

## Séquence d'évolution des paysages cuirassés et des sols ferrallitiques en zones forestières tropicales d'Afrique centrale.

### Place des sols à horizons d'argile tachetée

Paul BILONG, Samuel ENO BELINGA et Boris VOLKOFF

**Résumé** – Dans la zone forestière du Cameroun les vieux systèmes latéritiques ferrugineux cuirassés, qui semblent avoir recouvert tout le paysage, sont totalement démantelés. Leur démantèlement est lié à une transformation interne au cours de laquelle s'individualise une matrice argileuse, poreuse et friable. Il s'individualise alors un sol ferrallitique parfaitement drainé présentant un épais horizon meuble à éléments ferrugineux résiduels reposant directement sur une isaltérite. Mais ce sol n'est pas le terme ultime de la transformation des profils cuirassés. Il y a en effet ultérieurement disparition progressive des produits meubles issus de la dégradation des cuirasses, puis individualisation de sols ferrallitiques à argile tachetée.

**Iron crusted landscape evolution and soil in Central African rain forest.**

#### Position of the mottled clay soils

**Abstract** – In the forest region of Cameroon, the ancient ferruginous lateritic iron crust systems which appear to have covered the entire landscape, are now completely broken up. The disintegration is related to an internal transformation which leads to a formation of a porous and friable clayey material. The resulting soils are ferrallitic with a thick soft layer containing ferruginous residual elements lying directly over a perfectly drained isalteritic horizon. However these soils are not the final stage in the soil evolution. The soft material developed during the iron crust degradation is progressively diminished and the first ferrallitic soils are substituted by mottled clay soils.

**Abridged English Version** – The iron crusts are generalized in West and Central Africa savannas ([1] à [5]). They generally disappear in the tropical rain forest region where they are substituted by deep soft ferrallitic soils which probably came from the transformation of the iron crust itself during climatic changes ([6], [7]). In the Mvangan rain forest area in South Cameroon (Fig. 1), with a granito-gneissic bed rock, the landscape is characterized by the juxtaposition of rocky hills (the altitude ranges from 650 to 850 m) and flattened hills. Different types of soil profiles can be recognized: 1) On the top of the highest hills, a deep soil containing a massive iron crust, overlying a friable and clayey red-orange horizon and a multicoloured isalteritic horizon (Fig. 2 a<sub>1</sub>); 2) On the top of the other hills and every hill slope, a ferrallitic soil with both a mottled clayey horizon and a thin nodular horizon (Fig. 2 a<sub>2</sub>); 3) On the flattened hills of the northern part of the area (Fig. 1), a thick soil containing a thick nodular horizon below which is a clayey horizon with a yellowish-red colour, which in turn overlies a multi-coloured isalteritic horizon (Fig. 2 b<sub>1</sub>); In the South, near the Kom river, where there are only flattened hills, the pattern of the horizons is the same, except that the nodular one is thinner (Fig. 2 b<sub>2</sub>); 4) At the footslopes there occurs a soil with an iron crust horizon lying on a hardened plinthite developed on a mottled clay (Fig. 2 c). The soils of these different landscape positions indicate a unique sequence which was observed in the field (Fig. 3). Its genesis can be interpreted as follows. It can be admitted that the upper and lower parts of the soil sequence, containing the iron crust, are the residues of an initially continuous iron crust system analogous to those commonly found in Guinea [9] and in the Central African Republic [5], where iron crusts cover the entire

Note présentée par Georges PÉDRO.

