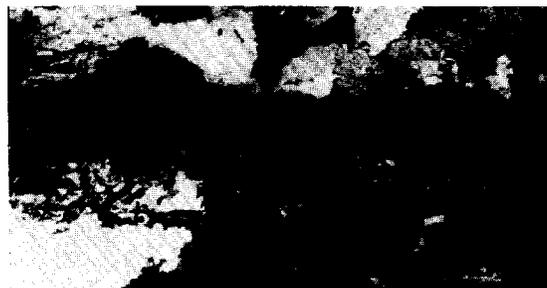
1. L.P. — Horizon C (arène), 3 m. Biotite altérée donnant un fond matriciel argileux (asépique).



2. L.P. — Horizon C (arène), 3 m. Canalicules à argilanes.



3. L.N. — Horizon C (arène), 3 m. Canalicule alimenté en fragments ferrugineux et en argile par une biotite en cours d'altération.



4. L.P. — Horizon C (arène), 160 cm. A la partie supérieure de l'arène, les canalicules s'élargissent et leur remplissage comporte de l'argile en fins cutanes et du squelette fin.



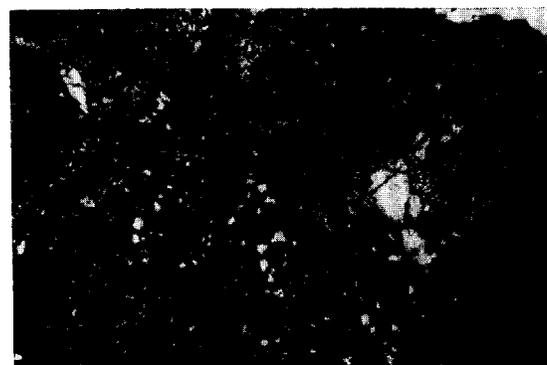
5. L.N. Horizon BC, 120 cm. Les canaux grossiers contiennent un fond matriciel à squelette fin et argilanes. Les canaux fins ne contiennent que des argilanes.



6. L.P. Horizon BC, 120 cm. Les canaux grossiers contiennent un fond matriciel à squelette fin et argilanes. Les canaux fins ne contiennent que des argilanes.



7. L.P. — Horizon B, 80 cm. Fond matriciel d'altération formé sur place à partir de feldspath et biotite. Il ne contient pas de squelette autre que des fragments du cristal d'origine et ceux-ci gardent la même orientation.



8. L.P. — Horizon B, 80 cm. Fond matriciel asépique d'altération de feldspath et fond matriciel « pédoturbe » à tendance masépique.

3.2 - Etude micromorphologique

3.2.1. LE SOL ROUGE SOMMITAL

(a) Description macro- et micromorphologique

Pour les mêmes raisons qu'en ce qui concerne les sols bruns eutrophes, on est amené à décrire les lames minces de ce sol en partant du matériau originel pour aller vers la surface.

> 150 cm :

- Arène cohérente à cristaux jointifs.
- En lame mince, la conservation de la structure est évidente.

Squelette : quartz non fracturé, orthose et microcline sains, oligoclase altérée (fines paillettes de séricite, minéraux argileux), biotite exfoliée et altérée (expurgation du fer, pléochroïsme atténué).

Plasma : à 3 m de profondeur cette arène est parcourue d'un réseau de fins canalicules (\varnothing 0,4 à 0,6 mm) qui traversent indifféremment tous les minéraux, quartz compris (photo 2, pl. III). Ces canalicules sont bordés ou comblés de cutanes à bordure irrégulière, en petits segments orientés juxtaposés, constitués d'argile jaune mêlée de fins fragments de biotite fortement ferruginisée (photo 2 pl. III). Ces argilanes sont particulièrement développés au débouché des cristaux de biotite qui les alimentent en débris ferruginisés et probablement en argile d'altération (photo 3 pl. III).

Certaines biotites très altérées se transforment sur place en plasma asépique (photo 1 pl. III). A ce niveau de l'arène, ce sont les seuls minéraux qui se comportent ainsi, les autres minéraux, même altérés (plagioclases), conservent leur structure cristalline d'ensemble, et ne libèrent ni produits d'altération ni fragments.

Plus haut dans la coupe, au sommet de l'arène (1,6 m), certains canalicules s'élargissent (\varnothing 1 à 1,5 mm), la bordure des cristaux qui les délimitent étant irrégulière, fissurée. Ces canaux plus larges sont partiellement comblés d'un fond matriciel à squelette fin à quartz, feldspath, biotite, pauvre en plasma argileux qui forme de minces cutanes interstratifiés avec le squelette. Ce dépôt est soit posé sur la paroi inférieure du canal (photo 4, pl. III), soit empilé dans l'orifice

qu'il obstrue plus ou moins complètement. Les autres canalicules restent fins, à peine plus larges que ceux précédemment décrits, mais leurs argilanes sont mieux orientés.

100-150 cm :

- Horizon BC brun clair riche en filots arénacés, sableux, massif à cohésion moyenne. Porosité fine peu développée. Porosité grossière par canaux (\varnothing 3-4 cm).
- En lame mince la structure de la roche mère est encore conservée en grand, les fragments appartenant à un même cristal s'éteignent simultanément bien que pouvant être séparés par des chenaux de plus de 1 mm (photos 5 et 6 pl. III).

