

# Le manteau kaolinique des plaines du Centre-Sud de la Haute-Volta

## Dynamique et relation avec le manteau smectitique

Bokar KALOGA (1)

Thèse présentée le 16 décembre 1983 à la Faculté des Sciences de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles. Résumé.

### 1. LES MOTIVATIONS DU MÉMOIRE

Lorsque j'ai été recruté à l'O.R.S.T.O.M. en 1957 et inscrit en pédologie en tant qu'ingénieur agricole, l'inventaire des ressources en sols des territoires d'Outre-Mer (aujourd'hui indépendants pour la plupart) était la priorité de l'époque. Ma carrière a été ainsi placée sous le signe de travaux d'inventaires et de cartographie des sols, orientés vers le développement, et auxquels elle a été consacrée pour la plus grande part.

L'inventaire et la cartographie des sols à moyenne et petite échelle comporte toujours une part d'extrapolation basée sur les connaissances du moment. On peut les pratiquer comme un travail technique qui se limite à appliquer ces connaissances au terrain, ou comme un travail de recherche qui consiste à vérifier la validité et les limites de ces connaissances, et en établir d'autres éventuellement. C'est ce que je me suis efforcé de faire d'abord au Mali, puis au Sénégal Oriental et surtout dans le programme plus important de cartographie des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge à 1/200.000. La cartographie à 1/500.000 de la Haute-Volta m'a permis de tester ces résultats sur l'ensemble de la Région Centre-Sud que j'ai étudiée. La distribution des caractères de différenciation des sols s'est révélée d'une extrême complexité. On observe souvent une apparente juxtaposition dans laquelle les liens entre les sols ne sont pas bien précisés. Il a été fait appel à des facteurs multiples pour les expliquer. Tout cela rendait indispensable une étude plus appro-

fondie de ces différenciations pédologiques pour une meilleure compréhension et une meilleure utilisation de la carte pédologique.

Voilà le problème qui s'est posé à moi. Pour le résoudre, je me suis servi de la connaissance que j'avais déjà du milieu pour le choix des sites d'étude et j'ai utilisé la méthode désormais classique des toposéquences de sols. Les observations ont été centrées sur le bassin versant de Basséko, représentatif des problèmes pédologiques de la région. Afin de préciser les variations par rapport à ce bassin versant, deux autres toposéquences de sols ont été étudiées, l'une à Sakoula près de la limite Nord-Est du bassin versant, l'autre plus au Sud, près de Nobéré en bordure de la Volta Rouge.

### 2. LA LOCALISATION DES ZONES D'ÉTUDE

La Haute-Volta occupe une position centrale en Afrique de l'Ouest.

La région Centre-Sud constitue une entité géographique qui correspond grosso-modo aux bassins versants des Voltas Blanche et Rouge en Haute-Volta (fig. 1). Le climat est sahélo-soudanais au Nord et soudano-sahélien au Sud.

Le bassin versant de Basséko est situé à 11 km au Nord-Ouest de Ouagadougou sur la route de Ouahigouya.

Les toposéquences sont localisées dans sa partie Nord-Ouest sur le long versant de près de 5 km qui va de l'interfluve Nord constitué par une ligne de