landscape. Two mechanisms appeared to have nearly destroyed this old iron crust: (i) a superficial degradation with a vertical progression when the iron crust is reconstituted in the deep mottled clayed horizon; (ii) An internal degradation with a lateral progression when the iron crust undergoes a fragmentation which generally begins on the edges of the plateau [5] and results in a nodular horizon with a clayey soft and friable matrix. This nodular horizon is not permanent. A model of the evolution of an initially continuous iron crust in a ferrallitic soil under rain forest can therefore be proposed (*Fig. 4*). The starting point is a continuous iron crust-capped landscape. An internal degradation of the crust begins on the border of the plateaus and progresses, reducing the size of the plateau. It develops a deep soil with a thick nodular horizon containing blocks of iron crust and clayey porous and friable matrix. The following downward evolution reduces the nodular layer in the soil profiles and leads to the formation of soils with mottled clayey horizons. The result of this evolution is a generalized flattening of the topography. Only little residual relief remains from the initial level [12]. The different locations found in Cameroon indicate a likely landscape evolution by autotransformation even if variations in bioclimatic conditions were only minor. A continuous iron crusted landscape can degrade progressively, resulting in a first stage of deep soft ferrallitic soils, then in a second stage of mottled clayey soils. The mottled clayey horizon could extend to the entire landscape and then be crusted, which might lead to a new iron crusted landscape.

I. INTRODUCTION. — Alors que les cuirasses ferrugineuses sont généralisées dans les savanes d'Afrique Centrale ([1] à [5]), elles disparaissent généralement en zone forestière où l'on trouve surtout des couvertures latéritiques meubles caractérisées par la succession d'un épais horizon argileux meuble, d'un horizon à nodules ferrugineux intermédiaire et d'une altérite ([6], [7]).

On admet généralement que ces formations meubles et nodulaires proviennent de la transformation des profils cuirassés lorsque la forêt succède à la savane en raison d'une humidification du climat; l'horizon à nodules en particulier serait issu de la dégradation en place de la cuirasse initiale [8].

Les études réalisées dans le Sud du Cameroun montrent que, dans ce type de milieu, la dégradation minéralogique et géochimique des cuirasses ferrugineuses n'est en réalité que la *première* étape d'une évolution cyclique isoclimatique au cours de laquelle les profils cuirassés sont progressivement remplacés par des sols ferrallitiques meubles, puis par des sols ferrallitiques à argile tachetée avant de se cuirasser éventuellement à nouveau. De cette première évolution résulte la fonte complète du matériel induré de la cuirasse ferrugineuse et en même temps l'aplanissement pédologique du paysage.

II. RAPPEL DES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU MILIEU SUD-CAMEROUNAIS. — La zone d'étude est le versant nord du bassin du Ntem dans le secteur de Mvangan (*fig. 1*). Elle appartient au plateau sud-camérounais. Le substrat est constitué des granito-gneiss du craton congolais.

Le paysage est caractérisé par une juxtaposition de collines à versants rocheux dont l'altitude s'échelonne entre 850 et 650 m, entre lesquelles s'intercalent des collines aplanies à 650 m d'altitude. Ces dernières sont, soit isolées, soit accolées aux collines rocheuses; elles en constituent alors l'aval aplani (glacis). Par ailleurs, ces collines s'organisent en flots plus ou moins jointifs disséminés au milieu d'un marécage qui prend une extension

de plus en plus grande à mesure que l'on se rapproche de l'axe de drainage régional (Kom).

Le climat est équatorial à 4 saisons. Le total pluviométrique annuel est de l'ordre de 1 700 mm (*fig. 1*), la température moyenne annuelle de 23°C.

La végétation est une forêt équatoriale dense sempervirente.

III. LES PROFILS ET LES TOPOSÉQUENCES DE SOLS. — Les différents profils individualisés sur ce genre de paysage se présentent de la façon suivante :

1. *Organisation des sols des collines à versants rocheux.* — Au sommet des collines les plus hautes (collines à 850 m d'altitude), les affleurements rocheux sont généralement absents. On y trouve un sol profond qui présente d'abord un niveau à blocs de cuirasse massive, puis un horizon argileux friable rouge-orangé au-dessus d'une isaltérite polychrome (*fig. 2 a<sub>1</sub>*).