Squelette et altéroplasma :

- Le quartz est souvent très fracturé. Sur ses bordures, en contacts avec les chenaux, il perd de petits fragments qui sont mêlés au fond matriciel adjacent.
- Microcline et orthose sont optiquement sains mais « rongés » par un fond matriciel jaunâtre à extinction ponctuée (asépique) à squelette fin uniquement constitué de fragments non déplacés du cristal attaqué (photos 7 et 8 pl. III).
- Le plagioclase est très altéré (argile et séricite) rarement à macle visible. Il passe diffusément à un fond matriciel avec ou sans petits résidus cristallins primaires identifiables. Ceux-ci sont très cariés. Ce fond matriciel a une extinction ponctuée (asépique), il est constitué de squelette fin (petits débris de plagioclase), de séricite, d'amas de cristallites d'argile sans orientation référée. Localement, il se charge diffusément de fer.
- La biotite est généralement complètement exfoliée, elle donne un fond matriciel asépique riche en fines biotites très altérées, conservant cependant un léger pléochroïsme, ou bien très ferruginisées (photo 7 pl. III).

Fond matriciel « pédoturbe » (ph. 5 et 6 pl. III)

En dehors de ces zones à altéroplasma asépique associé à un squelette monominéral dans chaque élément pseudomorphe de minéral primaire, se développe un réseau de chenaux larges (1-2 mm) contenant un fond matriciel et des argilanes. Le squelette du fond matriciel est hétérogène (quartz, feldspath, biotite, séricite), probable-

ment alimenté par les cristaux à bordure fragmentée adjacents. Ce fond matriciel présente des domaines faiblement orientés, il est légèrement vosquelsépique. D'autres canaux plus fins (1/4 à 1/2 mm), ne contiennent que des argilanes.

110-50 cm :

- Horizon B rouge (2,5 YR 5/5) piqueté de feldspaths blancs ou jaunes friables, sablo-argileux, massif à cohésion moyenne à forte, porosité fine moyenne à faible, porosité grossière par canaux bien développée.

En lame mince, la structure de la roche est à peu près conservée en grand. On peut en effet trouver des itinéraires continus allant d'un bout à l'autre de la lame en passant d'un cristal du squelette grossier à un autre, soit par une limite de cristaux jointifs, soit en franchissant une plage de fond matriciel, mais en retrouvant de part et d'autre de ce domaine des fragments ayant appartenu à un même cristal primaire et qui conservent la même orientation cristallographique.

Par rapport à l'horizon BC, le fond matriciel a notablement augmenté, principalement en fond matriciel pédoturbé. Les plagioclases ont disparu, intégralement transformés en plasma. Les argilanes sont plus ferruginisés passant parfois aux argilo-ferranes. Le fond matriciel pédoturbé couvre des zones plus larges (ph. 8 pl. III) il intègre des papules d'argile orientée, sa tendance vosquelsépique s'affirme.

20-50 cm :

- Horizon A₂ beige (10 YR 6/4) à transition linéaire sinueuse avec horizon B sous-jacent. Des îlots de B persistent dans la base de cet horizon. Sableux, massif à cohésion faible, porosité interstitielle fine très développée, disparition des canaux grossiers.

En lame mince, l'assemblage est intertextique, c'est-à-dire que les grains grossiers du squelette sont reliés entre eux par des ponts associant plasma et squelette fin. Le plasma est très peu abondant, asépique ou faiblement masépique. Il n'y a pas d'argilanes. L'examen de la limite A₂ - B ou bien celle des îlots de B noyés dans le A₂ montre que les structures plasmiques et cutaniques du B sont recoupées par le fond matriciel du A₂ qui contient souvent de petits débris d'argilo-ferranes au voisinage du contact avec l'horizon B.

20-10 cm :

- Horizon A₁ humifère gris (10 YR 5/3), massif très peu cohérent, très poreux.
- En lame mince, l'organisation est analogue à celle du A₂. Le fond matriciel comporte des débris organiques.

(b) Interprétation

Dans ce profil, on observe deux modes d'individualisation du fond matriciel. D'une part, formation d'un altéro-plasma analogue à celui du sol brun eutrophe précédemment décrit. Les vitesses relatives de transformation des minéraux primaires en plasma restent les mêmes (cf. pl. V fig. 2). D'autre part, à partir des produits d'altération, puis de l'altéro-plasma lui-même, formation d'un plasma puis d'un fond matriciel pédoturbé c'est-à-dire remanié sur place ou à faible distance par les mécanismes pédologiques : circulation de l'eau et, dans la zone à activité biologique, influence de la faune et des racines.

A la base de la coupe, dans l'horizon C, seule la biotite altérée libère une partie de sa substance : argile d'altération et débris cristallins ferruginisés. Le plasma est uniquement constitué d'argilanes, il est associé à des fragments de biotite (photo 3 pl. III). Plus haut, les cristaux de quartz et de feldspath commencent à se démanteler sur leur bordure. On trouve alors quelques zones de fond matriciel à squelette fin hétérogène mais pauvre en plasma car les biotites sont toujours les seuls fournisseurs d'argile (photo 4 pl. III). Dans l'horizon BC se développe brusquement un plasma d'altération à partir des feldspaths. Celui-ci, fragile, alimente à son tour le fond matriciel pédoturbé qui devient abondant. Ce mécanisme croît vers le sommet du profil en même temps que l'activité biologique dont les traces, bien que peu visibles en lame mince, sont nettes sur le terrain. Ce n'est que dans l'horizon A₂ superficiel que l'on constate une perte importante de substance. En conséquence, *dans l'ensemble du profil, horizons A exclus, à chaque niveau considéré, le fond matriciel et/ou les traits pédologiques ne comportent que ce que le milieu d'altération chimique ou mécanique immédiatement environnant est susceptible de leur fournir.* Ceci constitue un argument majeur en faveur d'une origine très locale de l'argile illuviée qui forme les argilanes des horizons B et BC, et, plus généralement, de l'autochtonie ou de la parautochtonie du fond matriciel.

