

LA GÉOMORPHOLOGIE ET LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS EN HAUTE-VOLTA SEPTENTRIONALE

R. BOULET*

RÉSUMÉ

En Haute-Volta septentrionale, cinq surfaces d'érosion jalonnent les diverses étapes de la formation du modelé actuel. Les quatre premières surfaces sont cuirassées et fossilisent un manteau d'altération principalement hérité des périodes humides anté-quaternaires. Chacun de ces niveaux cuirassés présente une remarquable unité de faciès, cependant, leur organisation dans le paysage et leur degré de conservation diffèrent selon les grandes régions géologiques. La dernière surface, dépourvue de niveau induré important, est soumise aux agents morphogénétiques et continue d'évoluer de nos jours ; elle est seule à porter des sols pouvant être épais et différenciés ; elle est installée soit sur le matériau kaolinique ancien, soit, lorsqu'elle a atteint le front d'altération, sur des matériaux riches en minéraux altérables ; elle porte dans le premier cas des sols ferrugineux tropicaux lessivés, dans le second cas des sols à fraction argileuse comportant de la montmorillonite (sols bruns eutrophes, solonetz). L'extrême aplanissement du modelé dans sa partie fonctionnelle (pentes inférieures à 1%), favorisant le confinement, induit la formation de montmorillonite dans tous les milieux d'altération silicatés riches en bases.

ABSTRACT

In the northern Upper Volta, five erosion surfaces are the outliers of the varied stages of the present relief formation. The first four surfaces are fossilised by ferruginous or bauxitic crusts and overlay a kaolinic weathering material descended from antequaternary humid periods. Each of the crusted level shows a noteworthy uniformity of facies, nevertheless, their arrangement in the landscape and their degree of conservation differ according to the large geological regions. The last surface, without important indurated level, is subject to morphogenetic agencies and continues to evolve nowadays ; it is the only surface which support deep and developed soils ; it lies either on the old kaolinic material or, when it has reached the weathering front, on materials rich in weatherable minerals ; it support in the first case ferruginous tropical soils and, in the second case, soils with montmorillonitic clays (eutrophic brown soils, solonetz). The extreme smoothness of the relief in its functional part (slopes below to 1 %) is propitious for the confinement and induces the formation of montmorillonite in all the silicated weathering medium which are rich in bases.

* Centre ORSTOM de Dakar.

PLAN

INTRODUCTION

I. GÉOMORPHOLOGIE

1. Les surfaces successives
 - 1.1. Les surfaces à cuirasse « ancienne »
 - 1.2. Les surfaces à cuirasse ferrugineuse conglomératique
 - 1.3. La surface fonctionnelle
2. Les modelés
3. Essai de corrélation avec la chronologie de P. MICHEL

II. LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

1. Les lithosols et sols peu évolués sur cuirasse
2. Les sols sur matériau d'altération kaolinique ancien
3. Les sols sur schistes argileux birrimiens
4. Les sols sur matériau riche en minéraux altérables
 - 4.1. Les sols bruns eutrophes vertiques
 - 4.2. Les sols bruns eutrophes hydromorphes
 - 4.3. Les solonetz

III. CONCLUSION

INTRODUCTION

La cartographie pédologique à 1/500 000 du Nord de la Haute-Volta, entreprise en 1966, révélait la grande diversité des sols de cette région ainsi que l'importante influence, non seulement des facteurs climatiques et géologiques, mais aussi de l'héritage géomorphologique et pédologique des climats anciens. L'objet de cette note est de préciser le rôle de cet héritage dans la pédogenèse à la lumière de l'étude des étapes successives de formation du modelé actuel, des divers aspects de ce dernier, ainsi que des principaux types de sols qui s'y développent. Nous avons exclu les formations éoliennes qui prolongent celles du Niger où elles ont été étudiées par GAVAUD (1968). Nous rappellerons succinctement ci-dessous les principales caractéristiques climatiques et géologiques de cette région (BOULET 1968).

CLIMAT

La région étudiée est située en bordure nord de la zone climatique sahélo-soudanaise d'AUBREVILLE (1949). La pluviométrie varie de 450 mm au nord-est à 800 mm au sud-ouest, répartie en une saison des pluies de 4 à 5 mois avec un maximum d'août. La température moyenne est élevée (28,4°), avec une amplitude thermique forte (7 à 10°). L'humidité atmosphérique, faible en saison sèche, est inférieure à 50 % pendant 6 à 7 mois.

GÉOLOGIE

Le socle affleure sur la presque totalité de la Haute-Volta septentrionale. Il n'est recouvert par des formations sédimentaires que sur une étroite bande longeant la frontière du Mali.

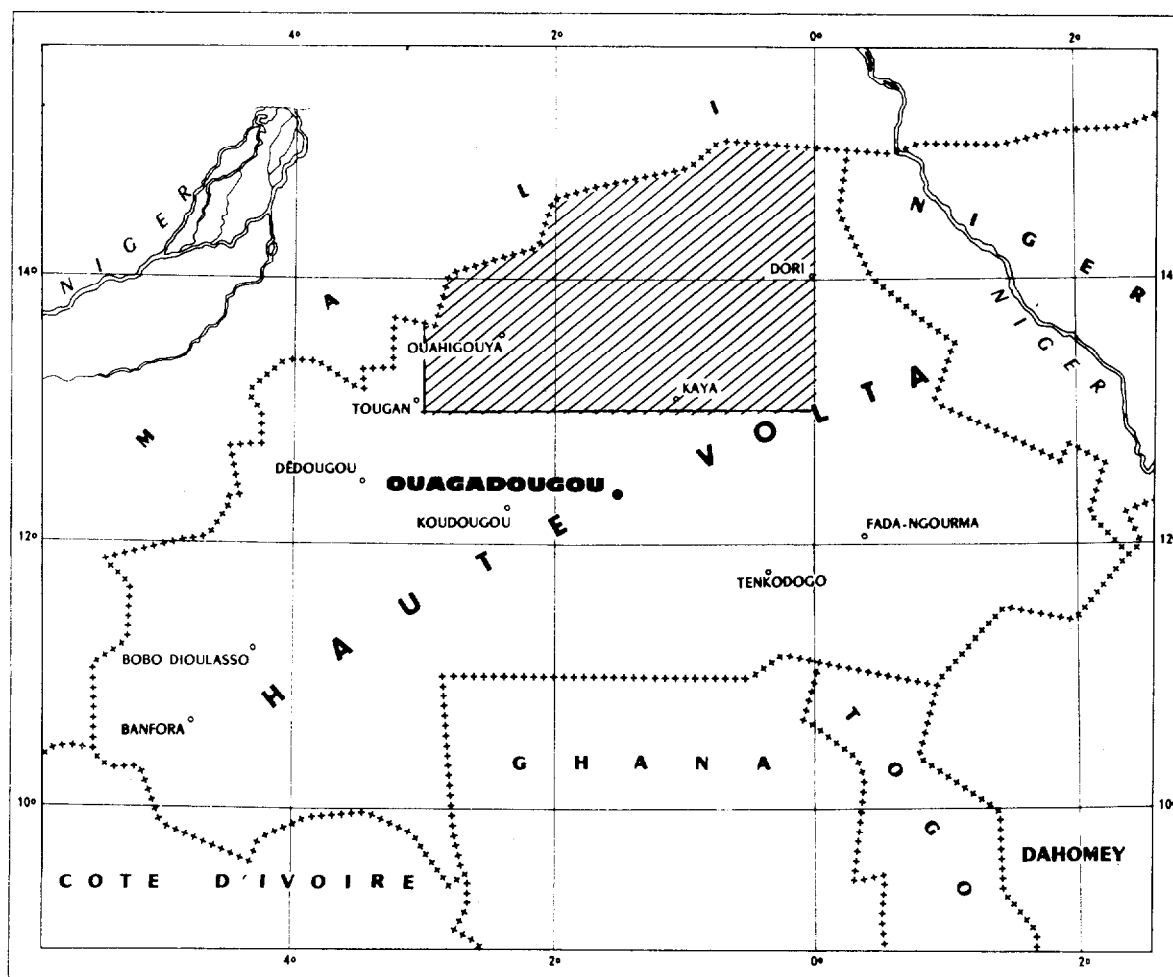


FIG. 1. — Carte de situation

Le socle birrimien comporte des formations métamorphiques, des granites, ainsi que quelques massifs de plagioclisolites. Au sein des formations métamorphiques, DUCELLIER (1963) distingue principalement des schistes où dominent les shales et des roches vertes basiques, à composition essentiellement gabbroïque, dont les plus transformées sont des schistes à épidote et (ou) à amphiboles. Les granites sont principalement calcoalcalins ; les granites à biotite dominent, mais les granites à amphiboles sont également fréquents. Ce sont en fait bien souvent des granites migmatitiques ou même des migmatites, ce qui implique des variations pétrographiques rapides.

Les formations sédimentaires infracambriennes comportent une alternance de schistes, souvent à nodules calcaires, de jaspes, de quartzites, de dolomies et calcaires. Le Continental Terminal, argilo-sableux (kaolinite), les recouvre vers l'ouest.

1. GÉOMORPHOLOGIE

De prime abord, le nord de la Haute-Volta présente une topographie faiblement ondulée, dominée par des buttes témoin tabulaires, d'où émergent des régions de collines associées aux formations birrimiennes et aux massifs, plus rares, de plagioclisolites.

L'armature du relief est principalement constituée par des cuirasses, découvertes ou voilées d'une couche détritique, organisées en plans inclinés rayonnant autour des collines rocheuses birrimiennes, ou plus discrètes, mais non moins largement répandues, dans les régions granitiques ou sédimentaires. Vers le nord, elles sont en partie masquées par des formations sableuses éoliennes fixées. Seul, l'Oudalan oriental (région nord de Dori) a été presque intégralement débarrassé de ses formations cuirassées et de leur manteau d'altération.

A l'échelle de l'interfluve, ces cuirasses se répartissent généralement en plusieurs niveaux séparés par des dénivelées d'importance variable. Les niveaux supérieurs subsistent sous forme de buttes témoin limitées par des versants très inclinés parsemés d'éboulis. Le niveau inférieur, de beaucoup le plus étendu, couvre encore une grande partie du modelé actuel.

L'observation des phénomènes de cuirassement actuels ou récents au sein des profils pédologiques amène à admettre que ces niveaux sont les témoins d'anciennes surfaces dont les sols ont subi un cuirassement, partiel ou généralisé, et qui ont ensuite été décapées et entaillées par l'érosion. Leur étagement, souligné par de fortes discontinuités topographiques, permet de dénombrer plusieurs surfaces chronologiquement distinctes, dont les témoins s'amenuisent à mesure que l'on remonte dans le temps.

Les cuirasses appartenant à un même niveau présentent une remarquable constance de faciès. Elles sont ainsi caractérisées non seulement par leur position dans le modelé, mais par leur faciès pétrographique et morphologique et ces deux caractères permettent les corrélations et les datations relatives.

La cuirasse inférieure est entaillée par une surface, creusée dans les matériaux meubles sous-jacents, qui, n'étant pas protégée par une formation indurée, est soumise à l'action des agents morphogénétiques et continue d'évoluer de nos jours (surface fonctionnelle).