(1) *Pédologue O.R.S.T.O.M., BP 1386, Dakar (Sénégal).*

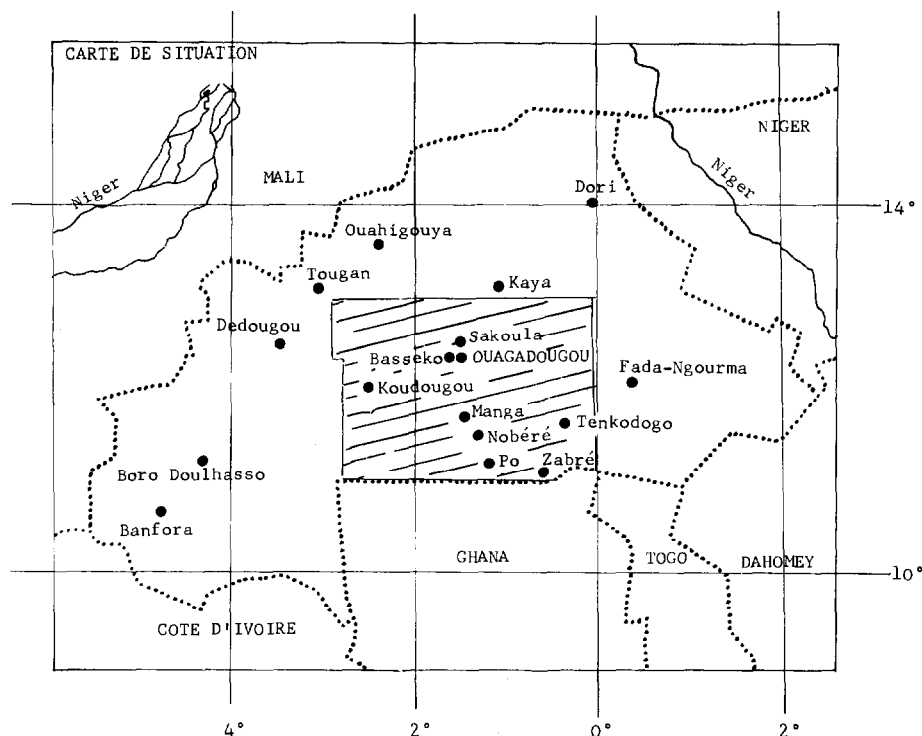


FIG. 1. — Localisation des zones d'études de Haute-Volta  
Région Centre-Sud

buttes cuirassées, au collecteur principal ou marigot de Basséko (fig. 2).

Ce versant comprend :

— une partie amont ou versant de Yerma sur laquelle ont été réalisées deux toposéquences dont une principale, orientée à peu près Nord-Sud en direction du collecteur principal ;

— une partie aval où l'on distingue deux sous-versants, l'un en direction du collecteur secondaire de Bissighin sur lequel ont été réalisées 4 toposéquences dont une principale, l'autre en direction du collecteur principal sur lequel a été réalisée une toposéquence dite de Basséko.

L'étude porte essentiellement sur la toposéquence principale de Yerma (versant amont), celles de Bissighin (versant aval en direction du collecteur secondaire) et de Basséko. La figure 3 donne leur profil en long.

La grande longueur des toposéquences, près de 5 km de la ligne de buttes cuirassées aux collecteurs, est une donnée naturelle de ces régions. Elle implique des toposéquences polygéniques.

### 3. L'ORGANISATION DES SOLS

#### 3.1. Le versant amont (ou de Yerma)

La roche-mère est un granite (leucocrate à biotite et parfois amphibole) à passées surmicacées à biotite et amphibole, plus rarement une migmatite hétérogène.

Les profils comprennent de bas en haut :

(a) UN ENSEMBLE D'HORIZONS A LITHOSTRUCTURE CONSERVÉE (arène) dans lequel les amphiboles sont le plus souvent transformées en kaolinite (plasma cristique de macrokaolinite), via la vermiculite et des feuillets micacés de type séricite, selon le schéma de J. M. WACKERMANN au Sénégal Oriental. Elles présentent parfois une pseudomorphose par un plasma ferrugineux brun sombre. Les plagioclases sont intensément microfissurés, puis altérés en kaolinite, directement pour la plus grande partie (plasma argilasépique), via la séricite pour l'autre partie. La biotite est rapidement oxydée sans expulsion notable du potassium (dès le début de l'altération) et décolorée (transformation en un faciès dioctaédrique) avant sa transformation en plasma cristique de macrokaolinite. Le microcline est d'abord

