



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1161–1170



Géosciences de surface (Pédologie)

Rôle des héritages latéritiques et du niveau des nappes dans l'évolution des modelés et des sols en zone intertropicale forestière humide

Dieudonné Bitom^{a,*}, Boris Volkoff^b, Anicet Beauvais^b, Frédérique Seyler^c, Paul-Désiré Ndjigui^a

^a *Faculté des sciences, université de Yaoundé, BP 812, Yaoundé, Cameroun*

^b *Orstom, 2, av. Henri-Varagnat, 93143 Bondy cedex, France*

^c *Orstom/université de Brasilia, CP 7091, Lago Sul, 71619-970 Brasilia, Brésil*

Reçu le 17 septembre 2003 ; accepté après révision le 10 mars 2004

Présenté par Georges Pédro

Résumé

L'analyse des modelés et des couvertures pédologiques de la périphérie au centre d'un bassin versant de 75 km × 60 km de la zone forestière du Sud Cameroun, caractérisé par d'importants héritages latéritiques cuirassés et par une grande stabilité des niveaux de base, montre que, lors de la mise en place des paysages actuels, l'érosion des versants a été très faible, du fait de la persistance des cuirasses à l'aval des versants, et que les couvertures pédologiques ont essentiellement évolué par enfouissement vertical. *Pour citer cet article : D. Bitom et al., C. R. Geoscience 336 (2004).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Landscape and soil evolution control by lateritic heritages and hydrostatic base level in the intertropical rain forest zone. Analysis of landscapes and soil covers from the outer to the inner part of a 75 km × 60 km watershed in the South-Cameroon rainforest zone, characterized by important remnants of inherited ferricretes and stable hydrostatic base levels, indicates that the development of present landforms has not involved significant erosion by slope retreat because of the relative preservation of downslope residual ferricrete and that soil covers have vertically decayed under in situ geochemical process. *To cite this article: D. Bitom et al., C. R. Geoscience 336 (2004).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : sols ; géomorphologie ; zone forestière tropicale humide ; Cameroun ; enfouissement vertical

Keywords: soils; geomorphology; tropical rainforest; Cameroon; subsidence

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : dbitom@yahoo.fr (D. Bitom).

Abridged English version

1. Introduction

The South-Cameroon plateau landscape is a typically hilly half-orange landscape [4,9,11,16,22,26]. High reliefs as granitic inselbergs also arise as well as low reliefs, where low hills are separated by large flat and swampy areas. The South-Cameroon plateau is covered by thick weathering mantles capped by ubiquitous ferruginous soft nodular layer containing fragments of ferricrete, overlaid by a soft clayey layer [6,17,21,25,30,32]. The present landscape and cover have long been thought of as resulting from the subsidence of secondary hydrographic network and from a geochemical decay of previous ferricrete systems [1,3,4,6,8,14,18,31]. These transformation processes were related to climatic changes implied in part by the continental drift of African plate, from the south to the north during the Tertiary era [27,28]. Making the hypothesis that both subsidence of secondary hydrographic network and decay of a previous ferricrete system might control the actual landforms of South Cameroon, we have searched field observations consistent with the real consequence of each supposed mechanism.

2. Environmental settings and method

The upper basin of the Nyong River in South Cameroon covers an area of 75 km × 60 km located between 3°45' and 4°10' north, and between 13°00' and 13°30' east (Fig. 1). There are two dry seasons, alternating with two wet seasons; the mean annual temperature is 23 °C and the mean annual rainfall is 1640 mm. The vegetation is a dense forest. Geology consists of gneiss and micaschists with garnets, crossed by quartz veins.

Landscape analysis was done by examination of topographic maps at 1:200 000 and 1:500 000, remote sensing images and fieldworks, these latter ones allowing us to define geomorphologic and petrologic features through four sites located along a transect NW–SE (Fig. 2). Two SAR-ERS1 images at a resolution of 12.5 m were analysed and photointerpreted. The variation of image texture and of hydrographic-network structure allowed us to distinguish five types of landscape (Fig. 2).

Landscape 1 is characterized by high-level hills at altitudes ≥ 800 m, with convex or sharp summit and

narrow incised valleys. Those landscapes are observed on the different basin divides (Fig. 2). They are characterized by thin soils (<1 m) developed on quartzite [6]. They are not studied here.

