

PREMIERS RESULTATS D'UNE ETUDE MORPHOLOGIQUE ET DYNAMIQUE DETAILLEE
DES SOLS CUIRASSES DU CENTRE-SUD DE LA HAUTE VOLTA;
LES HORIZONS FERRUGINEUX ET LES HORIZONS D'ALTERATION SOUS-JACENTS

par
B. KALOGA +

I.- INTRODUCTION

A.- But de l'étude

Ce travail a été entrepris à la suite des résultats de l'étude pédologique des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge au 1/200.000^e (KALOGA 1964) et de l'étude pédologique du Secteur Centre Sud de la Haute Volta au 1/500.000^e (KALOGA 1969).

Son but est d'analyser de façon rigoureuse un certain nombre de relations pédogénétiques dégagées au cours de ces études antérieures, notamment en ce qui concerne le passage de l'altération kaolinitique à l'altération montmorillonitique et l'évolution des sols développés dans le manteau kaolinitique ancien.

Il s'insère, dans le cadre du thème B, dans l'étude plus générale de la pédogenèse en région à longue saison sèche de l'Afrique Occidentale. Le groupe Haute Volta travaillant sur ce programme comprend en outre R. BOULET et J.C. LEPRUN.

B.- Le cadre géomorphologique

Le secteur Centre Sud de la Haute Volta que j'ai étudié au 1/500.000^e est compris entre les longitudes 0^e et 3^e W et les latitudes 11^e et 13^e N.

Géomorphologiquement, il s'agit principalement de grands glacis polygéniques, à pentes faibles à très faibles, d'où émergent par endroits des lambeaux de surfaces anciennes mieux individualisées et des inselbergs rocheux. Les reliefs témoins appartiennent à deux groupes de surfaces :

- antéquatérnaires
- quaternaires (haut glacis, moyen glacis)

Le démantèlement des cuirasses anciennes, y compris celle du dernier cycle de cuirassement quaternaire a été très énergique.

Les toposéquences étudiées dans la région de Ouagadougou sont au nombre de six. Elles sont installées sur un long glacis, dominé au Nord par une ligne de buttes cuirassées que l'on peut rattacher au haut glacis. Il ne sera traité ici que des deux toposéquences principales qui comprennent au total 33 profils dont les profondeurs varient de 1 à 19 mètres.

1. Toposéquence de Yerma - Bissighin

Elle part du sommet d'une butte du haut glacis pour se terminer, après un changement de direction, dans un collecteur secondaire mal individualisé. Elle est orientée Nord-Sud puis Est-Ouest. On peut la subdiviser en plusieurs parties :

a) la butte du haut glacis (KY 20 et KY 1) avec des flancs à pente de l'ordre de 13 %.

b) la plaine amont : longue d'environ 1.100 m ; elle comporte :

- une partie supérieure concave (profils KY 2 à KY 8, où les pentes s'abaissent progressivement de 4 % environ en amont à moins de 1 % en aval.

- une partie moyenne convexo - concave (profils KY 8 à KY 19) à pentes faibles de l'ordre de 1 % en amont et inférieures à 1 % en aval.

- une partie inférieure rectiligne à pentes inférieures à 1 % (profils KY 19 à KY 23).

c) la plaine moyenne : longue de 1.500 m, elle est rectiligne et à pentes très faibles inférieures à 1 %.

d) la plaine aval : à pentes très faibles de l'ordre de 1 % à l'amont (BK 7 à BK 17) et 0,5 % à l'aval. Elle apparaît très vaguement ondulée.

e) la plaine basse : à pentes très faibles de l'ordre de 0,5 à 0,2 %.

2. Toposéquence de Yerma - Bassinkô

Elle ne se différencie de la précédente qu'à partir du profil BK 2 (dans la plaine aval) : elle se dirige alors vers la collature principale selon une direction Nord-Sud avec des pentes très faibles inférieures à 1 %.

a) la plaine aval : longue d'environ 1.400 m, elle est légèrement convexe sur sa majeure partie (les 1.000 m amont) et concave dans sa partie aval.

b) la plaine basse : elle est convexo-concave. La convexité située à l'amont correspond à une sorte de bourrelet de berge.

C.- Les sols

Ils comportent :

- des horizons superficiels meubles où la teneur en argile augmente très souvent en profondeur ; ces horizons sont d'épaisseur variable ; ils sont parfois riches en nodules ferrugineux bien individualisés (gravillons) ;

- des horizons inférieurs ferruginisés (cuirasse, carapace, horizons bigarrés ou tachetés) passant en profondeur à des horizons d'altération.

La différenciation morphologique de ces sols est celle des sols ferrugineux tropicaux. Nous n'aborderons dans le présent article que l'étude, morphologique et dynamique, des horizons ferruginisés et des horizons d'altération.

II.- LES HORIZONS FERRUGINEUX

A.- Observations morphologiques

A. 1. Toposéquence Yerma - Bissighin

A. 1. 1. Epaisseur et intensité du cuirassement en fonction de la topographie

a) Butte du haut glacis : cuirasse massive de 90 cm d'épaisseur à induration forte, passant en profondeur à une carapace de 220 cm d'épaisseur. Sur le flanc de la butte : sol gravillonnaire profond sur carapace.

b) Plaine amont :

- Partie supérieure concave (KY 2 à KY 3) : carapaces de 70 à 90 cm d'épaisseur ou horizons bigarrés durcis en carapace.

- Partie moyenne (KY 8 à KY 19) : la partie convexe est principalement occupée par des cuirasses passant en profondeur à la carapace, ou par des affleurements de migmatite.

- Partie inférieure : elle est occupée par des carapaces.