Ces diverses surfaces ont été étudiées en plusieurs points d'Afrique occidentale par des Géomorphologues (VOGT et MICHEL, 1959, 1965) et l'on tentera d'établir la correspondance entre nos observations et celles de ces auteurs. Nous considérerons tout d'abord les différentes surfaces qui se succèdent dans le paysage en commençant par les plus anciennes, puis nous verrons comment ces surfaces s'agencent dans les divers types de modelés.

restes de cette cuirasse, à une altitude remarquablement constante. Assez loin vers l'ouest (3° W), elle s'abaisse notablement sous l'effet de la subsidence qui affecta la vallée du Sourou (LEPRUN 1969).

Lorsqu'elle est intacte, cette cuirasse se présente sous la forme d'une dalle bauxitique très massive, blanche à plages roses, montrant localement une structure pisolitique, épaisse de plus de deux mètres (sa base est masquée par l'éboulis). A son sommet et sur un mètre, cette dalle est recouverte par une autre cuirasse, ferrugineuse, un peu démantelée, riche en éléments conglomératiques bauxitiques issus du niveau sous-jacent, et dont le faciès est identique à celui de la cuirasse ferrugineuse pisolitique décrite au paragraphe suivant. Cette dernière cuirasse est postérieure à une période d'érosion qui affecta la dalle bauxitique puisqu'elle en reprend des fragments visiblement détritiques ; sa formation, au sein d'un manteau meuble qui fut probablement épais, a nécessité une source de débris plus haute qu'elle et qui a disparu.

Selon J.C. PION, qui a visité systématiquement les buttes témoin de la région de Kaya, la cuirasse bauxitique est rarement intacte ; elle est plus souvent fragmentée en gros blocs, cimentés par la cuirasse pisolitique postérieure. Ce démantèlement s'est probablement effectué quasi sur place, sans modification importante de cote, puisque les témoins, intacts ou non, sont tous à des niveaux très voisins.

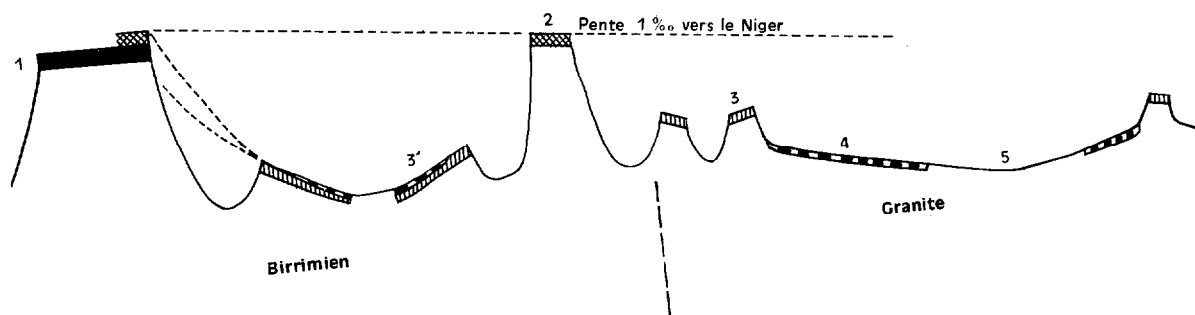


FIG. 3. — Coupe schématique et synthétique des diverses surfaces

1. cuirasse bauxitique
2. cuirasse ferrugineuse pisolitique
3. cuirasse ferrugineuse conglomératique supérieure
- 3'. cuirasse polygénique
4. cuirasse conglomératique inférieure
5. surface fonctionnelle

1.1.1.2. — LA CUIRASSE FERRUGINEUSE PISOLITIQUE

Les témoins de la cuirasse suivante ne sont pas très nombreux et eux aussi exclusivement localisés sur roche basique ou schisteuse. Ils sont constitués d'une cuirasse épaisse à nombreux horizons, passant à la roche saine par l'intermédiaire d'une lithomarge kaolinique. L'appellation de cuirasse pisolitique est une terminologie commode, mais ne caractérise en fait qu'un seul horizon de la formation indurée, le plus superficiel. Ce sont principalement les débris de cet horizon, très caractéristiques, que l'on retrouve

dans les niveaux suivants. L'un des exemples les plus complets a été observé vers la frontière du Mali (14° 41' N - 0° 54' W) où il coiffe une haute colline de gabbro (440 m). On observe de haut en bas :

- 0-2 m : Cuirasse très dure à pisolites rouge violacé, rondes ou ovoïdes (0,3 à 1 cm), compactes, à mince cortex brun clair, emballées dans un ciment violacé à fin canaux (1-2 mm) revêtus d'un mince cortex blanc, comblés ou non par une substance terreuse rouge. Vers la base, les pisolites se font moins nombreuses et l'ensemble prend un aspect scoriacé mais reste compact (petits pores peu abondants irrégulièrement répartis).
- 2-4 m : Horizon à gros canaux ($\varnothing = 1$ à 10 cm) à cortex blanc ou beige, vides ou comblés d'argile rougeâtre, orientés verticalement, creusés dans un ciment à dominance rouge violacé mais finement hétérogène : petites stries blanches, passées chamois, plages noirâtres. L'ensemble est dur, mais fragmenté sur place en gros blocs imbriqués.
- 4-7 m : Horizon carapacé à ciment rouge assez tendre, argileux, compact sauf quelques canaux anastomosés.
- 7-9 m : Horizon constitué de grosses pisolites (1-5 cm), à forme mamelonnée, engrenées les unes dans les autres, très dures, à ciment rouge violacé compact, mince cortex blanc, emballées dans un matériau argileux rouge peu abondant.
- 9-12 m : Horizon constitué de grosses tubulures (1 à 5 cm de diamètre), engrenées, orientées verticalement, à ramification dichotomique, à fine lumière centrale (1 mm), formées d'un ciment très dur, rouge violacé, cortex blanchâtre. La matrice argileuse rouge a été en grande partie déblayée par le ruissellement.
- 12 m : Passage par l'intermédiaire d'une carapace à un matériau d'altération kaolinique rouge à trainées blanches et ocres, tendre. La trace des diaclases est conservée. Vingt mètres plus bas apparaissent des blocs de gabbro d'aspect sain.

Certains horizons peuvent manquer, en particulier celui à tubulures dichotomiques, mais, chacun d'eux étant très spécifique de cette cuirasse (excepté les niveaux carapacés), on n'hésite jamais à la reconnaître. Fait à souligner, on ne trouvera plus, autrement que sous forme détritique, dans les formations indurées postérieures, de ciments ferrugineux ayant la teinte, la dureté, la compacité et l'homogénéité de celui qui constitue les éléments les plus résistants de cette cuirasse et, en particulier, les pisolites.

Les restes de cette cuirasse ont été retrouvés, avec une fréquence variable, dans de nombreuses régions d'Afrique Occidentale entre 16° de longitude Ouest et 6° de longitude Est. On la connaît au Niger où elle recouvre, plus ou moins démantelée, les plateaux du Continental Terminal et coiffe de nombreuses buttes témoin sur le socle. Elle existe au Sénégal où elle succède également à une cuirasse bauxitique. Lors d'une tournée en Côte d'Ivoire sous la direction de DELVIGNE et GRANDIN, on a constaté la remarquable analogie de faciès entre les horizons les plus caractéristiques de la cuirasse pisolitique et ceux de la cuirasse du niveau 300 de ces auteurs (1969), ce qui conférerait également à cette formation une très grande extension en latitude (de 15° à 5° N). La rareté de ses témoins en Haute-Volta septentrionale pourrait suggérer que cette surface cuirassée n'y exista qu'en quelques points. La présence très générale de ses débris, bien reconnaissables, dans les cuirasses postérieures, indique au contraire qu'elle a été représentée à peu près partout mais s'est mal conservée.

La cuirasse pisolitique culmine à proximité des reliques de la cuirasse bauxitique (440 m), puis s'abaisse lentement vers l'Est avec une pente voisine de 1 ‰. Elle apparaît donc comme une surface de raccordement reliant les sommets bauxitiques, qui constituent depuis cette époque une zone de partage des eaux, à la gouttière du Niger. Cette surface n'était pas plane, mais présentait des ondulations de faible

amplitude selon la direction méridienne (la cote de ses témoins s'élève vers le Sud). L'épaisseur de la lithomarge kaolinique, maximum vers 1° W, diminue également vers l'Est, ce qui évoque une troncature du manteau d'altération antérieur, qui s'est peu approfondi durant l'évolution de cette surface.

1.1.2. Les surfaces à cuirasse ferrugineuse conglomératique

Les surfaces cuirassées postérieures aux cuirasses anciennes subsistent sur de plus vastes étendues, ce qui permet de mieux imaginer les modelés qu'elles ont en partie fossilisés. L'examen des photographies aériennes, qui en donnent une vue d'ensemble, montre que ces modelés différaient peu de l'actuel. Les pentes et la largeur des interfluves y sont analogues (pente de 0,5 à 2 % en région granitique, plus variable et atteignant 8 % dans les régions de collines birrimiennes). Leur forme très plane, la faiblesse générale de leur pente, la présence de nappes détritiques continues en font de véritables glacis.

Deux niveaux se distinguent à la fois par leur cote relative, par leur faciès.

1.1.2.1. — LA CUIRASSE CONGLOMÉRATIQUE SUPÉRIEURE

Elle domine, sur un même interfluve, la cuirasse suivante et constitue des buttes témoin pouvant être étendues. Elle est caractérisée par son épaisseur (3-4 m), sa richesse en éléments détritiques issus de la cuirasse pisolitique ancienne et la taille de ces derniers. Elle repose également sur un épais manteau d'altération. On y distingue plusieurs horizons (exemple situé en 13°48' N - 1°17' W, cote 331 m) :

- 0-2 m : Cuirasse massive fortement conglomératique, à galets arrondis de 2 à 10 cm. Ces galets sont des fragments de la cuirasse ferrugineuse ancienne (principalement débris de l'horizon pisolitique). Le ciment emballant ces éléments détritiques est rouge clair à zones blanches et ocres, assez dur, mais nettement moins résistant que les galets. Quelques canaux à cortex brun $\varnothing = 1$ cm.
- 2-3 m : Disparition des éléments conglomératiques sur 10 à 20 cm. Cuirasse assez dure, massive, quelques canaux fins (0,5 cm) à cortex brun ; ciment ocre à passées brunes englobant des plages rouges à limite linéaire, plus indurées. Quelques poches conglomératiques vers 3 m.
- 3-5 m : Carapace à gros canaux (\varnothing 3 cm), sans cortex, comblés d'un matériau argileux rouge clair. Ciment à teinte dominante ocre, à taches blanches. Passe vers la base à un matériau d'altération kaolinique non organisé, pulvérulent, en partie masqué par l'éboulis.

1.1.2.2. — LA CUIRASSE CONGLOMÉRATIQUE INFÉRIEURE

Elle contraste avec la précédente par son épaisseur plus faible (inférieure ou égale à 1 m), la petite taille et la moindre abondance de ses éléments détritiques.

La dalle ferrugineuse, seul horizon caractéristique, est constituée de ciment brun ocre ou brun rouge, à taches ocres et noires, plus foncé et plus dur sur roches basiques, généralement pas très induré bien que la dalle ait une cohésion d'ensemble forte. Ce ciment est traversé de canaux fins (2 à 5 mm), à cortex brun, parfois orientés horizontalement et donnant un aspect feuilleté. Il englobe des éléments détritiques que nous assimilons, par leur exacte ressemblance, aux pisolites de la cuirasse ferrugineuse ancienne ; leur taille est inférieure au cm.