Il en est par contre tout autrement du couple A₁-A₂ superficiel. Les organisations microstructurales, dont on a suivi la formation ou la transformation progres-

sive de l'arène jusqu'au B, disparaissent, brutalement *recoupées* par un fond matriciel presque inorganisé, pauvre en plasma, très poreux et qui contient, à proximité de ces contacts discordants, des débris issus des argilo-ferranes du B. On a là les manifestations évidentes, aussi bien sur le terrain (transition linéaire, îlots résiduels de B dans le A₂) qu'en lame mince, d'une destruction du B par le haut et d'un entraînement des produits de cette attaque. Par contre, on n'a observé aucune structure illuviale, située sous et à proximité de la base du A₂, qui puisse être attribuée à l'accumulation des produits ainsi entraînés. En effet, le plasma argileux du A₂ est beige jaunâtre clair, tandis que tous les argilanes du sommet du B sont vivement colorés en rouge ou brun rouge (ce qui suggère que la destruction du B s'accompagne d'une décoloration). Il est probable qu'une telle attaque résulte d'une circulation oblique relativement rapide de l'eau de percolation, partiellement bloquée dans son cheminement vertical par le contact A₂ (très poreux) - B (plus compact), et que les produits fins arrachés sont entraînés latéralement, puis en profondeur par l'intermédiaire des canaux grossiers qui traversent tout le profil.

Ce profil est finalement assez voisin du sol brun eutrophe décrit plus haut en ce qui concerne les mécanismes de formation de l'horizon B. Les produits d'altération ne sont certes pas identiques du point de vue minéralogique (cf. BOULET, PAQUET, 1972), mais leurs organisations micromorphologiques sont très proches ; les altéropasmas en particulier présentent des aspects microscopiques très voisins. Cependant, on constate que la pédoturbation et la migration de l'argile interviennent beaucoup plus tôt et plus intensément dans le sol rouge de Diébiga que dans le sol brun eutrophe. Ces mécanismes sont probablement favorisés à Diébiga par des minéraux secondaires plus mobiles, une perméabilité plus forte, une pénétration plus aisée et plus profonde de l'activité biologique.

3.2.2. LES SOLS A HORIZON LESSIVÉ ET HORIZON ILLUVIAL PROFONDS

(a) Description macro- et micromorphologique

Contrairement à ce que nous avons fait jusqu'à maintenant, nous décrirons les horizons en allant du haut profil vers la base. En effet, l'étude morphologique puis micromorphologique a montré que les horizons lessivés et illuviés ont une différenciation croissante de haut en bas, c'est-à-dire en sens opposé à celle des horizons B d'altération. Le profil retenu se situe en 1/3 supérieur de pente là où les horizons de seconde

génération sont déjà bien développés (cf. pl. V, fig. 1 et 3).

0 - 10 cm :

- Horizons A₁ et A₂ identiques à ceux du sol rouge sommital (cf. III 1 - a).

10 - 100 cm :

- Horizon B d'aspect voisin de celui du sol rouge amont auquel il passe en continuité, mais avec des zones beige très clair (10 YR 7/5) bien circonscrites, à sa partie inférieure. On observe les mêmes canaux grossiers. Transition linéaire et sinueuse avec l'horizon sous-jacent.
- En lame mince, on retrouve également les mêmes aspects micromorphologiques, mais la proportion relative de fond matriciel pédoturbé est nettement plus importante. L'ensemble est vivement coloré en jaune-rouge et rouge-brun. Les argilanes jaune-rouge et argilo-ferranes s'y organisent en un lacis très complexe, mais forment toujours des structures concordantes, c'est-à-dire qu'ils se superposent sans se recouper. Le fond matriciel d'altération se reconnaît surtout à son squelette fin monominéral peu abondant et à l'absence d'orientation préférentielle. Il est imprégné d'oxydes de fer et de teinte également rouge-jaune.

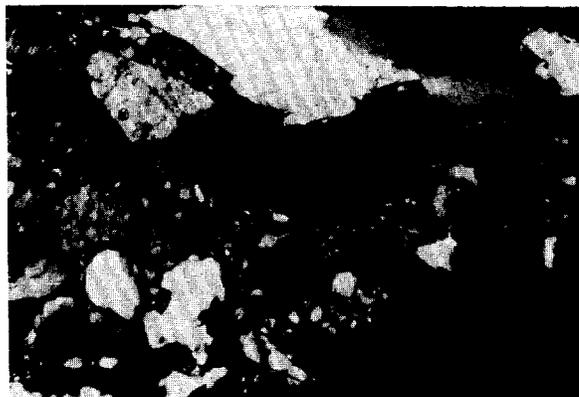
Vers la base de l'horizon apparaissent des zones décolorées, à fond matriciel légèrement masépique, généralement localisées autour des pores. Leur transition avec le fond matriciel pédoturbé est linéaire, sans qu'il y ait toutefois discordance des structures.

100 - 150 cm :

- Horizon lessivé (A'₂) presque blanc (10 Y 7/4), à porosité très forte et grossière, constitué de sables et graviers issus du granite, fragilement reliés entre eux par des joints de sables fins et limons blancs. Cet horizon est parcouru des mêmes canaux grossiers que l'horizon B sus-jacent. Le fond des pores de grande taille et les replats structuraux sont revêtus d'une pellicule de sables fins et limons blancs. La structure est sub-particulaire, cet horizon se délite à la moindre contrainte. Transition linéaire avec l'horizon sous-jacent.

En lame mince, l'assemblage est intertextique à granulaire.

Toposéquences du second type
Horizons lessivés et illuviaux (2^e génération)



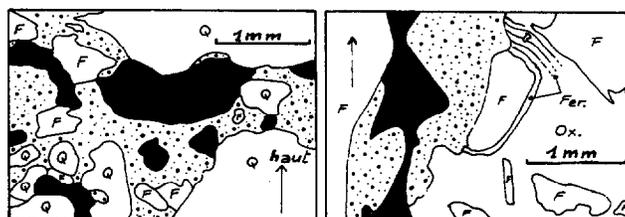
1. L.P. — Horizon lessivé, 120 cm.