A souligner qu'il existe cependant dans cette plaine amont des zones où cuirasses et carapaces sont remplacées par des horizons à nodules ferrugineux (KY 10, KY 11, KY 16).

c) Plaine moyenne : l'horizon ferruginisé est réduit à des horizons à nodules ferrugineux peu épais (50 à 110 cm) surmontant des horizons bigarrés épais. Cette plaine comporte en aval de nombreux affleurements de migmatite leuocrate.

d) Plaine aval : la partie supérieure de cette plaine aval est couverte de sols à cuirasses et carapaces. Les cuirasses correspondent à des zones légèrement plus convexes. L'épaisseur cuirasse + carapace est généralement de l'ordre de 60 à 80 cm. La partie inférieure comporte des sols à carapaces et des sols à horizons nodulaires. L'épaisseur des carapaces est très variable. Elles sont souvent du type feuilleté et ont d'abord des épaisseurs du même ordre qu'à l'amont ; puis elles disparaissent pour ne laisser subsister qu'un horizon à nodules ferrugineux, cailloux et graviers de feldspaths et de quartz. Elles réapparaissent ensuite avec des épaisseurs du même ordre qu'à l'amont (80 cm) et atteignent 70 à 130 cm à l'extrémité aval où elles sont encore du type feuilleté.

e) Plaine basse : au début de la plaine basse (profils BK 27 et 28), le cuirassement est réduit à des horizons à nodules ferrugineux de 20 et 80 cm d'épaisseur. La carapace continue réapparaît à partir de BK 29 avec des épaisseurs de l'ordre de 20 à 50 cm d'épaisseur, mais ce sont des carapaces à squelette ferrugineux très fragile, grignotées par les phénomènes de lavage des éléments fins (voir § II - B). Dans les profils BK 28, 29 et 30, l'accumulation ferrugineuse se fait dans un niveau pegmatitique ou repose sur un tel niveau. Les carapaces réapparaissent donc à l'extrémité inférieure de la plaine aval, font place à des horizons à nodules au début de la plaine basse, puis réapparaissent à nouveau à l'aval de la plaine basse.

Le passage carapace-horizon à nodules se fait très rapidement et parfois dans le même profil (BK 25). Dans le profil BK 44 - situé sur la deuxième toposéquence descendant sur le collecteur secondaire - ce passage s'accompagne d'une forte réduction de l'épaisseur de l'horizon ferrugineux à nodules, liée

à la remontée de la pegmatite. Ce dernier exemple montre que le passage d'un type de cuirassement comme la carapace feuilletée à un horizon à nodules n'est pas forcément le résultat d'une évolution ultérieure, mais aussi de variations dans l'intensité du cuirassement liées à des variations dans la nature pétrographique de la roche mère.

Conclusion sur les variations d'épaisseur et d'intensité du cuirassement.

a) Intensité du cuirassement en fonction de la topographie : du début de la plaine amont à la fin de la plaine aval, sur plus de 4.700 m de long et plus de 30 m de dénivelée, on n'observe pas de variations dans l'épaisseur et l'intensité du cuirassement en fonction de la topographie. Les trois zones de diminution de l'intensité du cuirassement (plaine moyenne, partie inférieure de la plaine aval, plaine basse) correspondent à des zones où l'accumulation des sesquioxides de fer devrait être optimum : ce sont toutes les trois des zones où la pente diminue, avec à l'amont des matériaux riches en fer. Le sommet de la butte correspond à la zone de plus forte intensité du cuirassement. Ce manque de hiérarchisation de l'intensité du cuirassement en fonction de la topographie ne semble pas pouvoir correspondre au profil en long d'un cuirassement non retouché par l'érosion.

b) Intensité du cuirassement en fonction de la roche mère : les niveaux de pegmatite sont apparus comme étant des couches d'arrêt du cuirassement. Pour cela, il fallait qu'ils soient compacts, très peu poreux. Leur porosité actuelle proviendrait alors de processus de remaniement, ou (et) de processus de lavage.

Ces variations dans l'intensité du cuirassement, ces phénomènes d'arrêt du cuirassement dans des niveaux de pegmatites de faibles épaisseurs, ne sont possibles que si l'on admet une évolution du cuirassement selon le schéma décrit par MAILLARD : "Une des conséquences de l'abaissement du niveau de base est l'approfondissement progressif du front de cuirassement. Les conditions nouvelles d'humidité ralentissent l'intensité de l'altération des roches sous-jacentes et amènent peu à peu l'induration du sol jusqu'au contact de la roche fraîche." On aperçoit là une des clés du passage de l'altération kaolinitique à l'altération montmorillonitique et la cause de la superposition fréquente des carapaces et cuirassés à la roche saine, dans le Centre Sud de la Haute Volta.

A. 1. 2. Variations du front supérieur du cuirassement en fonction de la topographie

a) Plaine amont

- Partie supérieure : on ne peut parler de véritables carapaces. Il s'agit principalement de matériau bigarré durci.

- Partie moyenne : le front supérieur de cuirassement est à peu près concordant avec la surface topographique.

- Partie inférieure : le front supérieur de cuirassement, parfaitement concordant avec le précédent, s'enfonce à l'aval par rapport à la surface topographique.

b) Plaine moyenne : on n'y observe que des horizons à nodules : le cuirassement continu s'arrête à la fin de la plaine amont. Si on joint entre eux les sommets des horizons à nodules, ce front supérieur de cuirassement (sens large) remonte en aval et recoupe la surface topographique actuelle. La présence de blocs de cuirasse ça et là à la surface du sol montre que la cuirasse a pu exister, mais aurait alors été démantelée.

c) Plaine aval

- Partie supérieure : le front supérieur de cuirassement (sens large) est à peu près concordant avec la surface topographique actuelle.

- Partie inférieure : lorsque l'on joint entre eux les sommets des carapaces (et les sommets des horizons à nodules lorsque les carapaces n'existent pas), on obtient un front supérieur de cuirassement (sens large) très irrégulier. Mais lorsque l'on joint entre eux les seuls sommets les plus élevés, on obtient un front supérieur de cuirassement concordant avec la surface topographique actuelle (si l'on fait abstraction des convexités d'origine anthropique. en I 11 et I 19).

d) Plaine basse : le front supérieur de cuirassement (sens large) s'enfonce en aval par rapport à la surface topographique actuelle. Si l'on considère ensemble la fin de la plaine aval et la plaine basse, le front supérieur de cuirassement subit un décrochement brusque par rapport au reste de la plaine aval, décrochement qui évoque une entaille.

Conclusions sur les variations du front supérieur de cuirassement

Sur la majeure partie de la plaine amont, on constate que le front supérieur de cuirassement est concordant avec la surface topographique actuelle. A l'aval de cette plaine, tout en restant concordant avec l'amont, le front supérieur de cuirassement s'enfonce par rapport à la surface topographique actuelle.