Cette dalle repose le plus souvent sur une carapace ferruginisée et tachetée, avec ou sans canaux, pouvant être conglomératique à sa partie supérieure, peu indurée. La carapace est toujours concordante

avec la dalle cuirassée et constitue l'un des horizons du profil. Son épaisseur est de l'ordre du mètre et elle passe vers le bas à un matériau d'altération kaolinique. Cette carapace peut toutefois être absente et la cuirasse reposer sur des matériaux arénacés riches en minéraux peu altérés (feldspaths) à taches réticulées ocres non ou peu indurées. Plus au Sud, elle pourrait même reposer sur du granite sain (KALOGA 1966).

1.1.2.3. — INTERPRÉTATION

A l'analogie du modelé entre les surfaces à cuirasse conglomératique et la surface fonctionnelle suivante s'ajoute celle du mode de mise en place des matériaux. Leur origine détritique, au moins en surface, se manifeste par la présence d'abondants débris de la cuirasse ferrugineuse ancienne. La dimension de ces débris reste du même ordre de grandeur dans tous les témoins d'un même niveau, et nous attribuons leur diminution de taille d'un niveau à l'autre ainsi que le passage d'éléments complexes (débris de cuirasse pisolitique souvent présents dans le niveau supérieur) à des éléments simples (pisolites) au nombre de remaniements plus qu'aux distances de transport. Ces pisolites sont les seuls éléments qui ont résisté, grâce à leur grande dureté, aux deux cycles de cuirassement et aux trois phases de démantèlement postérieurs à leur formation. On les retrouve en effet dans les niveaux gravillonnaires de la surface fonctionnelle où ils forment une classe d'éléments plus résistants que le reste du matériel détritique. Ils constituent d'ailleurs un précieux critère pour déceler l'origine au moins partiellement allochtone de ces niveaux gravillonnaires.

La cuirasse supérieure surmonte toujours une lithomarge kaolinique assez épaisse à aspect et structure ferrallitique. Bien que l'horizon cuirassé se soit mis en place au sein d'une nappe détritique issue du démantèlement de la surface précédente, ce qui implique une troncature du manteau d'altération sous-jacent, on peut admettre que, du fait de la conservation des caractères ferrallitiques du matériau sous-jacent, la cuirasse conglomératique supérieure s'est formée au sein d'un sol ferrallitique.

La cuirasse inférieure par contre repose, sauf exceptions mentionnées ci-dessus, sur un matériau kaolinique à taches réticulées ocres, à structure polyédrique grossière, non friable, qui évoque nettement un horizon de pseudogley, ce qui est souligné plus au Sud par KALOGA (1966). Comme ce matériau peut être très épais (plusieurs mètres), nous ne pensons pas qu'il s'agisse là d'un type d'altération original, mais plutôt d'une modification des propriétés du matériau ferrallitique antérieur par des conditions pédoclimatiques nouvelles et en particulier l'engorgement. En effet, on a déjà indiqué que la cuirasse inférieure peut reposer sur divers niveaux du manteau d'altération ancien et, en particulier, sur sa base arénacée (sur granite). Alors, la persistance de minéraux altérables abondants suggère qu'au cours de l'évolution de cette surface l'altération ne fut pas très active et probablement incapable de constituer plusieurs mètres de kaolinite. Ce ne sont là toutefois qu'hypothèses que seule pourra infirmer ou confirmer la comparaison des séquences d'altération sous les diverses surfaces.

1.1.3. La surface fonctionnelle

Les surfaces précédentes apparaissent comme des éléments géomorphologiquement figés dont la seule évolution possible consiste en une destruction dont l'actualité même est douteuse. En effet, il est fréquent de voir la cuirasse inférieure atteindre la base de l'éboulis des buttes témoin de la cuirasse conglomératique supérieure, ce qui indique que cette dernière n'a pas ou peu reculé depuis l'évolution de la surface cuirassée inférieure. De même, cette dernière cuirasse forme très rarement une corniche dominant la surface qui lui fait suite ; elle est le plus souvent en parfaite continuité avec elle et ne montre pas trace de démantèlement actuel. Seule, la surface entaillant la surface conglomératique inférieure est actuellement fonctionnelle car formée de matériaux meubles, sensibles aux agents morphogénétiques. Elle est également seule à porter des sols pouvant être épais et évolués.

Les surfaces cuirassées étaient creusées dans le manteau d'altération kaolinique que l'on peut estimer hérité des longues périodes humides qui ont vu la formation des énormes cuirasses anciennes.

La surface fonctionnelle peut également reposer sur un niveau quelconque de ce manteau, mais elle atteint fréquemment la proximité de la roche saine où la pédogenèse est alors, sur roches métamorphiques basiques ou cristallines, très différente des pédogenèses passées. Ceci détermine la dissociation de deux grands ensembles de sols : ceux développés sur le matériau d'altération kaolinique ancien et ceux qui ont évolué à partir de matériaux frais, riches en minéraux altérables.

La mise en place des matériaux de la surface fonctionnelle résulte de processus successifs d'érosion et d'épandage complexes, liés aux fluctuations climatiques du Quaternaire récent. La présence quasi constante, du moins dans les matériaux kaoliniques, de niveaux gravillonnaires détritiques matérialise ces remaniements. Les mêmes variations climatiques sont responsables de la mise en place, le long des vallées, de remblais sablo-argileux, qui ne sont toutefois largement développés qu'aux abords des grandes vallées. Dans les petits axes de drainage, il est difficile de les dissocier du bas des glaciers dont ils ont tiré leur substance.

1.2. LES MODELÉS

Alors que les cuirasses anciennes ne jouent, de par leur faible extension, qu'un rôle limité dans la topographie, les cuirasses suivantes et particulièrement la dernière déterminent souvent par leur propre modelé l'aspect du paysage des diverses régions naturelles. C'est également par rapport à elles que s'organisent les grandes unités de sols et leur étude est de ce fait importante pour la compréhension de la répartition de ces sols

La nature des roches et, en particulier leur richesse en minéraux ferromagnésiens ou en oxyde de fer (schistes) a joué un rôle déterminant dans l'élaboration des cuirasses, leur extension, leur épaisseur, leur dureté. Les divers types de modelé paraissent de ce fait pouvoir être reliés à la nature pétrographique du substratum. Ceci n'est vrai qu'en partie et l'on n'a pas toujours constaté la coïncidence, même approximative entre les limites géologiques des cartes à petite échelle disponibles et celles du modelé. Plusieurs raisons peuvent en être la cause : imprécision inévitable des cartes géologiques à petite échelle dans les régions fortement cuirassées, mais aussi connaissance insuffisante des mécanismes de formation des cuirasses en relation avec la roche mère. Il n'en reste pas moins commode de relier le modelé aux grandes régions géologiques, quitte à exposer les variantes et les exceptions que l'on n'a pu encore interpréter.

1.2.1. Le modelé des régions granitiques

La cuirasse conglomératique supérieure subsiste à l'état de buttes témoin soit monoclinales et constituées de lambeaux de glaciers, soit, lorsqu'elles sont très vastes, conservant la forme de petits bassins versants. Dans les deux cas, ce sont les parties basses du modelé qui se sont maintenues, probablement parce que ces cuirasses étaient plus épaisses en bas de pente, réduites ou inexistantes en haut de pente. La situation de ces buttes au sommet des interfluves actuels ou à leur proximité implique donc une inversion de relief et un déplacement des axes de drainage d'un modelé à l'autre.

La cuirasse inférieure couvre de vastes étendues et occupe très généralement les hauts d'interfluve où elle forme des plateaux à peine ondulés. Il est fréquent de rouler sur ces plateaux pendant plusieurs kilomètres et certains interfluves en sont encore complètement couverts, ce qui suggère que ce cuirassement fut quasi continu.

On notera par ailleurs qu'il n'est pas possible d'affecter à ces deux niveaux de cote absolue spécifique,

même à l'échelle de la petite région. En effet, d'un interfluve à l'autre, le second peut dominer le premier ou vice versa selon le degré d'enfoncement des thalwegs (fig. 4).

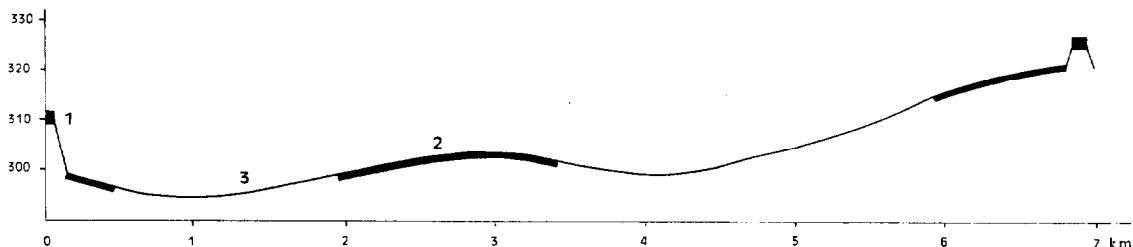


FIG. 4. — Modelé des régions granitiques

1. cuirasse conglomératique supérieure
2. cuirasse conglomératique inférieure
3. surface fonctionnelle

La surface fonctionnelle est très souvent en continuité de pente avec la cuirasse conglomératique inférieure et l'on passe généralement de l'une à l'autre sans décrochement. De ce fait, en l'absence de coupe, on hésite souvent à placer avec précision la limite de la surface cuirassée, les recouvrements superficiels de la cuirasse inférieure et du haut de la surface fonctionnelle étant identiques (gravillonnaires).

Le réseau de drainage présente une maille très lâche, sans forme définie, les interfluves sont larges (plusieurs km), les dénivelées totales faibles (15 à 20 m). Les thalwegs sont peu incisés avec des dépôts alluviaux très étroits et souvent discontinus.

L'un des traits caractéristiques de ces paysages est la faiblesse générale des pentes, le plus souvent inférieures à 1 %, ne dépassant jamais 2 % sauf immédiatement au pied des corniches cuirassées. Ce n'est que beaucoup plus au Sud, vers 12° de latitude Nord, que se développent des modelés à pente plus forte, atteignant 3 %, différence qui peut sembler ténue, mais dont le rôle pédogénétique apparaît dès maintenant d'après les études en cours, comme très important.

Il résulte de cet ensemble un modelé assez confus d'où n'émergent avec quelque vigueur que les buttes témoin de la cuirasse conglomératique supérieure.

1.2.2. Le modelé des régions schisteuses (schistes argileux)

Le modelé des régions schisteuses est plus varié que celui des régions granitiques et l'on peut distinguer deux types principaux dont la limite coïncide approximativement avec le méridien 1°40' W, sans que l'on ait décelé la raison de cette différenciation.

A l'est, le modelé diffère peu de celui que l'on observe sur granite ; la forme, l'extension, l'étagement des cuirasses y sont les mêmes. Cependant, au versant fonctionnel, gravillonnaire ou voilé de sables éoliens, fait constamment suite une plaine installée sur le matériau d'altération des schistes non ou peu remanié. Cette plaine, large de quelques centaines de mètres à plus de 2 km, porte des sols profonds et donne une forte impression d'homogénéité. Vers le nord, la cuirasse inférieure prend de plus en plus d'extension et, au-delà du parallèle 14°20' N, tend à envahir l'ensemble du paysage.