4. L.N. — Contact horizon B illuvial - arène. Le fond matriciel masépique recoupe les structures fragiles de l'arène, ici les biotites altérées et ferruginisées.

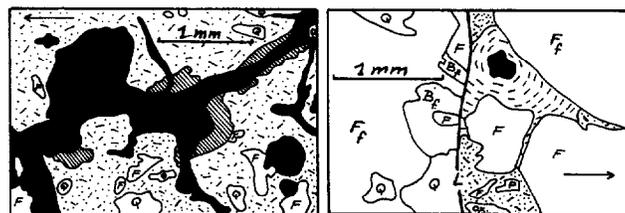


2. L.N. — Horizon B carapacé lessivé. Le fond matriciel « lessivé » recoupe le fond matriciel ferruginisé et ses structures cutaniques. Ces structures ne sont pas visibles sur la photo, mais ont été dessinées sur le croquis.



- 1 -

- 2 -



- 3 -

- 4 -



3. L.P. — Horizon B illuvial, 180 cm.

-  Vide
-  Argilanes
-  Fond matriciel vosépique sans squelette fin
-  Fond matriciel masépique avec ou sans squelette fin
-  Fond matriciel "lessivé"
-  Quartz
-  Plagioclase
-  Feldspath potassique
-  Feldspath potassique ferruginisé
-  Biotite altérée et ferruginisée
-  Oxydes de fer
-  Ferranes
-  } Limite horizon B illuvial - arène
-  /
-  }

— Le squelette grossier (1-4 mm) est constitué de quartz, microcline, orthose, très rares plagioclases. Les feldspaths sont sains, les quartz non fracturés. On note l'absence de biotite. Ces grains grossiers sont assemblés très lâchement, le plan de la lame ne passant qu'assez rarement par les points de contact. Cependant, la disposition du fond matriciel (cf. infra) et l'observation macroscopique montrent qu'ils constituent une charpente continue mais très aérée.

— Le fond matriciel est essentiellement constitué de squelette fin (0,04 à 0,08 mm) de grains de quartz et feldspath, généralement en contact les uns avec les autres, les vides étant incomplètement comblés (porosité fine) par un plasma limoneux (0,005 - 0,01 mm) constitué d'éléments cristallins non déterminables parfois mêlés de petites papules d'argile ferruginisée orientée. Quelques pores fins sont bordés d'argilanes, bien orientés, jaune pâle. Ce fond matriciel est très discontinu, laissant ouverts de larges vides complexes (agglomérosquelique) dont la bordure est constituée alternativement par la paroi des grains grossiers et par du fond matriciel (photo 2 pl. IV). Le plancher des vides est fréquemment surmonté de « tas » irréguliers de squelette fin, tandis que le toit est généralement constitué par la paroi, propre, d'un grain grossier. Le squelette fin ne comble souvent qu'une partie des chenaux, la partie inférieure restant vide parce que bloquée par un ou plusieurs grains grossiers ou par un étranglement. Cette disposition suggère un remplissage par le haut, très incomplet et en vrac, de la charpente très aérée que forme le squelette grossier, par un matériau constitué de sables fins, de limon et d'un peu d'argile. On doit noter cependant que cette polarité verticale reste assez fruste et n'atteint pas le degré d'organisation des traits laminaires décrits par BOCQUIER (1971). Ces traits laminaires s'observent toutefois dans d'autres toposéquences voltaïques de ce type.

150 - 200 cm :

— Horizon illuvial (B't) encore poreux à son sommet où coexistent des revêtements argileux bruns et des dépôts sableux fins, puis de plus en plus compact en même temps que la teinte passe au beige pâle marbré d'ocre (10 YR 6/2 et 6/8). La structure est prismatique large, irrégulière, à sommets grossièrement arrondis, la cohésion moyenne. Cet horizon repose sur l'arène, la transition étant absolument linéaire.

— En lame mince, l'assemblage est porphyrosquelique. Le squelette grossier est constitué de quartz non ou peu fracturé, de microcline sain ou altéré mais alors chargé en fer, de quelques plagioclases pouvant être altérés mais à charpente cristalline continue (cristallites d'argile isolés au sein du plagioclase), pas de biotite.

Les grains du squelette grossier sont isolés dans un fond matriciel clinobimasépique qui comporte un squelette fin de quartz et de feldspath dont la taille dominante est 0,04 mm, quelques rares lamelles ferruginisées issues de biotite, d'assez nombreuses papules d'argile orientée.

Ce fond matriciel est parcouru de fissures ou de canaux revêtus d'épais argilanes ou au moins de domaines vosépiques. Les argilanes sont très bien orientés en bordure des vides, mais passent diffusément à un plasma strié, masépique puis bimasépique. Certains argilanes sont constitués de bandes uniformément orientées, séparées de bandes striées. La teinte d'ensemble est beige jaunâtre, les argilanes et papules étant un peu plus colorés que le fond matriciel. L'aspect général de cette organisation est donné par la photo 3 pl. IV.

Au sommet de l'horizon, des plages d'horizon B telles qu'on vient de les décrire sont juxtaposées à des îlots d'horizon lessivé. A la base de l'horizon, le contact avec l'arène est *linéaire* (photo 4 pl. IV) *et recoupe toutes les structures de celle-ci* : argilanes des pores, biotites altérées ou ferruginisées, fantômes de feldspaths.

200 cm et plus :

— Arène à structure conservée identique à celle décrite en III - B-1 - a.