Au sommet et sur les versants des collines les plus basses, ainsi que sur les versants des hautes collines, entre les affleurements rocheux qui sont nombreux, les sols sont typiquement des sols ferrallitiques à argile tachetée (*fig. 2 a<sub>2</sub>*). L'horizon nodulaire est mince et ne contient pas de fragments de cuirasse.

Dans les deux cas la matrice qui emballe les nodules est rouge argileuse, légèrement tachetée de jaune et se désagrège en petits volumes polyédriques.

2. *Organisation des sols des collines aplanies.* — On doit distinguer deux cas, selon que l'on se trouve au Nord du Bassin près de la zone d'interfluve, ou bien à proximité du Kom.

Près de l'interfluve dans le secteur septentrional de la zone étudiée les collines aplanies sont associées à de nombreuses collines rocheuses. Leur sol présente un épais horizon nodulaire où les nodules sont emballés dans une matrice argileuse rouge très friable qui se défait en poudre. Sous cet horizon nodulaire, on passe à un horizon argileux rouge jaune meuble, très friable et poreux qui repose sur une isalterite polychrome (*fig. 2 b<sub>1</sub>*).

Au Sud, près de la rivière Kom, il n'y a plus que des collines aplanies. Les sols présentent un niveau nodulaire peu épais (*fig. 2 b<sub>2</sub>*); la matrice argileuse est ici légèrement tachetée et ne se défait plus en poudre, mais se désagrège en éléments polyédriques fins. Cet horizon nodulaire surmonte une argile tachetée qui fait place progressivement à une isaltérite polychrome en profondeur.

3. *Caractères des sols des bas-versants.* — Les sols des bas versants des deux types de collines présentent toujours un horizon à blocs de cuirasse massive conservés. Ces éléments de cuirasse surmontent une carapace ferrugineuse qui se développe au sommet d'une argile tachetée (*fig. 2 c*).

4. *Existence d'une toposéquence générale.* — Les sols des collines hautes, moyennes et surbaissées s'organisent en une séquence unique qui a pu être observée sur le terrain (*fig. 3*).

Les blocs de cuirasse massive et la matrice rouge-orangé argileuse meuble constituent les horizons caractéristiques à la fois de l'aval et de l'amont de la séquence, là où la topographie est plane; ils s'amincissent et disparaissent lorsqu'on aborde la zone de raccordement. Cette zone de raccordement est un des domaines marqué par la présence d'argile tachetée, l'autre étant situé à l'aval de la séquence.

IV. INTERPRÉTATION. — Au départ, on est amené à admettre que les cuirasses ferrugineuses massives de l'amont et de l'aval de la séquence sont les restes conservés de systèmes cuirassés polyphasés initiaux analogues à ceux qui s'observent actuellement en