A l'Ouest au contraire, le vaste massif schisteux de Ouahigouya présente un aspect paysagique très homogène et original. Il est caractérisé par la grande extension des cuirasses et leur continuité. On a souvent

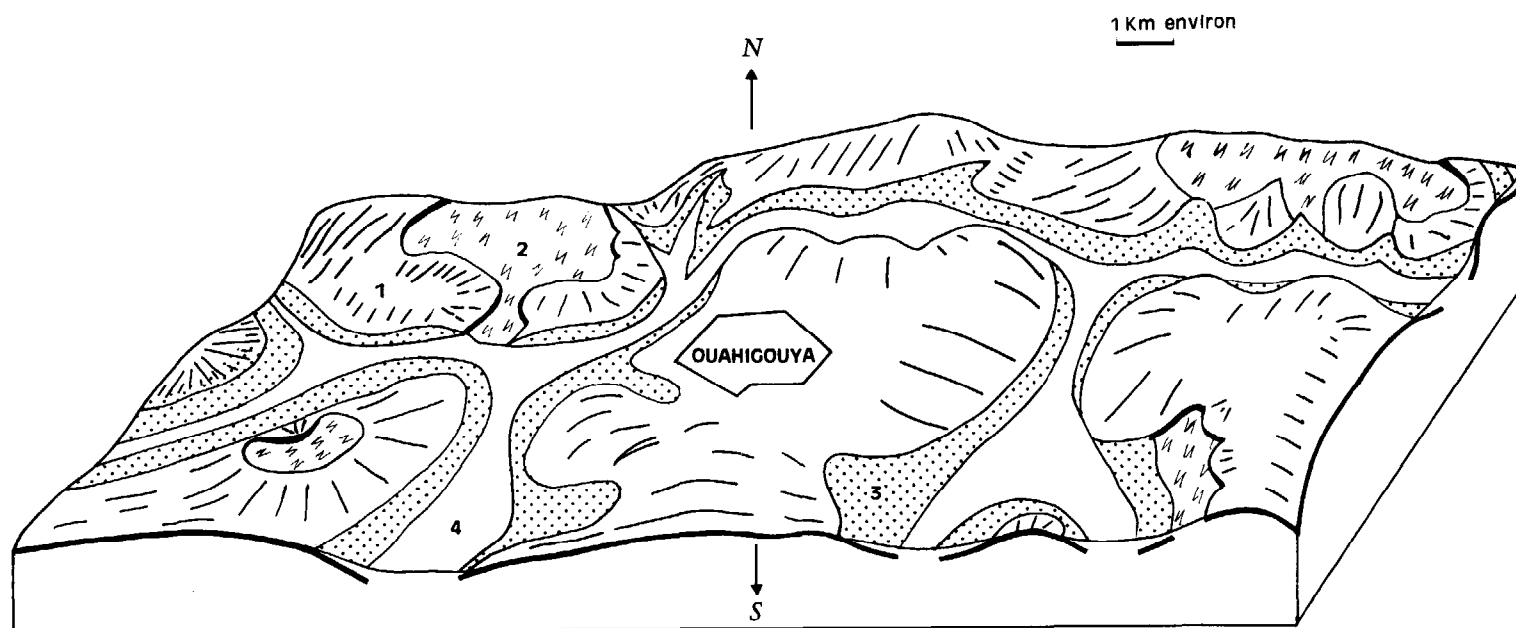


FIG. 5. — Modelé des régions schisteuses occidentales

1. cuirasse dénudée ou à mince recouvrement gravillonnaire
2. fenêtre dans la cuirasse
3. recouvrement sablo-argileux
4. plaine centrale des vallées

l'impression que les modelés anciens se sont presque intégralement conservés, à peine retouchés par la dernière entaille. La cuirasse des interfluves plonge vers les thalwegs sous un recouvrement sablo-argileux en biseau d'origine éolienne probable, mais reste présente à faible profondeur (1 à 2 m) jusqu'aux abords des plaines étroites qui occupent le centre des vallées (fig. 5). La cuirasse est fréquemment trouée en ses points hauts de fenêtres encombrées de débris ferrugineux et taillées dans les schistes ou leur matériau d'altération. Ces fenêtres débouchent généralement sur les vallées par un exutoire qui aboutit à la plaine centrale.

Il est ici malaisé de distinguer plusieurs phases de cuirassement du fait de la continuité des surfaces cuirassées. Deux faits contribuent cependant à confirmer leur existence :

1° Le faciès de la cuirasse conglomératique supérieure, qui existe en haut d'interfluve, fait place vers la mi-pente, au moins superficiellement, au faciès de la cuirasse inférieure qui semble s'être installée sur la même surface à la suite d'un creusement négligeable. L'ensemble constituerait donc un glacis poly-génique.

2° Dans certains cas, une cuesta marquant une entaille plus vigoureuse de la cuirasse à faciès conglomératique supérieur en haut d'interfluve est bordée, sur le glacis qui lui fait suite, par une cuirasse de faciès inférieur, disposition qui traduit bien deux phases de cuirassement.

La surface fonctionnelle est constituée par les fenêtres, les bas de glacis à recouvrement sablo-argileux (eux-mêmes installés sur une surface plus ancienne), la plaine enfin, très peu entaillée par le lit mineur et qui paraît en cours de remblaiement alluvio-colluvial.

Bien que présentant son développement maximum sur schistes argileux, ce modelé déborde parfois assez largement leur limite tracée sur la carte géologique ; il affecte, pour des raisons non élucidées, de petites régions au cœur des massifs granitiques.

1.2.3. Le modelé des régions de collines birrimiennes

Ces régions, qui rompent la monotonie des paysages granitiques ou schisteux, constituent des bandes dont la plus vaste s'étend à l'ouest de Kaya. D'autres s'alignent selon des axes d'orientation variée au nord de Ouahigouya, dans la région de Bani, au nord de Tougouri et d'Aribinda. Leur géologie est complexe et associe schistes argileux et roches métamorphiques basiques. Ces dernières constituent la plus grande partie des reliefs rocheux, collines arrondies lorsqu'elles ne sont pas surmontées de cuirasse (cuirasse bauxitique). Vers Tikare existent cependant d'assez nombreuses collines de schistes argileux à versants rectilignes ou légèrement concaves, à sommet tabulaire cuirassé (cuirasse bauxitique) ou décoiffé et alors fortement déchiqueté.

Les cuirasses ferrugineuses sont réparties autour de ces collines dont elles sont séparées par une dépression délimitée de façon discontinue par la cuesta de la cuirasse conglomératique supérieure. Des lambeaux de cette cuirasse peuvent subsister à l'état de buttes témoin dans la dépression périphérique ou même être accrochés au flanc des collines où leur pente élevée, leur composition très fortement et grossièrement détritique leur confère un faciès de cuirasse de chape¹. Dans certains cas, rares, la cuirasse conglomératique supérieure peut se raccorder, avec une forte rupture de pente, à la dalle bauxitique sommitale. On note également que la dépression périphérique peut être tout ou partie fossilisée par la cuirasse conglomératique inférieure (SE de Tikare), ce qui la rend alors contemporaine de l'entaille de la cuirasse précédente.

L'essentiel des cuirasses résiduelles s'organise toutefois en plans inclinés rayonnants en bordure du fossé périphérique. Elles ne constituent qu'une seule surface à concavité tournée vers le haut, se rac-

¹ Cuirasse de chape : cuirasse à forte pente formée par imprégnation d'un éboulis.

cordant sans décrochement à la surface fonctionnelle. Elles s'apparentent alors aux cuirasses de la région de Ouahigouya et donnent lieu à la même interprétation (glacis polygénique). J.C. PION a toutefois fréquemment observé, sur les coupes longitudinales de ces glacis concaves un léger décrochement (de l'ordre du mètre) qui marque l'entaille de la dernière surface cuirassée.

La surface fonctionnelle est constituée par les dépressions périphériques non cuirassées qui, sur roche basique, atteignent rapidement le front d'altération, ainsi que par les plaines argileuses, souvent voilées de sables éoliens, bordant vers l'extérieur les glacis cuirassés.

1.2.4. Le modelé des régions sédimentaires

Malgré la variété des roches qui les constituent, ces régions présentent une homogénéité inattendue quant au cuirassement. Nous n'avons vu qu'un niveau, à faciès constant, cuirasse massive et dure, épaisse de 1,5 à 2 m, riche en ciments de teinte chamois, englobant des quartz limpides ou laiteux. On ne sait à quel niveau rattacher cette cuirasse, sa position est celle de la cuirasse inférieure, son faciès est voisin de celui de la cuirasse ferrugineuse ancienne, mais son épaisseur faible l'en distingue nettement. Elle est souvent coiffée en son sommet par une cuirasse conglomeratique reprenant ses débris, ce qui signifie que la surface qu'elle matérialise est polygénique, ayant subi au moins deux phases de cuirassement séparées par une période d'érosion.

Sur les formations infracambriennes, la surface fonctionnelle atteint la roche peu altérée au moins à proximité des grands thalwegs ; elle est souvent mixte, gravillonnaire en haut de pente et constituée de matériaux d'altération récents vers le bas. Le Continental Terminal est par contre cuirassé de façon quasi continue, les entailles récentes, peu étendues, sont gravillonnaires ou recouvertes de sables éoliens.

1.3. ESSAIS DE CORRÉLATION AVEC LA CHRONOLOGIE DE P. MICHEL

Au Sénégal et en Guinée, MICHEL (1959) distingue :

- trois surfaces d'aplanissement estimées respectivement Jurassique, Crétacé et Eocène. Les cuirasses qui fossilisent ces surfaces comportent la presque totalité des formations bauxitiques.
- une quatrième surface, appelée relief intermédiaire par VOGT, est estimée fin Pliocène. La cuirasse recouvrant cette surface n'est qu'exceptionnellement bauxitique.
- au cours du Quaternaire, trois niveaux de glacis étagés dont les deux premiers sont cuirassés, le troisième ne l'étant que rarement.

La succession des surfaces en Haute-Volta septentrionale est à peu près conforme au même schéma sauf en ce qui concerne les deux premières surfaces d'aplanissement que l'on ne retrouve pas (voir tableau ci-après).

La localisation de la surface bauxitique à une cote remarquablement constante (500-516 m) sur une grande étendue lui confère les caractères d'une surface d'aplanissement. Sa position dans le modelé, sa composition bauxitique permettent de la rattacher à la troisième surface bauxitique de MICHEL, sans que l'on puisse préciser si cette surface d'aplanissement correspond à plusieurs périodes empilées ou à la surface éocène.

L'analogie de faciès de la cuirasse pisolitique ancienne avec celle qui fossilise le relief intermédiaire au Sénégal, sa présence à la surface du Continental Terminal au Niger, son intercalation entre la surface bauxitique et les glacis à cuirasse conglomeratique en font l'homologue de la surface fin Pliocène.