Remarque au sujet de l'organisation de la carapace au sein de l'horizon lessivé :

Vers l'aval, nous avons vu que l'horizon B rouge de première génération se transforme progressivement en une carapace dure, percée d'un réseau de tubulures. L'horizon lessivé monte dans cette carapace vers le tiers inférieur de pente en respectant à première vue toutes les parties indurées. Ce n'est que tout à fait en bas de pente que la carapace subit une dissolution massive et se résout en blocs isolés au sein de l'horizon lessivé.

En lame mince, cette carapace prise dans l'horizon lessivé montre des zones à organisation analogue à

celle du B rouge de l'amont mais où le fond matriciel et surtout les cutanes sont très fortement ferruginisés (ferranes), presque opaques. L'organisation des ferranes est très complexe mais ceux-ci, comme dans l'horizon 10-100 cm décrit ci-dessus, sont concordants. Les zones ferrugineuses sont en contact linéaire avec un réseau de fond matriciel de type lessivé à squelette fin abondant, à grains jointifs, pauvre en plasma. Le fond matriciel « lessivé » recoupe les structures cutaniques des zones ferrugineuses sur lesquelles il est discordant (photo 2 pl. IV). Ceci démontre la postériorité du lessivage par rapport au carapacement. Les ferranes constituent des structures très cohérentes puisque ce sont eux qui déterminent la dureté de la carapace. L'énergie mécanique de l'eau de percolation, agent du lessivage, est certainement insuffisante pour détruire si brutalement ces structures. Elle doit pour cela s'adjoindre une action dissolvante suffisante pour remobiliser les hydroxydes de fer.

(b) Interprétation

Tant par les observations macroscopiques que par l'étude micromorphologique, on est amené à admettre que l'horizon lessivé se développe aux dépens de l'horizon B de première génération sus-jacent. Son organisation simple s'opposant à celle, complexe, de cet horizon B, sa pauvreté en plasma, la discordance enfin de son fond matriciel sur les structures cutaniques du B carapacé confirment amplement cette hypothèse qui s'imposait déjà lors de l'étude de terrain. On constate alors que le lessivage, qui transforme ainsi l'horizon B de première génération, est pratiquement *total*, car il ne laisse subsister que très peu de plasma argileux, ce qui en reste paraissant « en transit » sur les parois des pores. Il est aussi *très brutal* et détruit toutes les organisations préexistantes lorsqu'elles sont fragiles ou constituées de produits solubilisables : fantômes de minéraux, argilanes, ferranes. *Il crée lui-même une porosité grossière*, qui remplace les substances entraînées, et s'organise en fonction de ce qui reste immobile (squelette grossier) ou qui bouge peu (squelette fin).

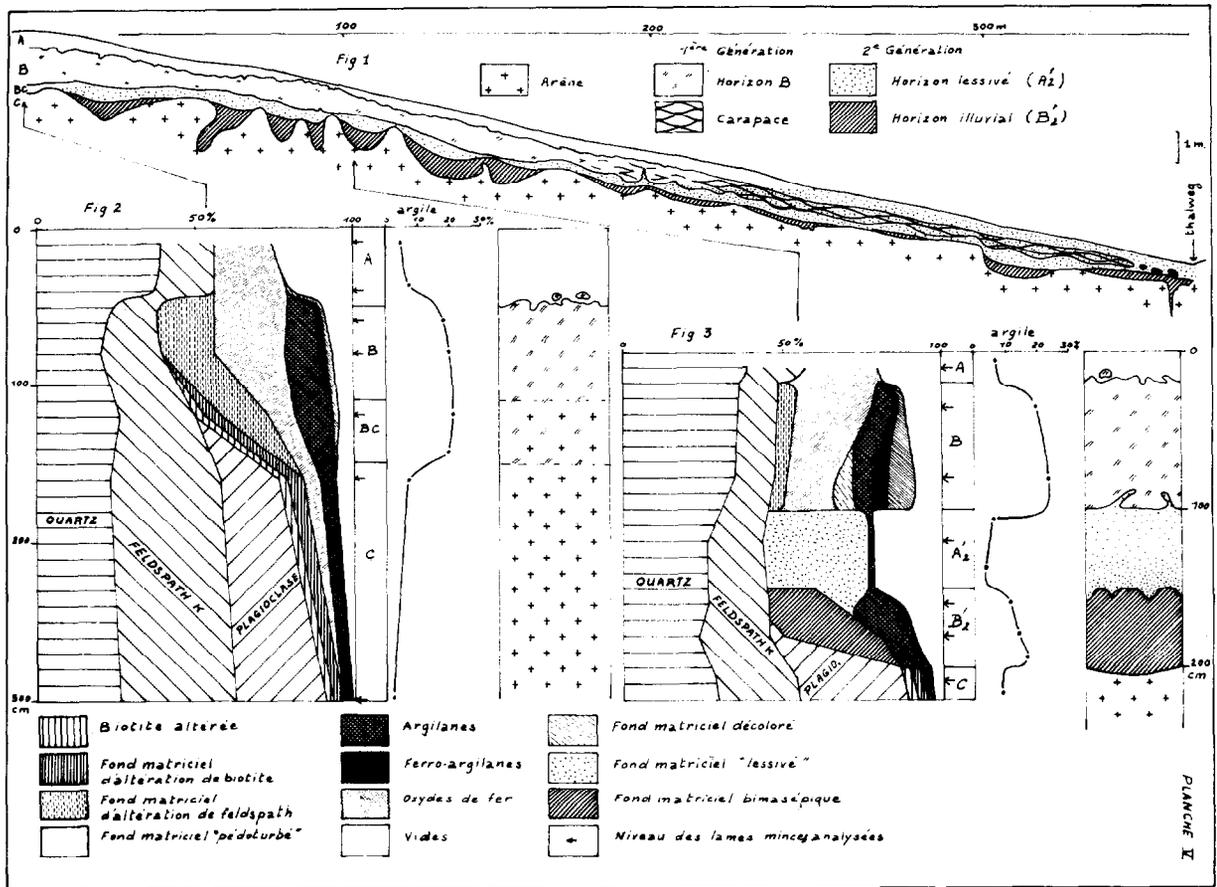
L'horizon B' illuvial se situe à la base de l'horizon lessivé dont il colmate les vides par du plasma argileux prélevé dans les horizons de première génération. Ce plasma argileux s'oriente sous l'effet des alternances d'humectation et de dessiccation, (fond matriciel exclusivement masépique). Les argilanes sont moyennement abondants, dépourvus de squelette, souvent stratifiés et correspondent effectivement à de l'argile illuviée. Leur transition avec le fond matriciel masépique est toutefois généralement diffuse. Ceci traduit