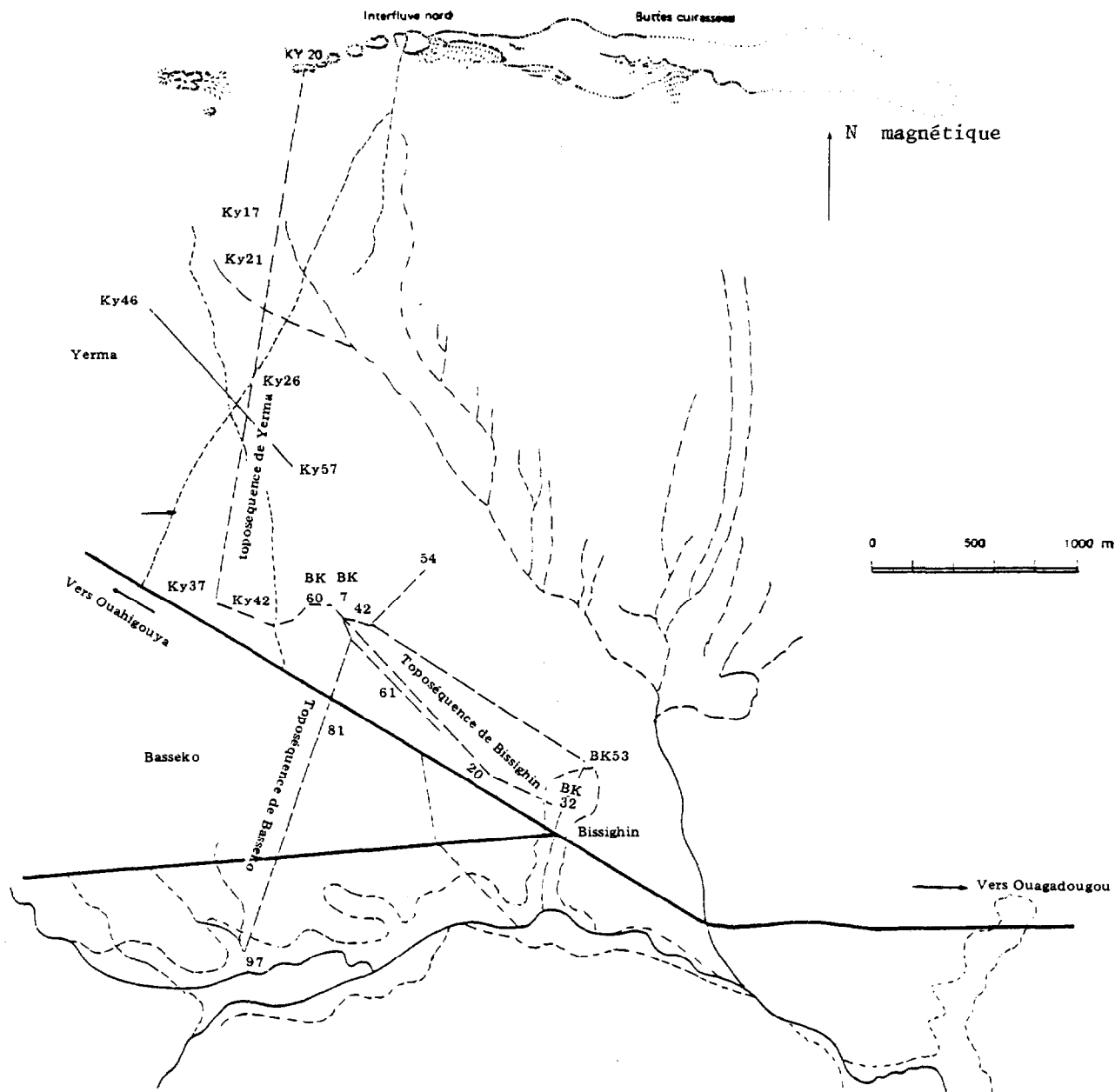


Fig. 2. — Localisation des points d'étude dans le bassin versant de Basséko

microfissuré puis « plasmifié » (plasma kaolinique argilasépique). Le quartz n'est pas altéré.

Il s'agit d'une altération en milieu *lessivant-oxydant* mais avec un *étagement des stades*. L'ensemble d'horizons à lithostructure conservée représente la base d'un vieux profil ferrallitique.

Sur les granites leucocrates à texture suffisamment poreuse, la transformation totale des plagioclases

et des amphiboles, respectivement en kaolinite + séricite et en kaolinite, est très rapide. Elle intervient immédiatement au-dessus de la roche-massive. La kaolinisation de la biotite commence aussi très rapidement, mais n'est totale qu'à la partie supérieure des arènes. L'étagement des stades d'altération est faible. Par contre, sur les migmatites hétérogènes (faciès mésoocrates dominants) et sur les passées