SURFACES de P. MICHEL	CORRÉLATION AVEC LES SURFACES OBSERVÉES EN HAUTE-VOLTA SEPTENTRIONALE			
SÉNÉGAL et GUINÉE	Régions granitiques et régions schisteuses orientales	Régions schisteuses occidentales	Régions de collines birrimiennes	Régions sédimentaires
1 ^{re} et 2 ^e surfaces d'aplanissement	—	—	—	—
3 ^e surface d'aplanissement	—	—	Surface à cuirasse bauxitique	—
Relief intermédiaire	—	—	Surface à cuirasse ferrugineuse pisolitique	Surface polygénique indéterminée
Glacis supérieur	Glacis à cuirasse conglomératique (supérieure)	Glacis polygénique ou glacis à cuirasse conglomératique (inférieure) distinct	Glacis à cuirasse conglomératique (supérieure)	
Glacis moyen	Glacis à cuirasse conglomératique (inférieure)		Glacis polygénique ou Glacis à cuirasse conglomératique (inférieure)	
Glacis inférieur	Surface fonctionnelle (pro-partie)			

L'homologie des surfaces suivantes (cuirasses conglomératiques et surface fonctionnelle) avec les trois glacis quaternaires de MICHEL est facile à établir sur granite où l'on a décrit leur étagement. Ailleurs, on les retrouve avec moins de netteté, souvent sous forme de surfaces polygéniques.

Cependant, les différences entre les climats auxquels on attribue la formation des cuirasses ou au contraire leur démantèlement, sont trop importantes pour affecter isolément de petites régions et sont à l'échelle des grandes zones climatiques actuelles. Aussi est-il logique d'attribuer à une même période les cuirasses présentant une même position relative dans le modelé et des caractères morphologiques spécifiques communs. Le substrat géologique a pu par contre déterminer certains caractères secondaires du cuirassement : extension, induration, épaisseur des cuirasses. De ce fait, une même surface qui a été fortement démantelée sur granite a pu résister à la même phase d'érosion sur roche basique ou schisteuse, parce que protégée par une cuirasse plus continue, plus épaisse et plus dure, et subir de ce fait plusieurs phases de cuirassement.

2. LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

Des paragraphes précédents, nous retiendrons trois faits principaux ayant une grande importance dans la formation et l'évolution des sols :

— la grande extension des cuirasses inactuelles, dures, peu altérables sous climat sec, entraîne celle des lithosols et des sols peu évolués qui couvrent plus de la moitié de la surface cartographiée. Les sols épais et différenciés sont exclusivement localisés sur la surface fonctionnelle.

— le manteau d'altération kaolinique anté-quaternaire, qui occupe encore, cuirassé ou non, la majeure partie de la région, constitue, lorsqu'il est mis à jour, un matériau originel très évolué, peu susceptible de modifications minéralogiques et chimiques.

— l'influence du substrat géologique sur la pédogenèse ne se manifeste que lorsque l'entaille de la surface fonctionnelle a enlevé les altérites anciennes.

Nous distinguerons quatre ensembles de sols en fonction des remarques ci-dessus :

- Les sols développés sur les cuirasses inactuelles
- Les sols développés sur matériau d'altération kaolinique ancien
- Les sols développés sur schistes argileux birrimiens
- Les sols développés sur matériaux riches en minéraux altérables.

Les sols sur schistes argileux birrimiens constituent une unité à part, car, du fait de la composition de ces roches (principalement quartz, kaolinite, oxydes de fer), il est difficile de les distinguer de leur matériau d'altération ancien.

2.1. LES LITHOSOLS ET LES SOLS PEU ÉVOLUÉS SUR CUIRASSE

Cet ensemble, important par son extension, ne présente qu'un intérêt pédologique très limité.

Les lithosols sont principalement localisés sur les surfaces cuirassées en relief (cuirasses anciennes et cuirasse conglomératique supérieure) où l'érosion élimine au fur et à mesure la fraction fine susceptible de se former par désagrégation superficielle de la dalle cuirassée. Ne subsiste qu'un manteau de débris grossiers, mince et discontinu. La présence de fractures et de canaux dans la cuirasse permet le développement d'une maigre végétation arbustive saxicole, dont les débris organiques forment une mince litière très mal décomposée.

Les sols peu évolués apparaissent sur la cuirasse inférieure et certains glacis polygénique qui, n'étant pas exhaussés, sont moins énergiquement érodés et présentent un niveau meuble superficiel suffisamment épais pour que se différencie un profil de type AC. Trois faciès ont été distingués selon la présence ou l'absence de tendance évolutive décelable :

— *Les sols peu évolués modaux* couvrent la majeure partie des glacis polygéniques des régions schisteuses occidentales. Ils se différencient sur un niveau de débris ferrugineux épais de 10 à 40 cm, pauvre en éléments fins et où seule la répartition de la matière organique, d'ailleurs peu abondante (1,5 % de la terre fine), permet de distinguer deux horizons.

— *les sols peu évolués à faciès hydromorphe* apparaissent sur certains bowé des régions birrimiennes et sont développés sur des matériaux limoneux peu épais (moins de 40 cm) arrachés par l'érosion à la cuirasse et déposés dans des zones déprimées formant des mares en saison humide. Au profil AC se superpose un pseudogley accentué qui se manifeste dès la surface.

— *les sols peu évolués à faciès ferrugineux* sont principalement localisés, en région granitique, sur la dernière surface cuirassée qui est recouverte d'un niveau meuble peu épais, discontinu, présentant un certain granulo-classement vertical : base gravillonnaire à emballage sablo-argileux peu abondant, sommet sableux à sablo-argileux. Le mode de mise en place de ce matériau n'est pas élucidé. Si l'on admet qu'il dérive de la cuirasse sous-jacente, on s'explique mal la superposition des niveaux fins et grossiers, sauf peut-être en faisant intervenir d'hypothétiques remontées par la faune (les termitières sont très abondantes). Il peut

s'agir là également des restes, remaniés, des horizons meubles des sols au sein desquels s'est formée la cuirasse. La discontinuité entre la dalle ferrugineuse et son recouvrement est soulignée par des débris de cuirasse. La différenciation morphologique actuellement perceptible se limite à la dissociation d'un horizon faiblement humifère, appauvri en éléments fins, massif, et d'un horizon gravo-sablo-argileux polyédrique, compact. La tendance évolutive vers les sols ferrugineux est principalement déduite du type structural de ces sols, probablement déterminé par la nature minéralogique de l'argile (kaolinite), la texture et le drainage (médiocre).

2.2. LES SOLS SUR MATÉRIAU D'ALTÉRATION KAOLINIQUE ANCIEN

Ils sont principalement localisés dans les régions granitiques où l'épaisseur plus grande du manteau d'altération ancien fait que l'entaille de la surface fonctionnelle n'atteint qu'assez rarement la proximité de la roche saine. Ces matériaux kaoliniques hérités de périodes d'altération intense et prolongée, sont stables sous le climat actuel. Les processus évolutifs possibles sont limités à la migration des éléments les plus mobiles (bases, fer, manganèse) et à celle, plus problématique, de l'argile. Ils ont abouti à la formation de sols ferrugineux tropicaux lessivés caractérisés par la succession d'horizons suivante :

0-15 cm A ₁	: Grisâtre, finement sableux, massif et cohérent, assez peu poreux.
15-30 cm A ₂	: Beige à fin réseau ocre, peu contrasté et plus compact, sablo-argileux, massif à débit polyédrique, cohésion moyenne à forte, porosité tubulaire et interagrégats présentant un maximum caractéristique (dans les sols non érodés).
30-80 cm B ₁	: Passe à brun ocre par envahissement de l'horizon par le réseau ci-dessus, argilo-sableux, massif à débit polyédrique 1-3 cm en assemblage compact cohésion forte, porosité tubulaire faible.
80-120 cm B ₂₁	: Brun jaune à plages plus claires diffuses, plus argileux, même structure et porosité.
120-200 cm B ₂₂	: Brun beige à concrétions rouges ou brun rouge, arrondies, 1 cm ou moins, pas très dures. Vers la base, peuvent apparaître quelques concrétions noires à cerne ocre, rares. Argilo-sableux à argileux, structure polyédrique 1-2 cm en assemblage compact mais assez fragile, cohésion excessive, porosité tubulaire très faible. Niveau gravillonnaire rarement absent apparaissant entre 150 et 200 cm.

Les variantes sont nombreuses, déterminées le plus souvent par la position topographique : B seulement tâché, horizon de pseudogley profond. Un horizon légèrement induré peut se différencier : il est toujours localisé dans le niveau gravillonnaire et résulte d'une cimentation des gravillons par des concrétions coalescentes. Si ces phénomènes d'induration nous donnent une idée du mode de formation des cuirasses inactuelles au sein d'un matériau détritique, leur résultat en diffère notablement : moindre induration des ciments (ne dépasse pas le stade carapace), plus grande abondance des parties restant terreuses. L'homogénéité des profils ainsi carapacés ne fait pas de doute et l'induration est toujours annoncée par un horizon concrétionné avec des ciments identiques à ceux de la carapace ; celle-ci résulte seulement d'une forte accentuation du concrétionnement. La localisation préférentielle en bas de pente ou dans les zones déprimées de ces horizons indurés implique un apport latéral du fer. Les solutions circulant au long du glaci inférieur s'alimentent en sesquioxydes dans les sols ferrugineux eux-mêmes, mais aussi très probablement et pour une part importante, à partir des cuirasses inactuelles couronnant les interfluves (MAGNIEN

1958). On notera que ce carapacement n'apparaît que vers le Sud de la région étudiée ici, à partir des isohyètes 650-700 mm. Il correspond à une limite pédoclimatique importante et peut être considéré comme l'amorce, très discrète, d'un nouveau cycle de cuirassement.

Peu organiques (1 %), ces sols sont moyennement désaturés (60 à 80 %) avec un taux de saturation minimum en A₂, maximum en A₁, intermédiaire dans les B. La capacité d'échange est faible, en moyenne de 3 à 4 mé/100 g de sol, variant de 12 à 18 mé pour 100 g d'argile. La fraction fine est composée de kaolinite avec des traces d'illite¹.

Des phénomènes de calcarification se manifestent fréquemment à la base des sols ferrugineux lessivés (jusqu'au sommet du B). L'observation de nombreux profils permet de conclure à des dépôts par nappe dont l'actualité est plausible si l'on se réfère à l'amplitude du battement de la nappe. L'alimentation de la nappe en calcaire s'effectue à partir des sols bruns calciques et, dans une moindre mesure, de la base arénacée du vieux manteau d'altération. L'analyse minéralogique révèle, dans les horizons recalcarifiés et dans ceux-là seulement, des traces de montmorillonite, qui sont issues de néosynthèses très discrètes en milieu basique. Les résultats d'analyse chimique montrent que la recharge en cations affecte également les horizons de surface qui sont neutres, ceci probablement par remontée biologique. Le lessivage en cations apparaît donc actuellement comme nul dans ces sols. Les phénomènes auxquels on attribue la formation des sols ferrugineux lessivés (entraînent des bases, acidification, lessivage de l'argile et du fer en liaison avec un humus acide) ne peuvent plus se produire actuellement dans ce cas et l'on peut conclure que le sol a acquis son profil avant d'être recalcarifié et que, pour l'essentiel, ses caractéristiques morphologiques sont héritées.

On constate également que ces dépôts de calcaire se superposent au carapacement mentionné ci-dessus, ce qui rend douteuse son actualité, le milieu basique étant peu compatible avec une grande mobilité du fer. Par contre, lors de la prospection de la Haute-Volta orientale (1968-69), on a pu constater, avec la pluviométrie croissante, la disparition progressive des dépôts calcaires ainsi qu'une fréquence plus grande des horizons indurés. Ce chevauchement des processus (recalcarification dans le Nord, cuirassement au Sud) donne une bonne image des balancements climatiques récents. Ainsi, l'évolution des sols ferrugineux lessivés, de même que leur début d'induration, commencé sous un climat plus humide que l'actuel, sont interrompus ou fortement ralentis de nos jours dans les régions septentrionales, alors qu'ils se poursuivent dans les zones plus humides contiguës.