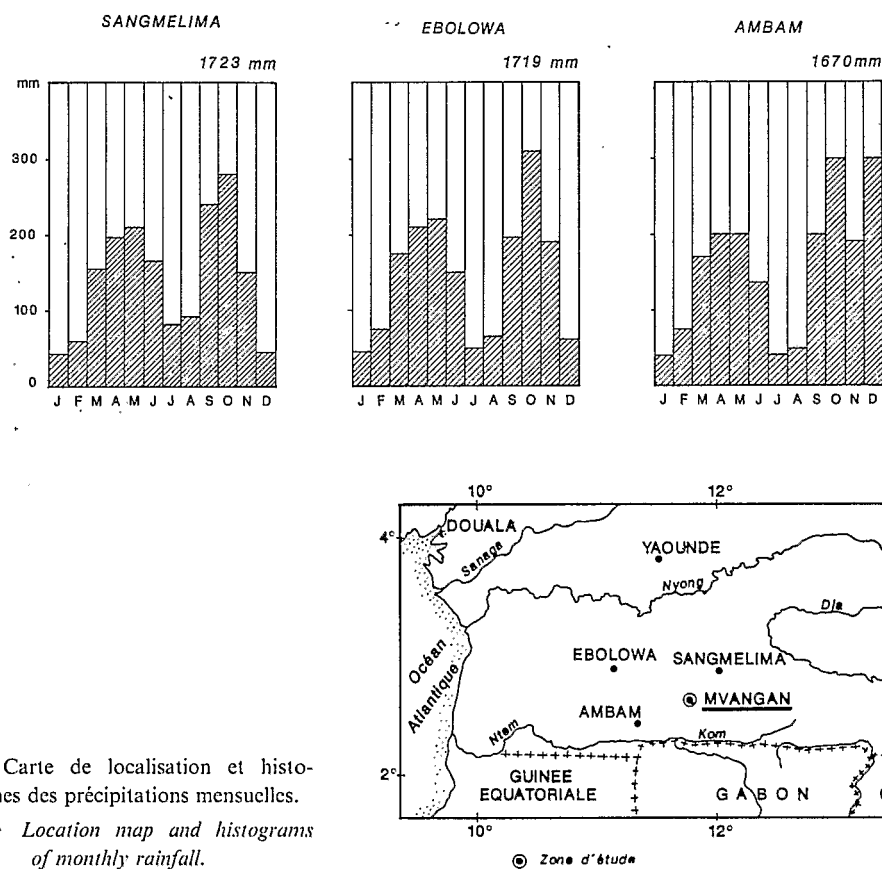


Fig. 1. — Carte de localisation et histogrammes des précipitations mensuelles.

Fig. 1. — Location map and histograms of monthly rainfall.

Guinée [9] et en Centrafrique [5] et qui couvrent de façon continue un modelé de plateaux et de versants.

Il y aurait donc eu destruction presque complète des cuirasses qui recouvraient la totalité du paysage. Cette destruction peut s'expliquer par l'action conjuguée de deux mécanismes :

1. une dégradation superficielle à progression verticale, celle qui est courante en régions de savanes humides où les cuirasses ferrugineuses se dégradent par le haut et se reconstituent à la base des profils, au sein des argiles tachetées qui leur sont toujours associées [10].

2. une dégradation interne à progression latérale. Cette dégradation est observée sur les marges des zones forestières. Les cuirasses subissent une fragmentation dans la masse, qui débute généralement en bordure du plateau [5] et donnent naissance à un horizon nodulaire à matrice argileuse meuble très friable ([8], [11]).

Ainsi, les systèmes cuirassés subiraient ici deux sortes de transformations :

— une évolution descendante, analogue à celle qui se produit lors de l'enfoncement des cuirasses en zones de savanes, par dégradation géochimique et minéralogique, avec argilification et transfert de ces argiles dans les niveaux d'argile tachetée sous-jacents et nodulation ferrugineuse. Cette évolution qui met en jeu des processus de lessivage, se manifeste nettement au sommet de la cuirasse tant que celle-ci reste massive. Mais c'est aussi à une telle évolution verticale que l'on peut attribuer la formation de l'horizon