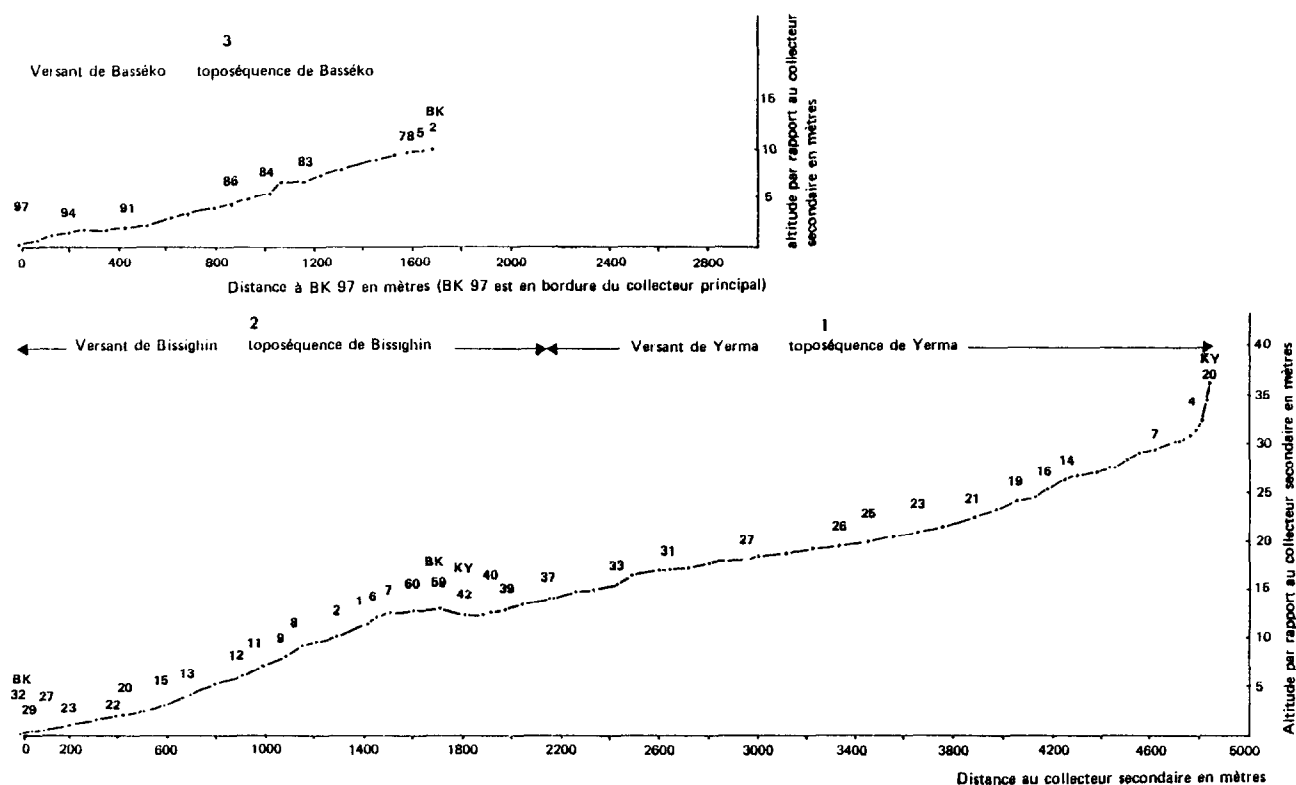


FIG. 3. — Profils en long des toposéquences principales dans le bassin versant de Basséko

mésocrates à pendage sub-vertical, on observe un enfoncement prononcé du front d'altération, et la formation d'une épaisse zone constituée de phyllites à trois couches intermédiaires de la kaolinisation des amphiboles, de la biotite oxydée et du microcline. L'étagement des stades d'altération est beaucoup plus grand sur ces roches. L'enfoncement prononcé du front d'altération s'observe également sur les granites mésocrates, mais avec une kaolinisation complète des plagioclases et des amphiboles sur une très grande profondeur.

Sur les granites leucocrates à texture massive, on observe une remontée plus ou moins importante du front de la roche massive. Lorsque le grain est grossier, l'amphibole est présente et on a une accumulation des phyllites à trois couches intermédiaires de son évolution vers la kaolinite, mais sur une distance plus courte. Ces phyllites sont localisées dans les arènes et dans l'horizon argilo-graveleux sus-jacent.