Lorsqu'on considère l'ensemble de la toposéquence, on constate que sur sa majeure partie et depuis l'amont jusqu'à l'aval, le front supérieur de cuirassement est concordant avec la surface topographique actuelle, ce qui ne correspond pas au profil d'un cuirassement en place non retouché par l'érosion, dans la mesure où l'accumulation absolue des sesquioxydes de fer est liée soit à la nappe phréatique, soit à une inhibition du drainage libre. D'autre part, dans la plaine moyenne, la disparition des cuirasses et carapaces coïncide, nous l'avons vu, avec la zone d'accumulation optimum des sesquioxydes de fer : zone où la pente diminue avec à l'amont des matériaux riches en fer. Dans la partie inférieure de la plaine aval et dans la plaine basse, les irrégularités du niveau supérieur des horizons cuirassés (sens large) par rapport à la surface topographique actuelle évoquent des entailles.

A. 1. 3. Variations du front inférieur de cuirassement en fonction de la topographie

a) Plaine amont : dans la partie supérieure de la plaine amont, on n'a pas de véritable carapace, mais des horizons tachetés ou bigarrés durcis. Dans cette partie le front inférieur de cuirassement recoupe donc la surface topographique actuelle. Dans les parties moyenne et inférieure, si l'on ne considère que les cuirassements continus, le front inférieur de cuirassement est à peu près concordant avec la surface topographique actuelle. Il ne s'enfonce par rapport à elle que de KY 21 à KY 22.

b) Plaine moyenne : on n'observe plus de véritable cuirassement continu mais seulement des niveaux à nodules ferrugineux. Ces niveaux peuvent être cimentés, mais de façon très fragile par des taches rouges très peu indurées. Le front inférieur des niveaux à nodules, à peu près horizontal depuis KY 22 (dans la plaine amont) recoupe la surface topographique actuelle. Il y a donc à partir de KY 22, un brusque changement de la pente du front inférieur de cuirassement. On observe, rappelons-le, le même phénomène en ce qui concerne le front supérieur de cuirassement.

c) Plaine aval : le front inférieur de cuirassement est à peu près concordant avec la surface topographique actuelle, sauf à l'extrémité aval où il subit, par rapport à celle-ci, un décrochement brusque qui a l'allure d'une entaille. Mais il suit également le front d'apparition du niveau de pegmatite sur lequel il s'arrête. La zone de disparition des carapaces correspond à celle où le niveau de pegmatite remonte jusqu'à la hauteur du front supérieur actuel des carapaces ou cuirasses.

d) Plaine basse : lorsque l'on considère le front inférieur des horizons à nodules ferrugineux nombreux, il est d'abord horizontal de BK 26 à BK 28, puis plonge brusquement en profondeur à partir de BK 28. Dans les profils BK 23, 29 et 30, le niveau à nodules ferrugineux est constitué dans un matériau pegmatitique ou repose sur ce matériau.

Conclusions sur les variations du front inférieur de cuirassement

Si l'on admet que l'accumulation absolue des hydroxydes de fer est liée à la nappe, le front inférieur de cuirassement devrait pouvoir donner une idée de la topographie de la nappe au moment du cuirassement. Cependant, dans la plaine aval où, sur la majeure partie, ce front est concordant avec la surface topographique actuelle, il suit le niveau de pegmatite qui apparaît comme un niveau d'arrêt. Il ne peut donc pas donner une idée de la topographie de la nappe qui a présidé au cuirassement.

A. 2. Toposéquence Yerma - Bassinkô

A. 2. 1. Epaisseur et intensité du cuirassement en fonction de la topographie

a) Plaine aval

- Partie convexe (jusqu'à BK 88 inclus) : l'épaisseur des cuirasses et carapaces se maintient à des valeurs allant de 170 à 250 cm. Seul le profil BK 78 a une épaisseur cuirasse + carapace de 103 cm. Le niveau supérieur de cuirassement est constitué le plus souvent par de la cuirasse. Les carapaces en tant que niveau supérieur de cuirassement sont plus fréquentes vers l'aval, mais on en trouve aussi à l'amont.

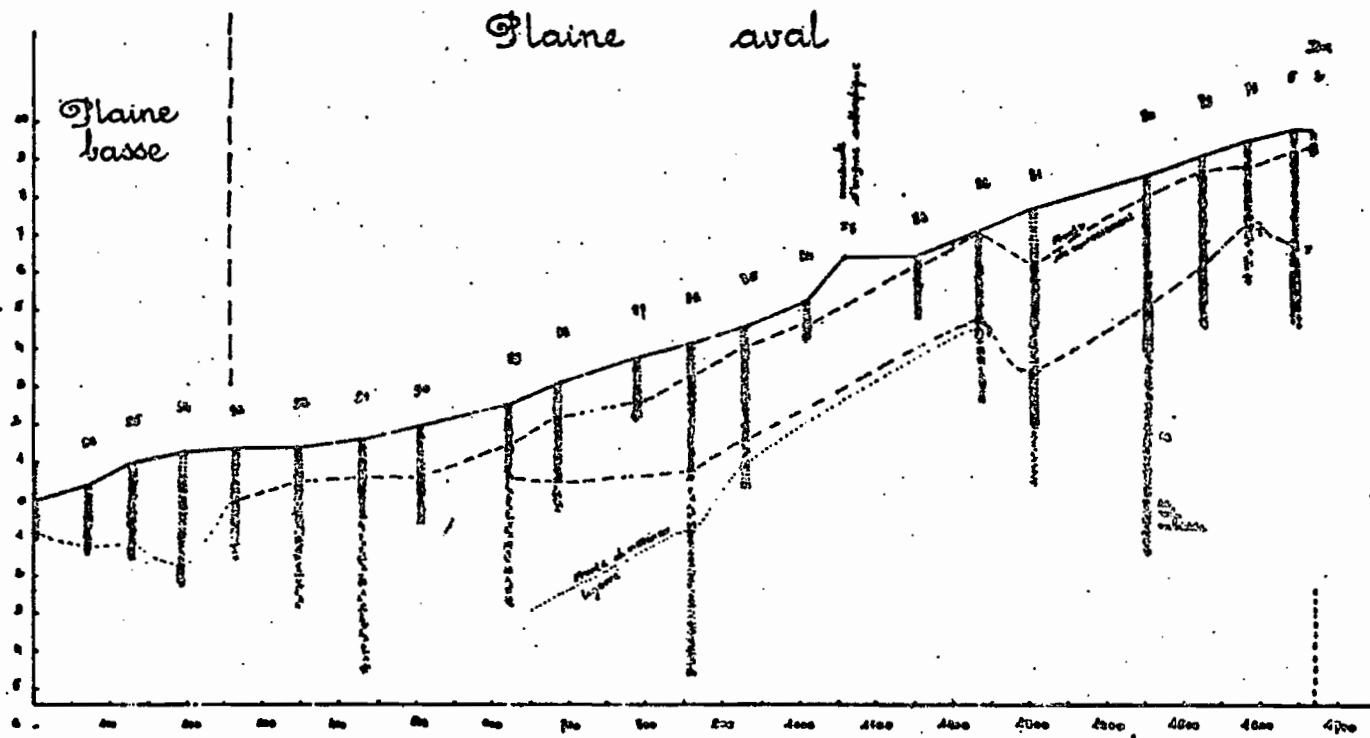
- Partie concave (BK 89 à BK 93 inclus) : on n'observe plus de cuirasse, mais seulement des carapaces dont les épaisseurs ne sont plus que de l'ordre de 60 à 100 cm. On ne peut pas expliquer ici cette diminution de l'épaisseur du cuirassement par la présence d'un niveau d'arrêt en profondeur. L'épaisseur du cuirassement diminue malgré une forte épaisseur de matériau kaolinitique et le fait que l'on se trouve vers le bas de pente. Ce fait est corrélatif d'un changement dans la nature du cuirassement :