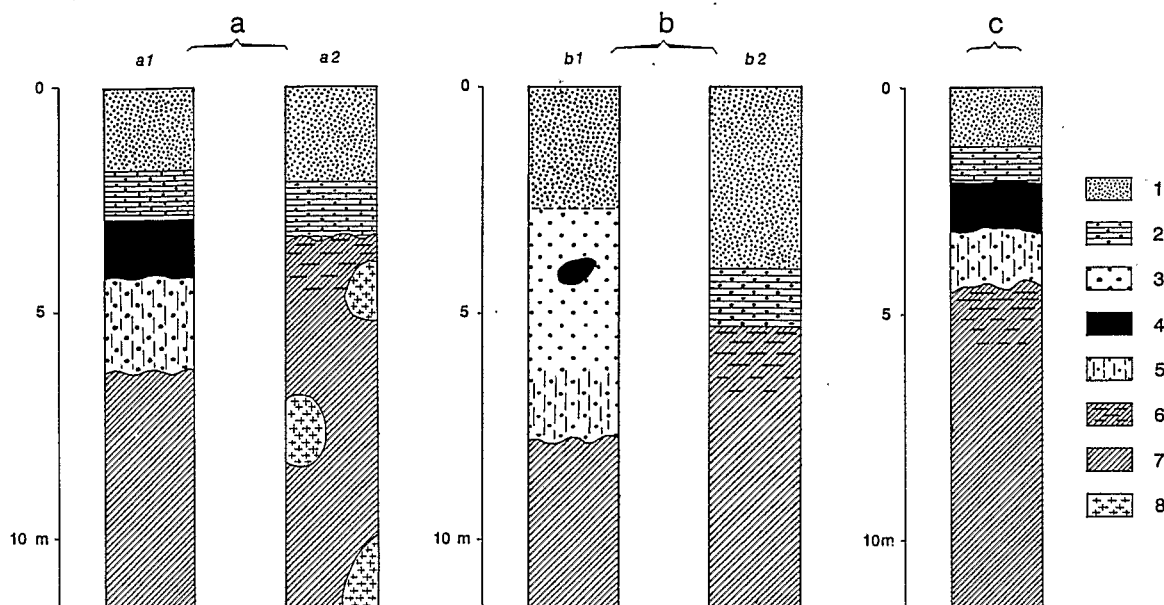


Fig. 2. — a) Organisation des sols des collines à versants rocheux : a<sub>1</sub>) profil de sommet ; a<sub>2</sub>) profil du versant ; b) Organisation des sols des collines aplanies ; b<sub>1</sub>) loin du Kom ; b<sub>2</sub>) près du Kom ; c) Organisation des sols des bas versants. Légende : 1. argileux rouge-jaune ou jaune ; 2. nodulaire à matrice argileuse rouge ou rouge-jaune massive friable ; 3. nodulaire à matrice argileuse légèrement tachetée à structure polyédrique fine ; 4. cuirasse ferrugineuse ; 5. argileux rouge-jaune ou jaune-rouge massif friable, rares nodules ; 6. argile tachetée avec plages isalteritiques ; 7. isalterite polychrome ; 8. roche saine.

Fig. 2. — a) Vertical organization of soils of rocky hills: a<sub>1</sub>) hilltop profile; a<sub>2</sub>) slope profile; b) Vertical organization of soils of flattened hills: b<sub>1</sub>) far from the Kom river; b<sub>2</sub>) near the Kom river; c) Vertical organization of footslope soils. Key: 1. reddish-yellow or yellow clay; 2. nodular with reddish or massive reddish-yellow, friable clayey matrix; 3. nodular with fine blocky structured, lightly mottled clayey matrix; 4. iron crust; 5. Yellowish-red or reddish-yellow massive, friable clay, few nodules; 6. mottled clay with some isalteritic bands; 7. isalteritic horizon; 8. unaltered rock.

nodulaire à matrice argileuse compacte et légèrement tachetée observé dans les sols à argile tachetée ;

— une transformation interne qui progresse de la bordure vers le centre du plateau et sur les versants du haut de pente vers le bas de pente et qui gagne ainsi tout le système cuirassé. Cette transformation se manifeste, au sein et sous la cuirasse, aux dépens des isalterites. Elle conduit à la disparition des cuirasses et des anciennes argiles tachetées qui leur étaient associées et donne naissance à un matériau meuble à matrice argileuse rouge ou rouge orangé friable.

Ce matériau se développe en profondeur, mais tend aussi à fondre sur place. Lorsque le front de transformation atteint les altérites fraîches au milieu des boules de roche tout se passe comme si le front de lessivage rattrapait les altérations, donnant ainsi naissance aux argiles tachetées et relançant les processus de nodulation ferrugineuse.

V. CONCLUSION. — Un modèle d'évolution de sols initialement cuirassés sous climat forestier humide (fig. 4) peut donc être proposé.