Dans l'épisode pédogénétique actuel, beaucoup moins agressif, les vermiculites résiduelles de l'altération kaolinique évoluent en smectites. Ces dernières sont ainsi exclusivement associées aux amphiboles. Outre la composition minéralogique de la roche,

ce sont sa texture et sa structure, qui règlent l'étagement des stades d'altération kaolinique et l'apparition des phyllites à trois couches résiduelles. Les biotites oxydées ont perdu l'aptitude à l'ouverture et n'évoluent pas. Elles constituent, ainsi que la kaolinite qui en dérive ou qui dérive des amphiboles, des témoins de l'ancienne altération. Cette kaolinite est dérivée de feuilletés micacés. Elle a des caractères cristallographiques (très grand développement des raies basales) permettant de la distinguer de celle (bien cristallisée) qui provient de la réorganisation des « fire-clays » issus des feldspaths.

(b) UN ENSEMBLE D'HORIZONS PLUS OU MOINS TACHETÉS OU BIGARRÉS dont les faciès sont litho-dépendants : le nombre et la taille des taches ferrugineuses augmentent avec la proportion de minéraux ferro-magnésiens de la roche-mère. Sur roche leucocriate, très pauvre en ferro-magnésiens, on a des horizons argilo-sableux jaune-rouge clair peu ou pas tachetés. Sur roches mésocrates, ils sont bigarrés, à grandes taches rouges, rouille, en assemblage anastomosé sur un fond très clair à blanchâtre. Ces horizons se sont formés ultérieurement aux dépens de l'arène ferrallitique, sous l'action des

nappes qui ont engendré les cuirasses et carapaces. Sur les granites à texture massive et à grain grossier, ils sont remplacés par un horizon argilo-graveleux à comportement de « terre sodique », qui contient un peu de smectites.

(c) UN ENSEMBLE D'HORIZONS INDURÉS EN CUIRASSES OU (ET) CARAPACES FERRUGINEUSES

#### *Le cuirassement de la butte*

Sur le sommet de la séquence (Zone 1, constituée par une butte cuirassée tabulaire), on observe une cuirasse et une carapace conglomératique, contenant de nombreux nodules ferrugineux de type gravillonnaire (formes arrondies, pâtre externe, cassure rouge sombre à rouge violacé). La composition minéralogique comparée de ces nodules et de leurs emballages indurés, montre que :

— les cuirasses et carapaces sont formées dans des produits détritiques hérités d'un vieux profil ferrallitique induré ;

— les nodules se sont formés pendant la phase initiale d'altération ferrallitique, au cours de l'hydrolyse des minéraux primaires, alors que le cuirassement de leurs emballages relève d'une phase pédogénétique ultérieure (dans l'esprit des travaux de L. NALOVIC).

Sur le flanc de la butte (Zone II), on a un ensemble d'horizons à nodules, cailloux et pierres de cuirasse hérités du démantèlement d'un vieux profil ferrallitique induré, et qui ont subi ultérieurement au moins deux épisodes de cuirassement à faciès conglomératique.

#### *Le cuirassement de la plaine*

Dans la concavité, point de départ de la plaine (Zone III), on observe uniquement des carapaces non conglomératiques qui sont souvent la partie supérieure durcie de l'ensemble d'horizons tachetés à bigarrés. Il s'agit des restes de profils indurés tronqués, dans lesquels il ne s'est pas produit de nouvelle phase de cuirassement.

Dans la zone plane suivante (Zone IV), des sols à cuirasse à faciès conglomératique ou (et) carapace et des sols sans cuirasse ou carapace alternent le long de la pente. Ces derniers sont localisés dans les entailles obséquentes, et les cuirasses à induration forte sur les convexités de la pente. Sur toute la partie amont de cette zone, cuirasses et carapaces sont les restes de profils indurés plus ou moins tronqués dans lesquels il ne s'est pas produit une nouvelle phase de cuirassement.

A partir de l'aval de la Zone IV et sur le reste de la plaine, il n'y a plus de cuirasse, mais tantôt une carapace, tantôt seulement un horizon à nodules ferrugineux qui représente la partie supérieure de

l'horizon bigarré. Les carapaces, localisées de préférence sur les roches leucocrates, sont le siège d'intenses « processus de lavage » (entraînement mécanique d'éléments fins et parfois même de sables). Elles sont le résultat d'une accumulation absolue de fer par des nappes d'eau. Celles-ci, statiques pendant l'épisode qui a engendré le cuirassement, sont en charge dans l'épisode suivant, consécutif à l'abaissement du niveau de base. C'est alors qu'elles provoquent les processus de lavage. Par rapport aux horizons indurés de la partie amont, il s'agit d'une phase ultérieure de cuirassement. Le mode d'emboîtement de l'ensemble de ces niveaux indurés suggère en fait au moins trois phases successives de cuirassement commandées par des niveaux de bases différents.