leur intégration rapide mais progressive au fond matriciel. Témoignent également de cette intégration les papules, parfois encore stratifiées, qui parsèment le fond matriciel.

Nous ne possédons pas ici de preuves micromorphologiques directes analogues à celles de BOCQUIER (1971), de l'existence d'un stade antérieur lessivé de cet horizon B', donc de la nature entièrement allochtone de son plasma. Ceci est dû à ce que l'horizon lessivé ne se crée aucune organisation pédologique résistante, qui pourrait persister dans l'horizon illuvial, telle que les nodules ferrugineux à structures laminaires empilées décrits par BOCQUIER. Mais nous avons d'une part des preuves micromorphologiques indirectes : absence des structures caractéristiques des horizons B et BC qui existent au même niveau du profil mais plus à l'amont (biotites altérées, fond matriciel d'altération, fond matriciel pédoturbé à argilanes rouges et ferranes). Bien plus, nous constatons que ces structures, déjà présentes dans l'arène sous-jacente, sont brutalement recoupées par le fond matriciel illuvié (photo 4 pl. IV). Or, nous avons montré que cette destruction des structures micropédologiques initiales est le fait du lessivage. D'autre part, il existe des preuves macroscopiques directes de la remontée du B' illuvial dans l'horizon lessivé. Ainsi, les îlots résiduels de carapace, qui sont isolés dans l'horizon A'₂ au bas de cette toposéquence (cf. fig. 1 pl. V) sont, un peu plus à l'aval, ennoyés jusqu'au milieu de leur hauteur par l'horizon B' illuvial tandis que leur sommet surnage encore dans le A'₂. Ainsi pouvons nous affirmer, à la suite de BOCQUIER, que l'horizon B' illuvial s'installe dans la base de l'horizon A'₂, qu'il envahit à mesure que celui-ci monte dans le profil de première génération. Cette invasion s'effectue avec un retard variable sur celle du lessivage, retard qui dépend de l'existence et de l'efficacité des barrages s'opposant à la fuite latérale des eaux de percolation. Ces barrages sont localisés au long du versant (cuvettes délimitées par le sommet de l'arène) ou situés soit à l'aval du versant, soit à l'exutoire du bassin.

4. CAS DES HORIZONS ÉLUVIAUX SUPERFICIELS

Nous avons étudié de façon détaillée des horizons A'₂ qui se localisent en profondeur, à la partie inférieure du profil. Il s'agit là d'une situation assez peu couramment décrite dans la littérature si l'on excepte



les études de profils à bisequum effectuées aux Etats-Unis ou au Canada (ALLEN *et al.* 1954, GROSSMAN *et al.* 1959, McKEAGUE *et al.* 1969, etc.), ainsi que les travaux plus récents de BOCQUIER (1971). Il se trouve que les mécanismes particuliers de lessivage, dont ces horizons A'_2 profonds sont le siège, sont faciles à mettre en évidence parce qu'ils agissent à l'abri des phénomènes superficiels tels que l'érosion, l'activité racinaire intense de l'horizon humifère, les façons culturales, phénomènes qui viennent si souvent jeter le doute sur la signification des variations texturales en tête de profil. Le but de cette note étant seulement de mettre en évidence le plus clairement possible les diverses modalités d'action du lessivage dans certains sols de Haute-Volta, il n'est pas possible d'étudier en détail les horizons éluviaux superficiels dont on vient de souligner la complexité. Il est toutefois utile de tenter de faire la liaison entre les mécanismes que l'on a mis en évidence et ces horizons éluviaux, qui sont les plus familiers au pédologue.

En schématisant beaucoup et *en ne tenant compte que des seuls mécanismes envisagés dans cette note*, il est possible de regrouper les horizons éluviaux superficiels en trois catégories :

1. Horizons éluviaux résultant du lessivage modéré et sur courte distance tel qu'on l'a décrit en II-B-2. Ce mécanisme finit nécessairement par appauvrir en argile les horizons supérieurs et enrichir les horizons profonds puisque ces migrations se font de haut en bas. Ce type d'horizon éluvial est caractérisé par une transition progressive entre A_2 et B, tant morphologique que granulométrique, avec augmentation régulière de la teneur en argile (cf. courbe granulométrique pl. II).

2. Horizons éluviaux résultant d'une attaque superficielle d'un horizon B, préalablement différencié sous les effets conjoints de l'altération et du processus précédent, par un lessivage brutal, sans illuviation sous-jacente perceptible. Les produits lessivés sont entraînés soit latéralement vers un aval qui se colmate ou dans un axe d'écoulement si le drainage externe est très bon, soit, par le biais d'une porosité biologique grossière, vers un système $A'_2 - B'_2$ profond. De tels horizons éluviaux sont très sableux et leur contact avec le B sous-jacent, linéaire et sinueux, évoque nettement un front d'attaque qui laisse généralement derrière lui des îlots de B intact (ceux-ci évoluent alors souvent en nodules ferrugineux).