Le point de départ est un système cuirassé, à plateau et versants cuirassés, où une dégradation interne s'amorce en bordure du plateau.

Cette dégradation transforme le profil cuirassé en sol à niveau nodulaire dont la matrice argileuse est poreuse et très friable. L'évolution progresse par réduction du

plateau, formation de collines, puis disparition du chapeau nodulaire, pour donner lieu à des collines à versant rocheux et à sols à argile tachetée.

Sur le versant de la séquence cuirassée initiale, la progression du front de dégradation interne de l'amont vers l'aval, puis la fonte sur place des niveaux nodulaires à matrice argileuse meuble, conduisent à une forte réduction de l'inclinaison de la pente. L'aval conserve la cuirasse de bas de pente. Au terme de l'évolution, apparaissent des sols ferrallitiques à argile tachetée.

Ainsi, partant de profils d'une séquence cuirassée, on aboutit à des sols ferrallitiques à argile tachetée qui n'ont gardé que quelques reliques du cuirassement initial (blocs de cuirasse en bas de pente et des nodules ailleurs). Mais le passage n'est pas direct. Il existe en effet un état intermédiaire qui est représenté par un sol à niveau gravillonnaire épais et dont la fraction fine est argileuse et très friable.

On retrouve donc le schéma d'une évolution pédologique et géochimique par ameublissement des matériaux, ici cuirassés, et évacuation, ici probablement par dissolution, des produits de leur transformation qui aboutit à un abaissement généralisé de la topographie où ne sont conservés que quelques reliefs résiduels témoins du niveau initial [12].

Les différents points de repère que l'on trouve au Cameroun permettent d'envisager l'évolution des paysages ferrallitiques avec le temps, par auto-transformation. Cette évolution est probablement déclanchée par une modification des conditions bioclimatiques sans qu'il y ait nécessairement de variation des niveaux de base.

Un paysage cuirassé mis en déséquilibre par une légère variation climatique peut se dégrader progressivement en sol ferrallitique meuble, avec individualisation d'un nouvel horizon d'argile tachetée qui tend à s'étendre lui-même sur tout le paysage. Il est plausible que cet horizon puisse par la suite de nouveau se cuirasser de manière continue si le climat redevient favorable au cuirassement, ce qui nous ramènerait à la situation de départ mais sur un relief dérivé du relief initial.

Note remise le 12 juillet 1991, acceptée après révision le 24 octobre 1991.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. MARTIN, *Cah. ORSTOM, sér. pédol.*, 5, n° 2, 1967, p. 189-218.
- [2] P. SEGALIN, *Cah. ORSTOM, sér. pédol.*, 5, n° 2, 1967, p. 137-187.
- [3] Y. BOULVERT, *Bull. Assoc. géog. fr.*, 4, Paris, 1985, p. 299-309.
- [4] Y. BOULVERT, *Rev. Photo interprétation, Technip*, 4, Paris, 1976, p. 18-29.
- [5] A. BEAUVAIS et D. MAZALTARIM, *Sci. géol., Bull.*, 41, Strasbourg, 1988, p. 47-69.
- [6] G. BOCQUIER, J. P. MULLER et B. BOULANGE, In *Livre Jubilaire Cinquantenaire, A.F.E.S.*, 1984, p. 123-138.
- [7] J. P. MULLER, In *C. R. Sem. Régional sur les Latérites*, Douala, Cameroun, 1986, ORSTOM éd., Paris, 1987, p. 33-45.
- [8] D. NAHON et A. J. MELFI, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 1989, p. 755-760.
- [9] P. MICHEL, *Mém. ORSTOM*, 63, 1973, 752 p.
- [10] Y. TARDY et D. NAHON, *Amer. J. Sc.*, 285, 1985, p. 865-903.
- [11] J. P. MULLER et G. BOCQUIER, In *Proc. Int. Clay Conf.*, Denver, 1985, L. G. SCHULTZ, H. VAN OLPHEN et F. A. MUMPTON éd., Clay Miner. Soc., Bloomington 1987, p. 186-196.
- [12] G. MILLOT, *Mém. h. sér. Soc. géol. de France*, n° 10, 1980, p. 295-305.