. dans la partie convexe, les carapaces ont un squelette rouge en grandes taches anastomosées sur un réseau de tubulures.

. dans la partie concave, on passe à des carapaces à induration plus faible (on a du mal à en retirer des éclats cohérents) cimentant de nombreux nodules ferrugineux assez bien individualisés par rapport au ciment ferrugineux paraissant fragile. Ces nodules paraissent être dans certains profils des gravillons ferrugineux⁺. Parfois, on trouve sous ces carapaces un horizon à nodules bien individualisés non cimentés, tassés dans une terre fine argileuse. Parfois sous la carapace nodulaire, on passe à une carapace à squelette continu, à induration faible qui fait la transition avec le matériau bigarré.

⁺ Le terme gravillon ferrugineux est utilisé ici pour des nodules plus ou moins remaniés.

Toposéquence Yerma-Bassinko



b) Plaine basse : à partir de BK 94 on est arrêté par la nappe pour l'examen des profils au-delà de 150 à 300 cm (en 1972, année où la nappe a été exceptionnellement basse). Les carapaces plongent sous les matériaux argileux. Ce sont des carapaces à squelette continu, à induration plus forte, surmontées, sauf dans le profil BK 97, d'un niveau gravillonnaire non carapacé plus ou moins épais. On observe dans les matériaux argileux superficiels un pseudogley actuel intense à taches, sans concrétions.

Conclusion

On constate, sur cette portion de toposéquence, une certaine hiérarchisation dans l'intensité du cuirassement de l'amont vers l'aval, mais dans le sens d'une atténuation vers l'aval. Si l'on admet qu'il n'y a pas eu inversion de relief depuis ce cuirassement, il faut alors admettre que les cuirasses et carapaces étaient plus épaisses là où on observe actuellement les carapaces fragiles et peu épaisses. Cela suppose un démantèlement plus intense de ces niveaux cuirassés vers le bas de pente.

A. 2. 2. Variations du front supérieur de cuirassement en fonction de la topographie

a) Plaine aval : dans la partie supérieure de cette portion de toposéquence, jusqu'au profil BK 82, les variations du front supérieur du cuirassement en fonction de la topographie sont irrégulières. Ce front s'abaisse légèrement au niveau du profil BK 78 et beaucoup au niveau du profil BK 81 sans que l'on puisse en rendre responsables des variations dans l'intensité du cuirassement. A partir de BK 82, on peut dire que le front supérieur de cuirassement s'enfonce à peu près progressivement en fonction de la pente, ce qui veut dire que les matériaux sur cuirasse s'épaississent vers l'aval. On a ainsi un profil longitudinal de colluvionnement le long d'une pente.

b) Plaine basse : le front supérieur de cuirassement, si l'on exclut les horizons gravillonnaires non cimentés, subit un brusque décrochement qui a tout l'aspect d'une entaille dont la profondeur maximum est au niveau de BK 94. Le colluvionnement est plus épais et sa base est gravillonnaire.

A. 2. 3. Variations du front inférieur de cuirassement en fonction de la topographie

Dans la partie supérieure de cette portion de toposéquence (jusqu'à BK 80), les carapaces passent rapidement, par l'intermédiaire d'un horizon à nodules peu épais, à une altération verticale de migmatite à biotite mésocrate, ou mésocrate à leucocrate. A partir de BK 85, on ne trouve plus de matériaux d'altération verticale. Les carapaces passent en profondeur à un matériau kaolinique bigarré.

De BK 5 à BK 82, le niveau inférieur des carapaces s'abaisse avec une pente nettement plus forte que celle de la surface topographique actuelle. On note cependant de nettes irrégularités dues à une remontée provoquée par la présence de niveaux de pegmatites (profils BK 78 et BK 82). De BK 82 à BK 86, le niveau inférieur des carapaces s'abaisse à nouveau avec sensiblement la même pente que précédemment. A partir de BK 86, sans que l'on puisse faire intervenir l'action de quelconques niveaux d'arrêts, il tend vers l'horizontale, avec encore cependant une pente assez sensible entre BK 89 et BK 91. A partir de BK 92, le niveau inférieur des carapaces plonge à nouveau.

Si le niveau inférieur des carapaces peut donner une idée de la topographie de la nappe au moment du cuirassement, celle-ci aurait donc à peu près le même sens de variation que la topographie actuelle. Il n'y aurait donc pas eu d'inversion de relief depuis ce cuirassement. En conséquence, le cuirassement devrait être plus important à l'aval qu'à l'amont contrairement à ce que l'on observe. Il aurait donc été fortement démantelé à l'aval.