(d) UN ENSEMBLE D'HORIZONS SUPÉRIEURS MEUBLES qui sont, dans la partie amont de la plaine (Zone III et certains sols de la Zone IV), des horizons A différenciés dans d'anciens horizons d'accumulation de fer (matériau à nodules ferrugineux). Sur le reste de la plaine, cet ensemble est souvent plus épais. Il montre alors une différenciation texturale de type ferrugineux tropical lessivé (A1-A2-B). Les nodules ferrugineux sont répartis de façon anarchique (de A1 à B) ou essentiellement localisés à la partie inférieure des horizons B. Les caractères de la ségrégation ferrugineuse permettent de différencier ces derniers en B1 (sans taches), B2 (à quelques taches) et B3 (à nombreuses ou plus typiquement à très nombreuses taches rouge à rouille en assemblage anastomosé et alors faiblement indurées). Les B3 les plus typiques sont toujours le siège d'intenses processus de lavage, consécutifs à une modification de la dynamique des nappes qui les ont engendrés (abaissement du niveau de base). Ils sont donc subactuels. Les relations des fronts de ces différents horizons et de ceux des niveaux indurés sous-jacents avec la surface topographique, montrent que seuls les horizons B2 sont actuels. Les B3 se sont cependant formés sous une surface topographique et un niveau de base commandés par l'entaille récente. Ces relations montrent aussi que l'épaississement de l'ensemble d'horizons supérieurs meubles, correspond soit au colmatage des creux d'une paléotopographie, soit à une entaille plus profonde des niveaux indurés.

Les ensembles a et b constituent la partie inférieure des profils, c et d leur partie supérieure.

### 3.2. Les versants aval

#### (a) LA PARTIE INFÉRIEURE DES PROFILS

Par rapport à l'amont, la spécificité dans l'organisation des profils porte essentiellement sur leurs parties inférieures. La roche-mère est souvent une migmatite hétérogène à biotite et amphibole à injections

de pegmatites. On observe alors la présence d'un niveau pegmatitique (plus ou moins développé) entre les parties supérieure et inférieure des profils. Lorsque ce niveau n'existe pas, la différenciation de la partie inférieure reste identique à celle du versant de Yerma. Par contre, sous ce niveau, l'ensemble d'horizons lachetés et bigarrés est remplacé par un horizon argileux, à caractères plus ou moins vertiques (plus ou moins riche en smectites), passant à des arènes à lithostructure conservée.

L'altération kaolinique s'est exercée comme sur le versant de Yerma, mais avec un étagement de ses stades d'autant plus grand que les niveaux pegmatitiques (probablement associés à une texture plus massive des roches) sont mieux développés. Elle peut même n'avoir pu que « lécher » le toit de la roche-mère sous le niveau pegmatitique. On a alors, dans les arènes sous-jacentes à l'argile vertique, l'altération actuelle à l'état pur. Elle est faible et limitée à la production de smectites de transformation à partir des amphiboles.

#### (b) LA PARTIE SUPÉRIEURE DES PROFILS

Dans l'ensemble d'horizons indurés, cuirasses et carapaces sont beaucoup mieux représentées que sur le versant de Yerma. La comparaison des différents fronts de cuirassement avec la surface topographique montre que le cuirassement est dû à l'action d'une nappe à mouvement oblique glissant sur les niveaux de pegmatite, dont la surface piézométrique épouse la configuration. La comparaison des versants de Bissighin (en direction du collecteur secondaire) et de Basséko (en direction du collecteur principal) montre que la pente plus forte du premier est le résultat d'une rectification postérieure à la formation des cuirasses : c'est le cycle d'entaille des niveaux cuirassés à induration forte. A ce dernier succède le cycle de formation des carapaces « lavées », comme sur le versant de Yerma. C'est un cuirassement puissant et localisé uniquement aux zones à nappe hydrostatique. La physiographie des différents fronts de cuirassement confirme également que les carapaces et les horizons à nodules, occupant les concavités de la pente, sont consécutifs à une entaille des cuirasses. Elle montre également que l'épaississement de l'ensemble d'horizons supérieurs correspond soit au nivellement des creux d'une paléotopographie, soit à l'entaille plus profonde des niveaux indurés.