3. Horizons éluviaux résultant de l'invasion remontante d'horizon A'_2 profonds qui ont achevé de lessiver la chaîne de première génération sur tout ou

partie du versant. Ce type d'horizon présente, au moins à sa partie inférieure lorsqu'il est épais, un arrangement du squelette caractéristique (traits laminaires - BOCQUIER 1971). La texture est sableuse, mais le taux d'argile tend à diminuer vers le bas. Il se transforme à sa base et à son aval en horizon illuvial alimenté par le lessivage amont. Il s'amincit donc vers l'aval au profit d'un horizon illuvial remontant.

A titre d'exemple, l'horizon éluvial du sol brun eutrophe de Garango appartient à la première catégorie, celui du sol rouge amont de Diébiga appartient à la seconde. La troisième catégorie existe à l'aval de la toposéquence de Diébiga, là où la carapace a pratiquement disparu (cf. fig. 1 pl. V). Mais interviennent aussi des mécanismes beaucoup plus complexes dont les effets s'ajoutent ou se contrarient selon le cas : entraînement préférentiel de certaines classes granulométriques par l'érosion, homogénéisation ou au contraire différenciation par action biologique, etc. Ainsi a-t-on souligné que les structures d'illuviation de l'horizon B du sol brun eutrophe de Garango sont nettement insuffisantes pour expliquer l'appauvrissement de l'horizon superficiel. Maints autres exemples, ayant trait particulièrement à la première catégorie d'horizons éluviaux superficiels, montrent qu'en ce domaine de nombreuses inconnues subsistent. Il est probable que seules des études quantitatives de dynamique actuelle permettront d'élucider ces problèmes.

5. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Nous venons de décrire deux modes d'action du lessivage dont les manifestations aussi bien macroscopiques que micromorphologiques sont très différentes.

Le premier déplace l'argile (et le fer éventuellement associé) sur de courtes distances, les remaniant presque sur place à l'échelle de l'horizon ou du profil ; il emprunte, tant pour le transport que pour le dépôt, des voies qui lui ont été ouvertes au préalable par d'autres mécanismes tels que l'activité biologique ou les mouvements de gonflement et de retrait ; il respecte chemin faisant, les structures fragiles des matériaux pédologiques qu'il affecte, n'en prenant que ce qu'il peut transporter. Les matériaux ainsi déplacés peuvent être repris puis déposés à nouveau plus bas, ce qui leur permet éventuellement d'effectuer des parcours plus importants par bonds successifs. Ce lessivage, qui reste assez faible dans les toposéquences à sols d'altération, peut finir par mobiliser petit à petit une

fraction importante du plasma (sol rouge amont de Diébiga par exemple). Il tend à appauvrir progressivement en argile les horizons supérieurs et à enrichir les horizons profonds dans les limites de leur porosité disponible. Il est pour le moment difficile à caractériser d'un seul mot aussi nous contenterons nous de l'appeler « lessivage ménagé et progressif ».

Dans son second mode d'action, le lessivage est au contraire brutal. Il détruit instantanément les structures pédologiques fragiles des horizons qu'il affecte, créant une porosité qui lui est propre et réorganisant le squelette dont il modifie la granulométrie en pulvérisant les grains, quartz en particulier, fragilisés par l'altération. Il crée ainsi ses propres structures d'accueil et dépose à sa base ou à son aval les matériaux arrachés aux horizons qu'il grignote. Et cette illuviation présente elle aussi son originalité. Il ne s'agit plus d'un dépôt diffus au cours d'une percolation dans un matériau plus ou moins poreux, mais d'une décantation, d'une sédimentation, au sein d'une nappe perchée piégée par des barrages préexistants mais que l'illuviation vient étanchéiser. Dans certaines conditions, ce mécanisme d'illuviation peut même créer lui-même son propre barrage. Tel est le cas des toposéquences étudiées par BOCQUIER (1971) au Tchad. Du fait de leur mode de formation, ces horizons illuviaux présentent normalement une hydromorphie (pseudo-gley) accentuée. Ils sont le plus souvent de teinte beige ou brun clair à taches ou réseau ocre.

D'autre part ce mode de lessivage ne peut se manifester dans toute son ampleur que s'il se déclenche à la base des horizons qu'il attaque. En effet, s'il démarre au sommet d'un profil, ou bien il ne rencontre latéralement aucun barrage et l'on constate alors un appauvrissement brusque de l'horizon de surface sans illuviation concomitante et il s'agit dans ce cas d'un mécanisme d'éluviation superficiel assez courant (2^e catégorie d'horizons éluviaux superficiels). Ou bien il trouve un barrage et se bloque alors très rapidement sur son propre horizon illuvial.

Ce type de lessivage, très différent du précédent, est également difficile à caractériser brièvement. Une fois précisés ses caractères, on pourrait l'appeler « lessivage érosif » car il détermine à sa base une discontinuité brutale qui recoupe les structures antérieures et s'apparente à une véritable surface d'érosion mécanique et chimique interne au versant. Lors d'un examen rapide on peut d'ailleurs s'y tromper et interpréter cette succession d'horizons comme une stratification. Mais ce qualificatif risque de choquer, aussi utiliserons nous pour le moment l'appellation de lessivage « brutal et total ».