On retrouve ici, comme dans la toposéquence de Bissighin, l'influence des niveaux de pegmatites en tant que niveaux d'arrêt dans les processus de cuirassement.

B. - Dynamique actuelle

Avant de commencer ce chapitre, il convient de préciser le sens du terme "lavage" que l'on retrouvera fréquemment dans ce texte. J'appellerai "lavage" un simple entraînement mécanique des particules de sols. Dans le phénomène de lavage, il n'y a hiérarchisation de la mobilisation et de l'accumulation que selon la taille des constituants. Dans le phénomène de lessivage, il y a intervention de phénomènes physico-chimiques avec hiérarchisation de la mobilisation et de l'entraînement selon la mobilité physico-chimique des constituants.

B. 1. Toposéquence Yerma - Bissighin

a) Plaine amont : ici nous arrêterons la plaine amont avant le profil KY 16. Dans les carapaces, les tubulures sont vidées ou à remplissage d'origine biologique. On peut observer quelques tubulures tapissées par de beaux films argileux, mais on n'observe pas de dépôts de sables fins blanchis, sur toute l'épaisseur du profil. Dans les matériaux argileux sous-jacents, on note la présence fréquente de films argileux dans les tubulures et sur les faces naturelles d'agrégats. Les carapaces peuvent comporter, comme dans le profil KY 13, de très nombreuses alvéoles et cavités vidées, avec cependant un mince revêtement argileux rouge pâle sur leurs parois. Il est probable que les phénomènes de lavage qui prévalent dans la plaine aval n'aient pas lieu ici, et que les tubulures se soient vidées sous l'action de la faune du sol et non par lavage de leur contenu.

b) Plaines moyenne et aval : les profils sont caractérisés par un phénomène de lavage généralisé sur tout ou partie des matériaux ferruginisés. Ce lavage se traduit par des tubulures à plafonds et parois verticales lavés proprement, avec des revêtements de sables fins ou de sables résiduels (avec alors des sables grossiers) sur les planchers des tubulures. Sur ces revêtements sableux, on observe souvent des micro-cuvettes de décantation argileuse avec de beaux films argileux rappelant des fonds de cuvette de décantation. Il y a donc une phase de lavage, suivie d'une phase de décantation argileuse. Cela apparaît sur de nombreux profils de la plaine aval (de BK 7 à BK 19).

Cependant, dans la plaine moyenne, la succession de ces deux phases n'apparaît pas nettement. Le phénomène de lavage y est généralisé sur tout ou partie des matériaux ferruginisés, avec des revêtements de sables fins roses sur les parois des tubulures tapissées par de beaux films argileux. Parfois, les revêtements sableux nappent ces films argileux. Il semble donc que, dans cette plaine (portion KY 21 à KY 27), il y ait lavage d'anciens horizons B, mais sans phase de décantation argileuse actuelle.

A l'extrémité inférieure de la plaine aval (profils BK 23 et BK 24), si les plafonds des tubulures sont lavés proprement, leurs planchers comportent des dépôts argileux épais, pouvant atteindre 4 mm d'épaisseur, avec de beaux films argileux à leur surface. Le problème est de savoir si ces dépôts épais sur les planchers des tubulures sont originels ou sont les résultats d'une accentuation de la sédimentation argileuse consécutive à la phase de lavage généralisé. Dans ce dernier cas, la sédimentation argileuse apparaîtrait ainsi plus abondante à l'aval qu'à l'amont.

Il semble cependant difficile d'obtenir le dépôt d'une aussi épaisse couche argileuse sur les planchers, pendant que les plafonds des feuillettes de carapace sont énergiquement lavés. Il est donc probable qu'il s'agisse d'une accumulation originelle partiellement lavée pendant la phase de lavage généralisé, puis nappée actuellement par un film argileux. L'existence de ces dépôts argileux se retrouve également dans le profil BK 5. On peut y voir dans la carapace que le lavage l'emporte tant sur les plafonds que sur les planchers des tubulures. Mais on peut observer des lambeaux de dépôts argileux en voie de destruction sur les planchers de tubulures. A l'appui de cette hypothèse, on peut également observer des zones où les planchers des tubulures comportent bien un dépôt argileux superficiel brillant, et à surface hérissée de sables grossiers. Il s'agit là de dépôts originels partiellement lavés et non encore recouverts de films argileux par la sédimentation argileuse actuelle. Lorsque ces dépôts originels ont été plus énergiquement lavés, on aboutit au stade où il n'en reste que des sables grossiers hérissant le plancher des tubulures et nappés d'un film argileux à leur base par la décantation argileuse actuelle.

c) Plaine basse : les phénomènes de lavage sont prédominants. On a des carapaces paraissant grignotées intensément par des langues et poches gris blanchâtre, peu cohérentes, gravillonnaires, sous-jacentes à des niveaux gravillonnaires (et parfois graveleux), lavés de leurs éléments fins. Mais ces zones gravillonnaires préalablement lavées de leurs éléments fins, sont actuellement en voie d'être nappées par des revêtements argileux.

La phase de lavage est donc suivie d'une phase actuelle de décantation argileuse. Cependant ce lavage intense n'est pas généralisé sur les sols de la plaine basse. C'est ainsi que certains profils, en bas de la toposéquence, présentent à faible profondeur un horizon B d'accumulation typique avec des revêtements argileux sur toutes les parois des tubulures et plus épais sur les planchers.

Le phénomène de lavage intense se manifeste particulièrement bien lorsque des niveaux gravillonnaires sont sus-jacents à une argile verticale qui favorise la formation d'une nappe suspendue et la circulation oblique de l'eau. On a alors des horizons gravillonnaires croulants, sans cohésion, entièrement lavés de leurs éléments fins et actuellement nappés à nouveau par des films argileux qui se déposent uniquement sur la face supérieure des éléments grossiers.