#### 4. LA GÉOCHIMIE DES SOLS

Les résultats des analyses chimiques (triacide avec analyse du résidu), physico-chimiques (complexe absorbant au sens large, englobant la granulométrie

de la terre fine), physiques (composition granulométrique des sables), ont été traités par l'analyse factorielle des correspondances séparément ou associés sous forme de tableaux de contingence. L'interprétation de ces analyses permet de retrouver les grands traits des sols ressortant des études morphologiques et minéralogiques. Parmi ceux-ci, on peut citer : l'origine détritique de l'ensemble d'horizons supérieurs meubles, l'altération ferrallitique typique (sans allitisation) de la partie inférieure des profils sans niveau de pegmatite, le mécanisme de formation des cuirasses et carapaces (accumulation absolue de fer dans des matériaux fortement altérés, dérivés de roches leucocrates : il s'agit d'une litho-dépendance inverse de celle habituellement admise), une altération actuelle essentiellement limitée aux amphiboles.

#### 5. CONCLUSION

*Transférés à l'échelle de la carte pédologique de la Région Centre-Sud de la Haute-Volta, les résultats de cette étude permettent de comprendre :*

#### (a) LES MÉCANISMES DU PASSAGE DE L'ALTÉRATION KAOLINIQUE A L'ALTÉRATION MONTMORILLONIQUE, QUI SONT LIÉS A LA TEXTURE ET A LA STRUCTURE DES ROCHES-MÈRES

Les sols à smectites sont principalement localisés sur le panneau oriental migmatitique, et les sols kaoliniques sur le panneau occidental granitique. Sur le premier, l'épirogenèse qui affecte ces régions situées essentiellement dans ou en bordure de la zone séparant le craton Ouest-africain de celui du Congo, a probablement ajouté son action de modulation du drainage à celle des textures et des structures migmatitiques.

*L'étape intermédiaire de phyllites à trois couches dans l'altération kaolinique est une conséquence de l'action des cations bivalents sur la formation de la kaolinite. Cette action peut être interprétée à l'échelle des macrosystèmes d'altération. Cette étude met plutôt l'accent sur les microsystèmes d'altération que constitue chacun des minéraux d'une roche : à mesure que la qualité du drainage diminue, l'étape phyllites à trois couches se limite à des minéraux de plus en plus riches en cations octaédriques. Dans ces conditions, il n'y a pas d'un côté une altération monosiallitique et de l'autre côté une altération bisiallitique. La seconde est ici une étape de la première, devenue étape finale par suite d'une aridification du pédoclimat.*

Ces résultats, obtenus à l'échelle de la région Centre-Sud, peuvent être extrapolés à l'ensemble de la Haute-Volta et à des pays voisins.

(b) LA DIFFÉRENCIATION DES SOLS A MORPHOLOGIE  
FERRUGINEUX TROPICAL ET LEURS RELATIONS  
AVEC LE CUIRASSEMENT

Leurs matériaux constitutifs sont des produits détritiques remaniés au-dessus des horizons indurés. Le long d'une pente donnée, leurs épaisseurs et les caractères des niveaux indurés sous-jacents sont liés aux entailles obséquentes de ces derniers. Les caractères de la ségrégation ferrugineuse qu'on y observe ne sont pas le résultat d'une évolution de type ferrugineux tropical, et la différenciation texturale relève d'un appauvrissement superficiel en éléments fins propre au fonctionnement des glacis. L'hétérogénéité est donc la règle dans la distribution de tels caractères.

(c) LES PROCESSUS ACTUELS DE « LAVAGE » CON-  
SISTENT BIEN EN UN SIMPLE ENTRAÎNEMENT  
MÉCANIQUE DES PARTICULES DU SOL SANS  
INTERVENTION DE PROCESSUS PHYSICO-CHIMI-  
QUES

Ils se distinguent du lessivage dans les sols ferrugineux tropicaux, avec dissociation du complexe kaolinite-fer et migration différentielle de ces deux constituants selon leurs caractères physico-chimiques. *Les horizons A2 issus de ces processus de lavage ne sont pas spécifiques d'un type de sol donné.* Dans le cas particulier où la zone de concentration et de circulation de l'eau est une discontinuité texturale au-dessus d'horizons vertiques imperméables, on obtient une morphologie de solonetz solodisés.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.  
le 1<sup>er</sup> février 1984*