La grande extension de ces sols en région granitique les a fait longtemps considérer comme les sols climaciques sur granite dans cette zone. En fait, ils sont ici strictement associés au matériau d'altération kaolinique ancien qui constitue leur véritable matériau originel. Sous ce climat sahélo-soudanais sec et sur ces modelés caractérisés par des pentes extrêmement faibles, dès que le matériau du sol est constitué par des arènes granitiques à minéraux frais, la pédogenèse est toute différente et caractérisée par la formation de montmorillonite en proportion variable (cf. infra). Ceci ne veut pas dire qu'il n'existe pas de sols ferrugineux lessivés sur granite en Haute-Volta, mais ceux-ci sont associés à des modelés différents, à pentes plus fortes, permettant la migration des produits solubilisés par l'altération, processus qui peut être également favorisé par la grossièreté du grain de la roche améliorant le drainage interne (études en cours). De tels modelés apparaissent sous des pluviométries plus élevées (900 mm) que celles de la région étudiée ici, ébauchant déjà le relief plus vigoureux des régions humides.

¹ Les analyses d'argile mentionnées dans ce texte ont été effectuées au Laboratoire du Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface du CNRS à Strasbourg et interprétées par Mlle H. PAQUET.

2.3. LES SOLS SUR MATÉRIAU ISSU DE SCHISTES ARGILEUX BIRRIEUS

La composition minéralogique des schistes argileux birrimiens (quartz, kaolinite, un peu d'illite, oxydes de fer) est assez voisine de celle des matériaux d'altération kaoliniques anciens. DUCELLIER (1963) admet d'ailleurs que ces schistes pourraient résulter d'une altération très profonde de roches métamorphiques (séricito-schistes, roches vertes). La pédogenèse est donc également limitée à une réorganisation des éléments constitutifs du matériau, sans néoformations minéralogiques appréciables. A ceci s'ajoutent les caractères du modelé extrêmement aplani dans sa partie fonctionnelle. Les surfaces recoupant les schistes ou leur matériau d'altération affectent la forme de plaines bordant des axes de drainage étroits, peu incisés, souvent divaguants. Il en résulte un drainage externe très médiocre qui, conjugué à la faible perméabilité propre aux matériaux argileux à fraction sableuse très fine, favorise l'engorgement temporaire des sols. Ceux-ci constituent une unité pédologique remarquablement homogène caractérisée à la fois par un type de ségrégation et une structure originaux :

- | | |
|------------------------------|--|
| 0-15 cm
A ₁₁ | : Gris beige clair, homogène, très finement sablo-argileux à argilo-sableux, prismatique 10-15 cm en assemblage très compact, débit des prismes très malaisé, cohésion forte, porosité tubulaire faible. |
| 15-35 cm
A ₁₂ | : Brun rouge à fin réseau ocre jaune bien contrasté, tâches blanches, argileux, structure cubique 1 à 2 cm en assemblage prismatique de même taille, cohésion d'assemblage très faible (friable), des agrégats forte, porosité tubulaire faible. |
| 35-185 cm
B ₉₀ | : Brun beige clair à taches rouge vif, taches réticulées blanches, concrétions noires peu indurées, rondes, 1 cm, argileux, structure prismatique plus large (5-6 cm) à débit cubique, cohésion excessive, porosité très faible. |

Les caractères spécifiques de ces sols hydromorphes à pseudo-gley ont trait au type de ségrégation finement réticulé qui leur confère un « faciès » original et surtout à la présence d'au moins un horizon à structure fine, cubique à polyédrique très bien individualisée (friabilité). Cette manifestation structurale de l'hydromorphie a été soulignée par KALOGA dès 1964. L'accentuation du développement de cette structure, qui peut envahir l'ensemble du profil en lui conférant une remarquable friabilité, avec la réduction du drainage externe aux abords des axes d'écoulement, permet d'établir la relation de cause à effet entre l'hydromorphie et la finesse structurale, sans pour autant en expliquer la genèse.

Les propriétés analytiques de ces sols sont très voisines de celles des sols ferrugineux lessivés et n'en diffèrent que par leurs caractères texturaux (moindre appauvrissement superficiel, richesse en limon : 15-30 % et en sables fins : sables fins sur sables grossiers supérieur à 4) hérités de la roche mère, ainsi que par les propriétés physiques qui en découlent (instabilité structurale élevée, perméabilité faible).

2.4. LES SOLS SUR MATÉRIAU RICHE EN MINÉRAUX ALTÉRABLES

Lorsque la surface fonctionnelle atteint la base du manteau d'altération ancien, la pédogenèse est, sur roche métamorphique ou cristalline, très différente des pédogenèses passées qui aboutissaient à la formation de kaolinite avec parfois un peu d'illite. De l'évolution récente des niveaux peu altérés ainsi dénudés, il résulte un matériau argileux en général peu épais (2 m sur roche basique, 3 m sur granite)

comportant toujours des minéraux argileux montmorillonitiques, mais en proportion variable selon la roche mère.

Le rôle déterminant du niveau de la troncature de la surface fonctionnelle dans la séquence d'altération ancienne est bien mis en évidence par la toposéquence sur migmatite calco-alcaline représentée sur la figure 6. L'observation de profils très rapprochés a permis de suivre l'extension latérale des horizons

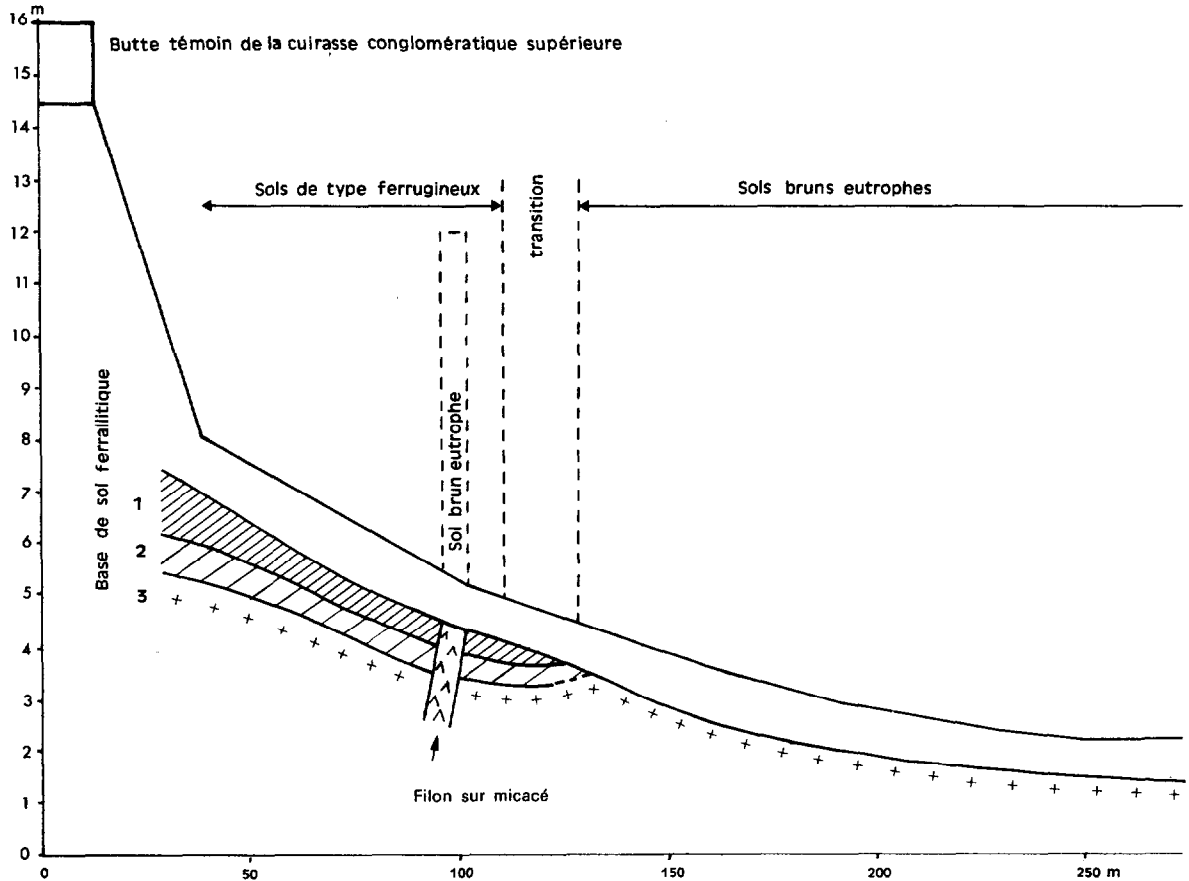


FIG. 6.

1. horizon de transition sol-arène
2. arène à minéraux ferro-magnésiens altérés verts
3. arène à minéraux ferro-magnésiens d'aspect sain

inférieurs du paléosol ferrallitique qui constitue la butte témoin cuirassée (cuirasse conglomératique supérieure ou glaciaire supérieure). On a pu ainsi vérifier que la base des sols développés sur la surface fonctionnelle recoupe ces horizons et que la séquence pédologique est déterminée par le degré d'altération du matériau originel. On constate en effet que les sols bruns montmorillonitiques n'apparaissent que lorsque le matériau originel comporte uniquement des minéraux ferromagnésiens d'aspect sain ; ce matériau se présente alors sous l'aspect d'une arène franche avec une limite sol-arène presque linéaire. Plus haut sur la pente, les sols

développés sur les niveaux kaolinisés sont de type ferrugineux. L'existence d'une petite tache de sols bruns développés sur une passée surmicacée peu altérée et isolés au milieu des sols à caractères ferrugineux, confirme cette interprétation.

L'éventail des sols développés sur ces matériaux d'altération récents est large, allant d'un pôle calcique à un pôle halomorphe principalement en fonction de la composition de la roche mère. Nous nous limiterons ici aux trois types de sols les plus fréquents : les sols bruns eutrophes vertiques, les sols bruns eutrophes hydromorphes et les solonetz.

2.4.1. Les sols bruns eutrophes vertiques

Les sols bruns eutrophes vertiques sont principalement développés sur les roches basiques birriennes ainsi que sur les granites et migmatites riches en amphiboles. Leurs caractères morphologiques sont intermédiaires entre ceux des vertisols et ceux des sols bruns eutrophes modaux. Des seconds, ils diffèrent par une structure superficielle un peu trop grossière (supérieure au cm), jamais grumeleuse ni nuciforme mais cubique en assemblage prismatique, des horizons profonds à structure prismatique s'élargissant un peu vers la base, à débit oblique modérément lissé et strié.