Dans certains profils, on observe des carapaces feuilletées entièrement vidées de leurs éléments fins avec des dépôts de sables résiduels sur le plancher des feuillettes. Ces carapaces ne constituent plus qu'un empilement de feuillettes sans cohésion d'ensemble, croulant au moindre choc, mais à squelette ferrugineux parfaitement bien conservé. Ceci montre qu'il n'y aurait pas, au cours de ces phénomènes de lavage, digestion du squelette ferrugineux, mais simple enlèvement des éléments fins. Lorsqu'ils sont lavés, les horizons à nodules ferrugineux sous-jacents à ces carapaces donnent des niveaux essentiellement constitués de nodules ferrugineux empilés les uns sur les autres en assemblage très fragile et croulant. Là encore, le squelette ferrugineux paraît intact.

Ceci pose le problème de la digestion éventuelle du squelette ferrugineux des niveaux carapacés, à fortiori des niveaux cuirassés. Ce phénomène de lavage, avec enlèvement des éléments fins et parfois de toute la terre fine suppose une active circulation de l'eau qui crée un milieu plutôt oxydant que réducteur, peu favorable par conséquent à la dissolution du squelette ferrugineux sans l'aide de produits complexants. Cependant, selon MALIGNIEUX (1953), le phénomène que nous observons ici correspondrait aux premiers stades du processus de disparition des cuirasses : dans les premiers stades, il y a prédominance des mécanismes de décomposition physique sur les réactions chimiques; on assiste tout d'abord au déblaiement par les eaux de percolation des matériaux les plus fins et meubles qui remplissent les alvéoles du squelette, puis à un ébranlement de la masse indurée qui se réduit en débris de plus en plus fins qui se retrouvent à leur tour entraînés par les eaux de ruissellement. Mais il semble qu'il s'agisse là d'un phénomène superficiel si on s'en réfère aux termes : eaux de ruissellement.

En résumé, on a le schéma suivant :

Flanc de la butte et plaine amont	Plaine moyenne	Plaine aval	Plaine basse
Pas de véritables phénomènes de lavage. Les tubulures semblent se vider sous l'action de la faune du sol.	Lavage en cours d'anciens horizons B sans décantation argileuse actuelle	Lavage en cours d'anciens horizons B avec amorces de décantation argileuse.	Lavage énergique suivi d'une phase actuelle de décantation argileuse.

B. 2. Toposéquence Yerma - Bassinkô

a) Plaine aval : elle se distingue de celle de la toposéquence précédente par le fait que les phénomènes de lavage y sont limités à la partie supérieure des niveaux ferruginisés, tandis qu'en profondeur on observe des phénomènes d'accumulation fréquents et particulièrement bien typés.

- Partie supérieure (de BK 78 à BK 87 inclus) : les profils de cette zone sont caractérisés :

- dans la partie supérieure des niveaux cuirassés (cuirasses ou carapaces), par des tubulures vidées sous l'action de la faune du sol avec un remplissage d'origine biologique.

- dans la partie moyenne des niveaux cuirassés (carapaces), par des tubulures lavées, à parois verticales et plafonds propres, à planchers soit tapissés de sables fins rosés, soit commençant à se tapisser d'un film argileux brillant, finement craquelé. Il existe parfois dans ces carapaces des zones entièrement lavées où la carapace est réduite à son squelette avec des filas argileux sur le plancher des feuilletés et des tubulures. A côté de ces zones lavées, il existe des zones plus massives où les tubulures sont tantôt remplies d'un matériau argileux blanchâtre (identique au remplissage tubulaire des niveaux B sous-jacents et qui semble être un remplissage originel), tantôt vidées puis tapissées d'un film argileux.

- dans la partie inférieure des carapaces ou (et) dans les matériaux bigarrés, par des tubulures à remplissage argileux blanchâtre ou blanc rosé, plus ou moins épais (pouvant atteindre 1 cm d'épaisseur), parfois à stratification visible, recouvert de beaux films argileux brillants. L'examen microscopique doit pouvoir montrer si ces films argileux se sont déposés également après une phase de lavage qui aurait été très discrète. C'est ce que suggère parfois la présence de tubulures sans remplissage argileux, mais simplement tapissées d'un film argileux. Cette partie

inférieure des carapaces constitue donc des horizons B d'accumulation typique qui se prolongent dans les matériaux bigarrés ou tachetés sous-jacents. Ces horizons B se distingueraient de ceux de la toposéquence vers le collecteur secondaire par le maintien des remplissages tubulaires originels, s'expliquant par l'absence ou la discrétion de la phase de lavage, et une décantation argileuse actuelle plus intense.

- partie moyenne (BK 88 à BK 91 non inclus) : les profils se distinguent de ceux de la partie supérieure par le fait qu'on ne constate pas de revêtements argileux, traces de lavage, dans les parties supérieures et moyennes des carapaces qui présentent d'emblée dès le haut, des tubulures à remplissages argileux roses recouverts de films argileux, pas très beaux cependant, ou avec seulement des amorces de films argileux. Il semble donc que les processus de lavage des éléments fins aient été discrets, mais ont existé puisque les films argileux semblent avoir été détruits dans les tubulures et non encore reconstitués par la décantation argileuse actuelle. On arrive ainsi au fait que dans ces niveaux supérieurs des cuirasses ou carapaces, les tubulures sont mieux tapissées de films argileux dans les profils amont que dans ceux de la zone moyenne. Cela peut signifier que la décantation argileuse se fait après un lavage et une migration sur très courte distance.

- partie inférieure (BK 91 à BK 93) : les carapaces sont moins épaisses et on passe plus rapidement au matériau kaolinitique bigarré. Ces carapaces sont soumises aux mêmes phénomènes que la partie supérieure des carapaces de la zone moyenne de la plaine. Les profils se distinguent par le fait que sous ces carapaces relativement peu épaisses, on ne retrouve pas les horizons B typiques des zones amont. Les matériaux bigarrés ou tachetés sous-jacents paraissent avoir subi des phénomènes de lavage. Ils présentent :

- . peu ou pas de remplissage argileux épais;
- . de petites cavités paraissant avoir été lavées de leur remplissage argileux originel, avec empilement d'éléments grossiers nappés d'un revêtement argileux par la phase de décantation argileuse actuelle;
- . des films argileux peu développés, à la surface des remplissages tubulaires.

b) Plaine basse : dans les matériaux argileux très hydromorphes où il y a confinement pendant une très longue période, on n'observe pas d'accumulation argileuse typique. Les faces des agrégats présentent une pellicule externe mate.