Les conséquences de ces deux modes d'action du lessivage sur le profil textural sont également fort différentes. Ainsi que le soulignait déjà BOCQUIER en 1967, le premier, qu'il assimilait au lessivage vertical, s'accompagne d'une augmentation continue et régulière des taux d'argile. Cette augmentation est attribuable à la fois aux mécanismes superficiels, tels que l'érosion hydrique, et au lessivage proprement dit, pour des parts qui sont à déterminer dans chaque cas. Le colmatage progressif qu'il entraîne fait que l'intensité du lessivage diminue vers le bas (cf. courbe granulométrique pl. II). Le second mode d'action que BOCQUIER attribuait au lessivage oblique provoque une diminution brutale du taux d'argile sous l'horizon qu'il attaque, une décroissance progressive vers le bas dans l'horizon lessivé, une augmentation brusque au sommet de l'horizon illuvial (fig. 3 pl. V).

Malgré ces différences, le lessivage semble dans tous les cas faire intervenir des mécanismes identiques ou tout au moins voisins : mise en suspension d'argile plus ou moins associée au fer, dissolution de produits solubilisables, percolation à travers les horizons... On est alors amené à se demander quel est le déterminisme de ces deux types de lessivage. Bien qu'il sorte du propos de cette note d'en discuter, on donnera les conclusions provisoires des travaux en cours. Le lessivage brutal et total ne se manifeste que dans des horizons présentant des structures qui lui sont favorables. Et ces structures sont caractérisées par des variations importantes de porosité et/ou de cohésion ainsi que par l'existence d'une charpente qui préserve du tassement la porosité créée par le lessivage lui-même. Répondent à ces conditions les cuirasses anciennes (LEPRUN, 1971), les carapaces ferrugineuses, les horizons pédologiques issus de roches à gros grain, etc. Lorsque ces structures n'existent pas, et c'est en particulier le cas des sols plus ou moins vertiques des toposéquences à sols d'altération, la percolation est trop lente pour acquérir un pouvoir « érosif » suffisant et, quand bien même elle serait assez rapide pour déclencher un lessivage total, en l'absence de charpente ferrugineuse ou graveleuse, la relative fluidité des matériaux montmorillonitiques saturés d'eau entraînerait le colmatage rapide de l'horizon lessivé naissant.

Si le lessivage « ménagé et progressif » paraît être le processus le plus banal de migration de l'argile dans les sols, le lessivage « brutal et total » ne constitue pas une curiosité propre à la Haute-Volta ou au Tchad. On l'a en effet observé en lame mince dans des sols sur péridotite de Nouvelle Calédonie étudiés par TRESQUES, dans des profils cuirassés de moyenne Côte d'Ivoire étudiés par GRANDIN, on l'a pressenti

enfin dans certains sols de type fersiallitique du midi de la France. Ses manifestations présentent toutefois entre ces différents cas des variations suffisamment accentuées pour montrer qu'il reste des nuances importantes à mettre en évidence dans son mode d'action. Les conditions nécessaires à son déclenchement puis à son entretien sont probablement réunies

dans d'autres lieux encore, et il est vraisemblable que ces conditions, qui peuvent être climatiques, géomorphologiques, pétrographiques ou historiques, seront de mieux en mieux cernées à mesure que de nouveaux exemples seront découverts.

Manuscrit déposé le 24 octobre 1972.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (B.L.), WHITESIDE (E.P.), 1954. — The characteristics of some soils on tills of Cary and Mankato age in Michigan. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 18, n° 2, pp. 203-206.
- BOCQUIER (G.), 1967. — Introduction à quelques problèmes relatifs au lessivage dans les sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM. Réunion annuelle des Pédologues, 1967, Bondy, 11 p. *multigr.*
- BOCQUIER (G.), PAQUET (H.), MILLOT (G.), 1970. — Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite. *C.R. Acad. Sc. Paris*, sér. D, t. 270, pp. 460-463.
- BOCQUIER (G.), 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sc. Strasbourg. ORSTOM, Paris, 364 p. *multigr.*
- BOULET (R.) 1971. — Mise en évidence de deux types fondamentaux de toposéquences développées sur matériaux riches en minéraux altérables issus de granite ou de migmatites en Haute-Volta orientale. ORSTOM, *Bull. Liais. Thème B*, n° 2, pp. 13-38.
- BOULET (R.), PAQUET (H.), 1972. — Deux voies différentes de la pédogenèse en Haute-Volta, convergence finale vers la montmorillonite. *C.R. Acad. Sc.*, sér. D, t. 275 n° 12, pp. 1203-1206.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley and Sons. New York, London, Sydney, XIV, 470 p.
- ESWARAN (H.), 1968. — Point-count analysis as applied to soil micromorphology. *Pédologie*, Ghent, XVIII, 2, pp. 238-252.
- FLACH (K.W.), CADY (J.G.), NETTLETON (W.D.), 1968. — Pedogenic alteration of highly weathered parent materials. *Int. Congress Soil Sci.*, 9, 1968, Adelaïde, vol. IV, pp. 343-351.
- GROSSMAN (R.B.), FEHRENBACHER (J.B.), BEAVERS (A.H.), 1959. — Fragipan soils of Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 23, pp. 65-75.
- LEPRUN (J.-C.), 1971. — Premières observations sur des toposéquences à amont cuirassé en Haute-Volta orientale : rôle de la pédogenèse dans la destruction des cuirasses et le façonnement du modelé. ORSTOM, *Bull. Liais.*, Thème B, n° 2, pp. 13-38.
- MCKEAGUE (J.A.), MACDOUGALL (J.I.), LANGMAID (K.K.), BOURBEAU (G.A.), 1969. — Macro- and micromorphology of ten reddish brown soils from the atlantic provinces. *Canad. J. Soil Sci.*, vol. 49, pp. 53-63.
- NETTLETON (W.D.), FLASH (K.W.), BRASHER (B.R.), 1969. — Argillic horizons without clay skins. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.*, vol. 33, pp. 121-125.