Leur parenté avec les vertisols est beaucoup plus étroite, ils n'en sont en fait que des types atténués, moins largement structurés, à manifestations vertiques peu accentuées, à porosité d'ensemble mieux développée dans les horizons supérieurs. Le profil ci-dessous, observé dans la région de Kaya, peut être considéré comme le type moyen de ces sols :

- | | |
|-----------|--|
| 0-20 cm | : 5 YR-3/3 — brun foncé, homogène, argilo-limoneux, 1 à 3 cm en assemblage prismatique 5 cm lâche, cohésion forte. Porosité tubulaire et interagrégats bien développée grâce à une activité racinaire intense, porosité d'assemblage forte. |
| 20-75 cm | : 5 YR-4/4 — Contraste moyen, transition progressive, brun plus clair et légèrement plus rouge, argileux. Structure prismatique 4 à 5 cm, sous-structure cubique 1 cm en assemblage assez lâche, cohésion excessive. Porosité tubulaire et interagrégats plus faible, porosité d'assemblage moyenne. |
| 75-180 cm | : 5 YR-4/6 — Contraste moyen, transition progressive, brun rouge plus clair, débris de schiste amphibolique. Structure prismatique 10 cm, sous-structure cubique 3 cm en assemblage compact, faces obliques lissées petites mais nombreuses, cohésion excessive. Porosité tubulaire très faible. |

L'analyse minéralogique de ce profil donne, pour chacun des horizons, 70 % de montmorillonite, 30 % de kaolinite, des traces d'illite. Ces teneurs en argiles gonflantes sont analogues à celles observées dans les vertisols (PAQUET, 1969) et l'atténuation des caractères vertiques dans les sols bruns eutrophes est principalement attribuable ici au drainage externe moyen. En effet, le passage aux vertisols par élargissement des structures et accentuation des phénomènes de lissage est très fréquent en bas de pente et dans les zones déprimées.

La matière organique est peu abondante (1 à 1,5 %), bien évoluée (C/N 10 à 12). Les variations verticales du taux d'argile granulométrique montrent un léger appauvrissement superficiel en éléments fins, les teneurs en argile se stabilisent ensuite dès 20 cm dans les gammes argilo-sableuses à argileuses. La capacité d'échange est élevée (15 à 30 mé/100 g de sol) en relation avec les fortes teneurs en argile montmorillonitique. Le complexe est saturé ou très proche de la saturation en surface, saturé en profondeur. L'équilibre des bases montre une large prédominance du calcium, parfois concurrencé en surface par le magnésium. La présence de calcaire, sous forme d'amas ou de nodules, n'est pas très fréquente, elle est par contre courante dans les vertisols de bas de pente.

Vers le Nord, au-delà de l'isohyète 550 mm, l'apparition des paysages steppiques sahétiens s'accompagne, sur même roche mère, d'une réduction de l'épaisseur des profils ainsi que de la disparition des horizons humifères bien différenciés. Cette modification, correspondant au passage aux sols bruns subarides vertiques, est strictement associée à celle de la végétation qui devient très clairsemée, à tapis discontinu ou même absent dès le début de la saison sèche. Trois facteurs concourent pour limiter le développement du profil et lui conférer ses caractères subarides : l'érosion freine la différenciation de l'horizon superficiel, la végétation, très maigre, n'apporte que de faibles quantités de matière organique, la percolation, limitée par le ruissellement, l'évaporation intense et la pluviométrie insuffisante, ne permet qu'une altération faible et peut-être même nulle si l'on en juge par l'état de siccité des profils en début de saison sèche. Par contre, les propriétés analytiques n'accusent pas de modifications appréciables si l'on excepte les teneurs en matière organique plus faible (0,4 à 1 %) ; en particulier, les propriétés du complexe absorbant et la composition minéralogique des argiles sont analogues.

2.4.2. Les sols bruns eutrophes hydromorphes

Les sols bruns eutrophes hydromorphes sont développés dans les régions où affleurent des granites et migmatites calco-alcalins à richesse moyenne en minéraux ferromagnésiens, ceux-ci étant principalement constitués de biotite. La liaison sol-roche mère apparaît dans la répartition régionale de ces sols qui couvrent, sans variation notable, l'ensemble de la surface fonctionnelle, sur des pentes et des modelés identiques à ceux des régions à sols bruns eutrophes vertiques sur granite à amphibole. Il n'est malheureusement pas possible de préciser actuellement cette filiation, faute de profils suffisamment profonds pour atteindre un matériau identifiable sur le plan pétrographique.

Les caractères morphologiques spécifiques de ces sols ont trait à la structure ainsi qu'aux manifestations nettes de mauvais drainage interne, limitées toutefois aux horizons profonds ; ils sont bien exprimés dans le profil type suivant :

- | | |
|-----------|--|
| 0-20 cm | : Brun foncé (10 YR-4,5/3), homogène, sablo-limono-argileux, structure prismatique 10-15 cm en assemblage compact, cohésion forte, porosité tubulaire faible. |
| 20-64 cm | : Contraste fort, transition 10 cm, brun vif (7,5 YR-5/5), à réseau plus rouge diffus, argileux, structure prismatique 8 à 10 cm, en assemblage moins compact, sous-structure cubique 2 à 4 cm, cohésion excessive, porosité tubulaire faible, d'assemblage moyenne. |
| 64-160 cm | : Contraste fort, transition 10 cm, fond beige (10 YR-7/2), taches plus ou moins anastomosées ocres (10 YR-6,5/6) ou rouges (5 YR-5/5), taches noires un peu indurées, 0,5 cm, plus abondantes vers la base, argileux, structure prismatique 10 cm, sous-structure en plaquettes horizontales à faces non lissées, en assemblage compact, cohésion excessive, porosité non visible, nombreux feldspaths. |

Les variations verticales de la structure sont très caractéristiques : prismatique large en assemblage compact en surface, devenant plus fine et mieux individualisée dans le second horizon, pour s'élargir à nouveau vers la base. Le pseudo-gley profond apparaît entre 60 cm et 1 m, il s'accuse en bas de pente, sans envahir cependant les horizons supérieurs. Cette morphologie n'est pas sans rappeler celle des sols hydromorphes sur schiste (B-3) et ces sols apparaissent bien comme des termes intermédiaires entre les sols bruns eutrophes vertiques et les sols hydromorphes.

L'analyse minéralogique des argiles montre toujours à la base des profils une dominance accusée de la kaolinite (60 à 70 %) sur la montmorillonite, l'illite étant présente à l'état de traces. Ces teneurs peuvent se maintenir constantes dans tout le profil ou bien varier de façon continue par diminution rela-

tive des taux de montmorillonite, ce qui peut être dû soit à une dégradation de la montmorillonite (PAQUET 1969) soit à une pollution par des matériaux d'altération kaoliniques anciens (on trouve alors des gravillons dispersés dans les horizons supérieurs). Les faibles teneurs en montmorillonite expliquent à la fois la mauvaise expression de la structure et la différenciation du pseudo-gley qui exige, pour se manifester dans les matériaux fortement vertiques, des conditions d'engorgement beaucoup plus sévères que celles réalisées ici.

Les teneurs en matière organique sont analogues à celles des sols bruns eutrophes vertiques (1 à 1,8 %). Les variations verticales de la texture sont par contre un peu différentes et l'appauvrissement superficiel en éléments fins, favorisé par un squelette quartzeux plus abondant, est plus accentué. La capacité d'échange est seulement moyenne (10 mé/100 g de sols en A, 15 mé en B). Le complexe absorbant est faiblement désaturé en surface (75-90 %), saturé en profondeur. L'équilibre des bases est dominé par le calcium. Le sodium est généralement en quantité très faible, mais cet élément atteint parfois 6 à 7 % de la capacité d'échange à la base de certains profils, sans que leurs propriétés morphologiques soient modifiées, si l'on excepte peut-être une dureté plus grande. La localisation irrégulière dans le modelé de ces sols faiblement alcalisés suggère que cet équilibre particulier des bases échangeables est surtout d'origine pétrographique.

La classification de tels profils parmi les sols bruns eutrophes n'est guère satisfaisante car ils sont bien éloignés de leur concept central, en particulier du fait de la largeur de leur structure. Ils s'en rapprochent toutefois par leur matière organique bien évoluée, leur couleur et leur relative richesse en bases. Il n'est pas actuellement possible de leur trouver une meilleure place dans la classification, tant que leur genèse n'est pas mieux connue. Ils n'en constituent pas moins une unité pédologique très homogène, bien représentée en Haute-Volta septentrionale et dont l'extension déborde largement cette zone, vers le Sud-Est en particulier.

2.4.3. Les solonetz

Les solonetz sont associés aux granites leucocrates calco-alcalins et alcalins. Ils sont principalement développés au Nord-Est de Dori, sous une pluviométrie inférieure à 550 mm, dans une région caractérisée par le déblayement presque complet des cuirasses et altérites anciennes. Le modelé est constitué de longs glacis très peu pentus (pentes mesurées inférieures à 0,5 %), se rejoignant en sommet d'interfluve où ils forment des lignes de crête à si grand rayon de courbure qu'il est difficile de les localiser sur le terrain sans mesure topographique précise. Aucun relief, cuirassé ni rocheux, ne domine ces surfaces ; les affleurements de granite, peu abondants et irrégulièrement répartis au long des glacis, forment des dômes surbaissés ne dépassant pas la surface du sol de plus de 2 ou 3 m.

Les solonetz couvrent l'ensemble du modelé, à l'exception des axes de drainage, très peu marqués, où ils passent à des vertisols hydromorphes.

La morphologie des profils est très constante et manifestement indépendante de leur position sur la pente.

Profil type :

- 0-8 cm : Sous une mince croûte noirâtre, horizon A gris clair (10 YR-6/1) à taches ocres (10 YR-6/6), linéaires. Texture finement sableuse assez riche en limons, structure massive à débit non aisé, cohésion moyenne à forte, porosité tubulaire faible.
- 8-60 cm : Limite linéaire festonnée. Horizon constitué de colonnettes juxtaposées, à sommet en coupole, à section polygonale, \varnothing 20 à 30 cm. Leur sommet est revêtu d'un mince cortex (5 mm) gris clair (10 YR-6/1) à rares taches ocres, à porosité bulleuse, se prolongeant sur les faces verticales des colonnettes pour disparaître vers 18 cm.

Le corps des colonnettes est subdivisé en sous-horizons à limite convexe pour le premier, horizontales et diffuses pour les suivantes : B₁ de 5 cm, brun rouge (7,5 YR-4/4) à taches grises anastomosées, sablo-argileux à argilo-sableux ; B₂₁ rubéfié (5 YR-4/4) argilo-sableux, épais de 10 cm ; B₂₂ brun ocre (7,5 YR-4,5/4) à taches jaunes et feldspaths friables, également argilo-sableux. Au sein des colonnettes se différencie une structure prismatique 3 cm, délimitée par des fentes mais malaisément dissociable. A la base se situe un niveau graveleux peu épais (5 cm) pouvant mordre sur les horizons adjacents, constitué de galets de quartz émoussés (2 cm) et de quelques gravillons ferrugineux.

- 60-140 cm : Contraste fort, transition 10 cm, horizon BC_g, bariolé à fond gris blanchâtre (10 YR 7/1) à taches diffuses beiges (10 YR-5,5/4), ocres (10 YR-6/6), rouges (5 YR-5/4), concrétions noires à périphérie rouge, nombreux feldspaths. Argilo-sableux à structure massive à débit polyédrique très malaisé, cohésion excessive, horizon très dur, porosité très faible, très légèrement calcaire.
- 140-180 cm : Contraste moyen, transition 10 cm, horizon BC_gCa beige (10 YR-5,5/4), taches ocre jaune (10 YR-6/5), gros amas calcaires abondants, un peu calcaire dans la masse. Structure massive à débit oblique un peu lissé, cohésion excessive, très dur, porosité non visible. A 180 cm, passe à une arène à quartz, feldspaths et biotite, leucocrate, diaclasée.