En conclusion on a le schéma suivant :

Plaine amont	Plaine moyenne	Plaine aval	Plaine basse
		Partie supérieure	Partie moyenne
		Partie inférieure	
		lavage + décantation argileuse limitée à la partie sup. des carapaces ou cuirasses. B typiques en profondeur	lavage discret dans la partie sup. des carapaces B typiques en profondeur
		lavage discret des carapaces de B typiques en profondeur	Pas de B bourrage typique dans les matériaux argileux

III.- LES HORIZONS D'ALTERATION

A.- Toposéquence de Yerma - Bissighin

a) Butte du haut glacis et plaine amont

- Partie supérieure : l'altération est kaolinitique de la surface du sol jusqu'à la migmatite en blocs se débitant en écailles ; il y a 100 % de kaolinite dans la fraction argileuse de haut en bas du profil, avec cependant parfois des traces nettes de montmorillonite dans la roche massive se débitant en écailles, et le plus souvent des traces d'illite sur la presque totalité du profil (selon d. PAQUET).

La migmatite massive n'apparaît que vers 13 à 14 m. On constate au pied de la butte un approfondissement de l'altération qui peut être considéré à première vue comme un surcreusement géochimique. Mais il coïncide avec le passage de la migmatite leucocrate à un faciès mésocrate à mélanocrate, parfois à un faciès de roche verte à schistosité verticale. Nous verrons par la suite que l'apparition de cette roche s'accompagne souvent d'un approfondissement du front d'altération. Par ailleurs l'altération kaolinitique dans la migmatite leucocrate semble devenir montmorillonitique dans le faciès mésocrate à mélanocrate.

- Partie moyenne : par rapport à la partie supérieure, on observe de fortes et brusques remontées du front de roche saine coïncidant avec l'apparition des affleurements de migmatite. L'altération est kaolinitique.

- Partie inférieure : l'altération est kaolinitique. On observe un approfondissement progressif vers l'aval du front de roche saine. Mais d'une façon générale, l'épaisseur des arènes en-dessous des horizons tachetés diminue fortement par rapport à la partie amont.

b) Plaine moyenne : seule la partie supérieure de cette plaine moyenne a été étudiée en détail. La roche est (ou devient en profondeur) mésocrate à mélanocrate à grain fin, à schistosité verticale, riche en biotite. L'apparition de cette roche s'accompagne d'un brusque approfondissement :

- . du front de roche saine
- . du front inférieur des horizons bigarrés kaolinitiques
- . du front inférieur de ferruginisation.

Elle s'accompagne également du développement en profondeur d'une altération montmorillonitique.

La structure de la roche a donc favorisé la progression des phénomènes de ferruginisation par rapport aux migmatites leucocrates. Cependant le passage à cette roche plus basique n'a pas contribué à une remontée du front inférieur de kaolinitisation. Ainsi, on retrouve, tant sur les migmatites leucocrates acides que sur les faciès plus basiques, l'épais manteau d'altération kaolinitique : l'apparition de l'altération montmorillonitique en profondeur, sur ces faciès plus basiques, apparaît donc bien comme un changement dans les processus d'altération.

c) Plaine aval : la roche mère est une migmatite à biotite hétérogène. Le faciès varie de mésocrate à leucocrate avec des passées de pegmatites plus ou moins importantes. Le grain est variable, fin à grossier. Cette migmatite est remplacée dans un profil par le faciès mésocrate à mélanocrate.

Dans cette zone, d'une façon générale, les matériaux kaolinitiques bigarrés ou tachetés sous-jacents aux carapaces disparaissent. Ces derniers passent rapidement, par l'intermédiaire d'un horizon à nodules ferromanganifères

peu épais, à un matériau d'altération verticale, plus ou moins argileux. Ce passage au matériau verticale se fait à des profondeurs de l'ordre de 1,50 m à 2 m.

La roche relativement peu altérée est proche de la surface du sol (1,50 m à 3 m) et la roche saine, massive ou très peu altérée se trouve environ entre 1,70 m et 3,50 m. On note deux profils où le grand développement des arènes abaisse assez fortement le front de roche saine : l'un d'eux est sur le faciès mélanocrate.

Les teneurs en minéraux 2/1 des matériaux d'altération sous-jacents aux carapaces varient évidemment en fonction de la richesse de la roche mère en ferro-magnésiens : 20 % dans les types leucocrates, 30 à 80 % dans les types plus foncés.

La plaine aval ne se distingue pas des plaines amont et moyenne uniquement par le type d'altération sous-jacente aux carapaces. Les matériaux constitutifs des niveaux cuirassés eux-mêmes montrent une richesse en minéraux 2/1 significativement plus élevée (20 % et parfois 30 à 40 %). De cette constatation on peut tirer deux hypothèses :

- le front de cuirassement s'est abaissé progressivement dans un matériau plus ou moins vertical : l'altération de type 2/1 serait antérieure ou concomitante du cuirassement;

- le matériau meuble des niveaux cuirassés est allochtone et a été mis en place par la faune du sol. On doit pouvoir vérifier dans ce cas que le squelette ferrugineux ne contient pas de minéraux 2/1.

En conclusion, par rapport aux plaines amont et moyenne, cette zone correspond à une forte remontée du front de roche saine accompagnée d'une forte remontée du front d'altération montmorillonitique. Cette dernière semble s'être faite aux dépens des matériaux kaolinitiques bigarrés sous-jacents aux carapaces. Dans ce phénomène, la nature de la roche mère n'intervient pas puisqu'on le constate tant sur les migmatites leucocrates que sur les faciès mésocrates à mélanocrates. Il s'agit bien d'une régression de la kaolinitisation au profit de la montmorillonitisation : d'un passage de l'altération kaolinitique à l'altération montmorillonitique dans le temps.

d) Plaine basse : dans la plaine basse la roche mère est variable : tantôt c'est une migmatite leucocrate (1 profil) tantôt un faciès mésocrate à mélanocrate avec ou sans passées leucocrates (2 profils sur les 3 suffisamment profonds).