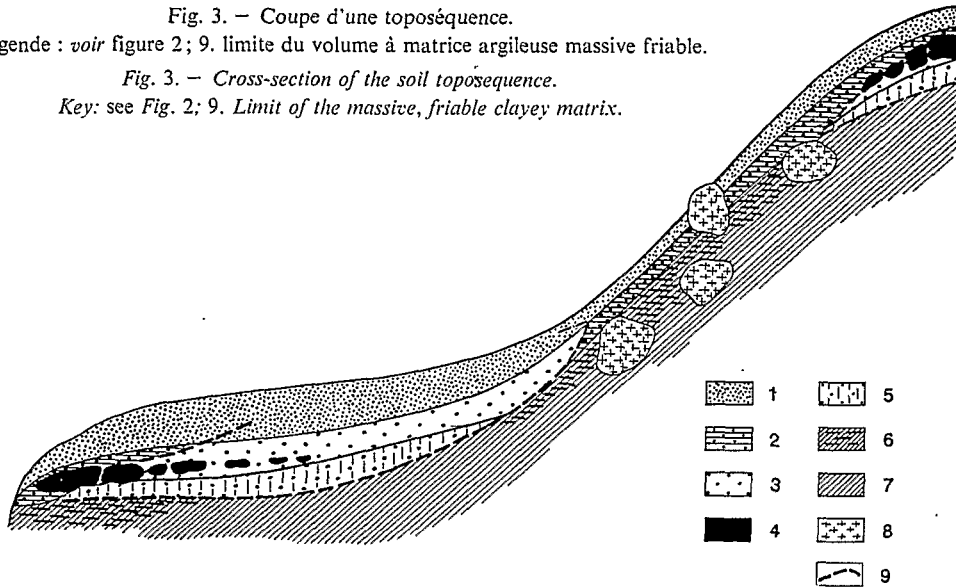
P. B. et S. E. B. : *Faculté des Sciences, Université de Yaoundé, Cameroun ;*  
B. V. : *ORSTOM, B.P. n° 1857, Yaoundé, Cameroun.*

Fig. 3. — Coupe d'une toposéquence.

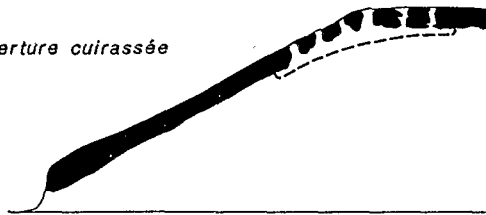
Légende : voir figure 2; 9. limite du volume à matrice argileuse massive friable.

Fig. 3. — Cross-section of the soil toposéquence.

Key: see Fig. 2; 9. Limit of the massive, friable clayey matrix.



Couverture cuirassée



Couverture ferrallitique à niveau nodulaire meuble

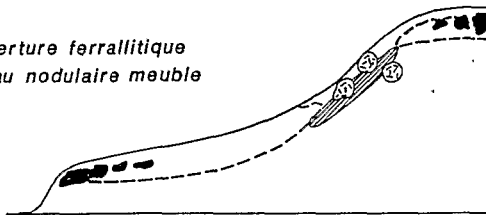


Fig. 4. — Passage d'une couverture cuirassée à une couverture à sols ferrallitiques à argile tachetée. Légende: 1. cuirasse ferrugineuse; 2. limite du volume à matrice argileuse massive et friable; 3. roche saine; 4. argile tachetée.

Fig. 4. — Landscape evolution and transformation of a continuous iron crust into a ferrallitic mottled clay soil cover. Key: 1. iron crust; 2. limit of the massive and soft clayey matrix; 3. rock boulders; 4. mottled clay.

Couverture ferrallitique à argile tachetée