Ce profil qui se résume à la succession d'un horizon lessivé peu épais, d'un horizon B colonnaire, subdivisé en sous-horizons différenciés par leur teinte, et d'horizons profonds carbonatés, répond à la définition morphologique des solonetz. Des sols analogues ont été décrits et étudiés dans d'autres pays d'Afrique et en particulier au Tchad par BOCQUIER (1964, 1968), qui les a classés en solonetz solodisés. La comparaison de ces sols avec ceux du Tchad ne fait apparaître que des différences secondaires. La solodisation (dégradation des argiles en milieu sodique) est morphologiquement moins évidente ici : pas de A₂ blanchi particulaire, cortex simplement éclairci et non blanchi. On n'observe pas non plus de lignes de cailloux à la base des horizons A bien que de nombreux quartz filoniens parsèment la surface du sol ; quelques graviers, irrégulièrement répartis et noyés dans le A ont leur logement revêtu d'un film compact d'éléments fins limoneux gris blanchâtre. Par contre, sous les colonnettes, se situe de façon à peu près constante mais à profondeur variable (60 à 180 cm) un niveau graveleux que l'on peut relier à ceux passant sous l'erg le plus ancien et qui témoigne probablement d'une troncature suivie d'un recouvrement. Les profils se surimposent toutefois aux deux niveaux et ce polyphasage ne perturbe pas les horizons.

La composition minéralogique de la fraction fine présente des variations importantes dans le profil :

Horizon	Montmorillonite	Kaolinite	Illite	pH	Na/T (%)	Conductivité 1/10 mmho
A	5	4	2	5,3	0,5	
B ₁	6	4	Traces	5,8	1	0,026
B ₂	7	3	Traces	7	8,8	0,067
BC go	7	3	Traces	7,7	14	0,097
BC go Ca.....	4	5	1	8,9	15	

L'horizon inférieur comporte de la montmorillonite et de la kaolinite en proportions à peu près égales avec parfois légère dominance de la kaolinite (cas ci-dessus) ; s'y ajoute un peu d'illite. Il y a tou-

jours ensuite augmentation nette des quantités relatives de montmorillonite dans l'horizon sous-jacent aux colonnettes et à la base de celles-ci. La formation de montmorillonite n'est pas maximum dans l'horizon le plus calcaire et le plus basique, mais dans l'horizon sus-jacent qui n'est que faiblement calcaire. La proportion de montmorillonite décroît ensuite lentement vers le sommet des colonnettes (dégradation ?) puis brutalement dans le A, en même temps que sa cristallinité diminue. La dégradation maximum (solodisation ?) se situerait donc au sommet des colonnettes (PAQUET 1969).

Le profil textural montre en général une nette discontinuité au niveau du sommet des colonnettes (ex. 5 % d'argille en A, 30 % en B₁) ; la texture du cortex est voisine de celle du A ; un maximum textural apparaît 2 fois sur 3 en B₂₁₋₂₂. La partie supérieure du profil jusqu'au sommet des colonnettes compris est moyennement acide et désaturée (pH 5,3 à 6,5, S/T 60 à 80 %), puis taux de saturation et pH augmentent rapidement pour atteindre leur maximum dans le BC calcaire. Les taux relatifs de sodium échangeable, très faibles en surface, augmentent brutalement au milieu des colonnettes et sont maximum à la base du profil ; ce n'est que là qu'ils atteignent parfois la valeur minima généralement admise (15 %) pour les sols halomorphes à alcalis. L'instabilité structurale suit très fidèlement le rapport Na/T, prouvant au moins l'influence dégradante du sodium sur la structure.

Les solonetz de Haute-Volta septentrionale ont leur extension maximum au Nord de Dori, vers l'Ouest, ils se raréfient puis disparaissent lorsque les cuirasses et leurs altérites anciennes retrouvent leur prédominance. Vers l'Est, les périodes d'érosion et de remaniement du quaternaire récent ont perturbé les sols avec une intensité croissante vers le Niger ; les profils se réduisent à une succession de strates où se maintiennent cependant les traces des pédogenèses successives, difficiles à déchiffrer il est vrai pour les plus anciennes. Ces sols minces, peu différenciés, ont été classés en sols peu évolués à faciès solonetzique.

3. CONCLUSION

La Haute-Volta septentrionale conserve les traces d'une longue histoire géomorphologique et pédologique. La succession des diverses surfaces qui ont jalonné l'édification du modelé est particulièrement nette, en pays birrimien pour les surfaces les plus anciennes ; en région granitique pour les glacis quaternaires. Là où cet étagement est incomplet ou moins évident, il est possible d'en reconstituer la suite par l'examen des éléments détritiques qui persistent dans les cuirasses inférieures, ou grâce à la reconnaissance des faciès d'induration qui apparaissent comme très spécifiques des divers niveaux.

Les cuirasses inactuelles, la plus récente surtout, fossilisent encore une grande partie du modelé et sont responsables de la grande extension des lithosols et des sols peu évolués.

Les sols évolués sont localisés sur la surface fonctionnelle qui entaille le dernier niveau cuirassé. Deux grands ensembles de sols se distinguent selon que leur matériau est constitué par les produits d'altération kaoliniques hérités de périodes d'altération intense et prolongée principalement antéquatennaires ou par des matériaux frais riches en minéraux altérables. Le premier réunit les sols ferrugineux lessivés au sein desquels se manifeste, très discret et peu avancé, un nouveau cycle de cuirassement. Le second met en évidence l'apparition d'un nouveau type d'altération déterminé à la fois par la richesse en bases du matériau, mais aussi par un confinement où le modelé très aplani joue un rôle déterminant. Des sols à argile montmorillonitique très divers prennent ainsi naissance qui, sur roches cristallines, apparaissent comme les sols climaciques dans cette région.

REMERCIEMENTS

L'auteur est particulièrement reconnaissant à Monsieur le Professeur MILLOT d'avoir bien voulu relire ce texte et lui faire part de ses observations qui ont beaucoup aidé à la mise au point définitive de cette note.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1965. — La classification pédologique utilisée en France. Symp. int. Classification des Sols. *Pédologie*, n° spéc. 3, pp. 25-56.
- AUBREVILLE (A.), 1949. — Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. *Soc. Ed. géogr. marit. colon.*, Paris, 357 p.
- BOCQUIER (G.), 1964. — Présence et caractères de solonetz solodisés tropicaux dans le Bassin Tchadien. *Int. Congr. Soil Sci.* 8. 1964. Bucarest, V, 76, pp. 687-696.
- BOCQUIER (G.), 1968. — Biogéocénoses et morphogenèse actuelle de certains sédiments du Bassin Tchadien. *Int. Congr. Soil Sci.* 9. 1968. Adélaïde, 4, pp. 605-612.
- BOULET (R.), 1968. — Etude pédologique de la Haute-Volta Centre-Nord. Centre ORSTOM de Dakar, 351 p. *multigr.*
- DELFOUR (J.), 1964. — Géologie de la partie Nord du Cercle de Dori. *Rapp. inéd. BRGM Haute-Volta.*
- DELVIGNE (J.) GRANDIN (G.), 1969. — Etude des cycles morphogénétiques et tentative de chronologie paléoclimatique dans la région granitique de Toumodi (Côte d'Ivoire). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, sér. D, t. 269, n° 15, pp. 1372-1375.
- DUCELLIER (J.), 1963. — Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du Centre et du Nord de la Haute-Volta. *Mém. B.R.G.M.* n° 10. Paris, 320 p.
- FAUCK (R.), 1963. — Le Sous-Groupe des sols ferrugineux lessivés à concrétions. *Sols afr.*, VIII, 3, pp. 383-406.
- FAUCK (R.), 1968. — Contribution à l'étude de la morphologie et de la classification des sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM, réunion annuelle des pédologues. 1968. Bondy. 36 p., *multigr.*
- GAVAUD (M.), 1966. — Etude pédologique du Niger Occidental. Centre ORSTOM de Dakar, 513 p. *multigr.*
- GAVAUD (M.), 1967. — Esquisse de l'histoire des sols du Niger Centre et Ouest Méridional. *Bull. Liaison ASEQUA* n° 14-15, pp. 24-27.
- GAVAUD (M.), 1968. — Les sols bien drainés sur matériau sableux du Niger. Essai de systématique régionale. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 3-4, pp. 277-307.
- GRANDIN (G.), DELVIGNE (J.), 1969. — Les cuirasses de la région birrimienne volcano-sédimentaire de Toumodi : jalons de l'histoire morphologique de la Côte-d'Ivoire. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, sér. D, t. 269, n° 16, pp. 1474-1477.
- HUMBEL (F.X.), 1965. — Etude de sols halomorphes du Nord Cameroun (Maroua). Centre ORSTOM de Yaoundé, 63 p. *multigr.*
- KALOGA (B.), 1966. — Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute-Volta. 1^{re} partie : Le milieu naturel. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 1, pp. 23-61.
- KALOGA (B.), 1966. — Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute-Volta. 2^e partie : Les vertisols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 3, pp. 29-61.
- LEPRUN (J.C.), 1969. — Evolution géomorphologique de la Vallée du Sourou et de ses bordures voltaïques. Univ. Dakar. Fac. Lettres et Sci. hum. Départ. de Géogr. 50 p. *multigr.*
- MAIGNIEN (R.), 1959. — Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale. *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lor.*, n° 16. Stasbourg, 236 p.
- MAIGNIEN (R.), 1960. — Influences anciennes sur la morphologie, l'évolution et la répartition des sols en Afrique tropicale de l'Ouest. *Int. Congr. Soil Sci.* 7. 1960. Madison, IV, pp. 171-176.
- MAIGNIEN (R.), 1961. — Sur les sols d'argiles noires tropicales. d'Afrique occidentale *Bull. A.F.E.S.* n° spéc., pp. 131-144.
- MAIGNIEN (R.), 1963. — Les sols bruns entrophes tropicaux. *Sols afr.*, vol. VIII, n° 3, pp. 485-496.

- MAIGNIEN (R.), 1968. — Les sols ferrugineux tropicaux. Unités pédogénétiques. ORSTOM. Réunion annuelle des pédologues. 1968. Bondy, 34 p. *multigr.*
- MICHEL (P.), 1959. — L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute Gambie. Ses rapports avec la prospection minière. *Rev. Géomorph. dyn.*, X, nos 5-12, pp. 117-143.
- MICHEL (P.), 1965. — Morphogenèse 11. Rapport entre le Modelé et la pédogenèse : exemples d'Afrique Occidentale. *Science du Sol*, n° 2, pp. 149-171.
- PAQUET (H.), 1969. — Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse Sci. nat. Strasbourg. 348 p. *multigr.*
- PAQUET (H.), MAIGNIEN (R.), MILLOT (G.), 1961. — Les argiles des sols des régions tropicales semi-humides d'Afrique occidentale. *Bull. serv. carte géol. Als.-Lor.*, t. 14, pp. 111-128.
- PAQUET (H.), BOCQUIER (G.), MILLOT (G.), 1966. — Néof ormation et dégradation des minéraux argileux dans certains solonetz solodisés et vertisols du Tchad. *Bull. Serv. Cart. géol. Als.-Lor.*, 19, pp. 295-322.
- PION (J.C.). — Communication orale.
- VOGT (J.), 1959. — Aspect de l'évolution morphologique récente de l'Ouest Africain. *Ann. Géogr.*, n° 367, pp. 193-206.