Sur la migmatite leucocrate, on retrouve le matériau bigarré ou tacheté kaolinitique épais avant de passer à l'arène sablo-argileuse encore tachetée.

Sur le faciès mélanocrate, le matériau kaolinitique bariolé est un peu plus épais dans un cas (BK 32 : 100 % de kaolinite avec seulement des traces d'illite) que dans l'autre (BA 29). Dans ce deuxième cas, il semble plus riche en minéraux 2/1 et l'horizon sous-jacent comporte pour la première fois dans cette séquence de sols de nombreux nodules calcaires. Sous le matériau kaolinitique bariolé, on passe au gneiss altéré à texture limoneuse à limono-argileuse, très riche en fines paillettes de biotite, à schistosité verticale. L'altération paraît être de type montmorillonitique.

Par rapport à la plaine aval, la plaine basse est donc le siège d'un approfondissement du front d'altération kaolinitique, plus marqué sur migmatite leucocrate que sur le faciès mélanocrate.

B.- Toposéquence de Yerma - Bassinkô

a) Plaine aval : dans la partie supérieure, jusqu'à BK 80, la roche mère est une migmatite hétérogène à liotite. Les observations sur les altérations sont les mêmes que dans la partie supérieure de la plaine aval de la toposéquence précédente.

A partir de BK 81, la roche mère est une migmatite à biotite passant en profondeur au faciès mésocrate à mélanocrate, sauf dans le profil BK 82 qui se rattache au point de vue roche mère et altération à la partie supérieure. Dans le BK 81, la carapace passe rapidement, par l'intermédiaire d'un horizon à quelques nodules ferrugineux, à un matériau argileux montmorillonitique. Par contre, à partir de BK 85, on observe une réappartition, en dessous des carapaces, du matériau kaolinique bigarré, qui atteint des épaisseurs comparables à ceux des plaines amont et moyenne.

b) Plaine basse : la présence de la nappe à faible profondeur n'a pas permis de percer les cuirasses et carapaces sauf à l'amont dans le profil BK 93, et un peu dans le BK 94. On constate que la carapace passe en profondeur au matériau kaolinique bigarré. Mais les profondeurs atteintes ne sont pas suffisantes pour en apprécier l'importance.

On retrouve donc, dans cette portion aval et basse de toposéquence, de façon encore plus marquée qu'à Yerma - Bissighin, l'approfondissement du front d'altération kaolinique. Ainsi la plaine aval de la toposéquence de Bissighin et la partie supérieure de celle de la toposéquence de Bassinkô apparaissent comme :

- . une zone d'arrêt à faible profondeur des phénomènes de ferruginisation (cuirasses, carapaces, concrétions et taches);
- . une zone de remontée du front de roche saine accompagnée d'une remontée du front d'altération montmorillonitique.

Ces différences ne sont pas dues à des variations dans la nature des roches mères. Elles ont donc une signification paléogéographique.

C.- Conclusions

Le front d'altération kaolinique s'approfondit à l'aval et à l'amont des deux toposéquences étudiées ; le front de roche saine et le front d'altération montmorillonitique remontent fortement entre ces deux zones kaoliniques.

Cette remontée du front d'altération montmorillonitique se fait aux dépens des matériaux kaoliniques bigarrés ou tachetés sous-jacents aux carapaces. Dans ce phénomène, la nature de la roche mère n'intervient pas. Il s'agit donc bien d'un changement dans le type d'altération, d'un passage de l'altération kaolinique à l'altération montmorillonitique.

IV.- CONCLUSIONS

L'étude présentée ici est partielle. Elle ne concerne que les horizons ferruginisés (indurés) et les horizons d'altération sous-jacents. Celle des horizons meubles superficiels non ferruginisés sera abordée ultérieurement. Cette dissociation des profils en deux parties, qui peut paraître arbitraire, est justifiée par le fait qu'il existe bien une discontinuité entre ces deux parties. En effet sur l'ensemble des profils de toutes les toposéquences, on constate que les horizons superficiels meubles non ferruginisés ne contiennent jamais de cailloux de quartz, alors que ceux-ci sont souvent abondants dans les horizons ferruginisés sous-jacents.

En ce qui concerne les processus de cuirassement, on constate sans essayer pour l'instant de différencier les cycles éventuels successifs :

- . que le profil longitudinal de cuirassement semble avoir été remodelé par l'érosion;
- . que le cuirassement de la plaine aval semble s'être poursuivi dans des conditions peu favorables qui apparaissent pouvoir rendre compte en même temps du passage de l'altération kaolinitique à l'altération montmorillonitique;
- . que les horizons ferruginisés sont actuellement le siège de phénomènes de lavage dont la conséquence est une redistribution, sur une courte distance semble-t-il, des éléments fins (argile) et même des sables fins. Cette redistribution se fait uniquement selon la taille granulométrique des constituants et non selon leur nature : il n'y a pas de mobilisation et de redistribution actuelle du fer à l'échelle qui a caractérisé les grandes périodes de cuirassement.

En ce qui concerne les processus d'altération, on constate que le front d'altération kaolinitique s'approfondit à l'aval et à l'amont des deux toposéquences étudiées ; le front de roche saine et le front d'altération à minéraux 2/1 remontent fortement entre ces deux zones kaolinitiques. L'apparition de l'altération à minéraux 2/1 semble bien être due à un changement dans le type d'altération: il y a eu dans le temps un passage de l'altération kaolinitique à l'altération montmorillonitique.

BULLETIN DE LIAISON
du
THEME B

Numéro 3
Octobre 1972

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

SOMMAIRE

Le thème B : bilan et perspectives, par A. Ruellan . . 3
Réunion des pédologues de l'ORSTOM : Compte-
rendu des séances consacrées au thème B (28 -
29 septembre 1971), par G. Bocquier, R. Boulet,
A. Ruellan 9
Les trois principaux types de toposéquences et les
grands traits de la pédogenèse sur le socle cristallo-
phyllien du Centre-Togo, par A. Lévêque 15
Premiers résultats d'une étude morphologique et
dynamique détaillée des sols cuirassés du centre-
sud de la Haute-Volta : les horizons ferruginisés
et les horizons d'altération sous-jacents, par
B. Kaloga 29
Analyses bibliographiques 45