Landscape 2 corresponds to mid-elevated hills with tabular or convex summit, while landscape 3 exhibits low convex hills with altitude ≤ 700 m. Both are outlined by narrow valleys and embanked rivers. Landscape 2 is ubiquitous, with variable density as a function of basin type (Fig. 2); it exhibits dense networks, with a detritic structure. Landscape 3 is exclusively observed in the Boumba and Dja Basins.

Landscape 4 consists of low convex hills and wide swampy valleys (150–200 m), particularly in the Nyong Basin (Fig. 2). They are represented in all basins. Landscape 5 presents elongated low hills and very large valleys (≤ 500 m) that are characteristics of the Nyong Basin (Fig. 2).

In the Nyong Basin, from landscape 2 at the south-east, to 4 at northwest, the size and the mean gradient of hillslopes decrease and the valleys become larger and further swampy.

3. Weathering sequences in the Nyong Basin

Four weathering sequences located in the three landscapes of Nyong Basin reveal five main layers (Fig. 3):

- an upper layer (I), red-coloured, clayey and soft, composed of kaolinite with quartz, gibbsite and hematite (Table 1);
- a set of intermediary glaebular layers (II) with nodules and ferricretes embedded in a mottled matrix rich in gibbsite and kaolinite. When ferricrete fragments are abundant, as in landscape 2, the hillslopes exhibit sharp slope variations (Fig. 3). Ferricretes and nodules consist of hematite, goethite and kaolinite with a little quartz and gibbsite (Table 1);
- mottled clay layer (III), kaolinitic and ferruginous, which can be a little indurated at the top. This layer shows a massive structure and is composed of yellow patches, with kaolinite and goethite, and purple–reddish patches made up of kaolinite, hematite and goethite (Table 1). The mottled clays also exhibit numerous residual saprolitic domains, and the water table is always present at the bottom;

- a saprolite (IV), red-coloured, made up of kaolinite and gibbsite (Table 1), and exhibiting the parent rock structure. It also contains lithorelictual nodules, which are ferruginous and/or gibbsitic;
- an hydromorphic layer (V), located downslope, which consists of a pseudogley with rust-coloured and grey-bleached patches and of a greyish gley. This layer is composed of kaolinite and quartz with a few goethite (Table 1).

From the southeast to the northwest, or from landscape 2 to 4 and 5, one observes that: the thickness of the red clayey surface layer (I) increases on the hillslopes; the set of intermediary glaebular layers (II) is thinned, vanishing in some places; the saprolite (IV) laterally narrows, while it is well preserved at the summit of divides; the mottled clay layer (III) and the hydromorphic layer (V) laterally develop towards upslope.

4. Discussion and conclusion

Our analysis of landscapes and pedologic covers from the outer to the inner zone of the Nyong basin emphasizes that: (1) the size of the interfluves shortens, (2) the size and mean gradient of hillslopes decrease while the swampy valleys enlarge, (3) inherited nodules and ferricretes are present in all landscapes, (4) ferricretes are preserved downslope, outlining talus slopes that surround the swamps, and (5) the thickness of nodular layers decreases, while, downslope, the mottled clay layer develops.

Among the remnants of ferricretes, those rich in gibbsite are numerous, indicating that a single ferricrete system previously covered the topography. These relics result from the transformation of a previous system, which led to the development of a new pedologic cover, now composed of a soft red clayey layer, associated to a soft nodular one [5,19,26].

The residual ferricretes are particularly present downslope, indicating that there was no upward mechanical erosion from the talwegs, but simply an in situ geochemical decay of ferricretes, without any mechanical transport.

Note that the ferricrete decay is much more pronounced in the central zone of the Nyong Basin. These observations suggest that the decay of ferricrete systems was initiated in the centre basin and then propa-

gated to the periphery. The mottled clay development at the expenses of saprolite may exclusively depend on the location of the permanent water table of the swampy area. Any lateral dynamics of the soil cover – the downslope residual ferricrete limiting the slope retreat by maintaining the talus slope – can be related to the decay of the soft nodular layer. Therefore, this is linked to a normal geochemical lowering of the profiles. The process leads to the general decay of the topography and perhaps to the relative upwards migration of the hydrostatic level.

In the upper Nyong basin, the evolution toward a more humid climate and forest development [2,10,20] may have led to a general downward regression of the landforms and to the modelling of low convex hills, surrounded by swamp areas. A dense secondary hydrographic network may have incised previous landforms, while the hydrostatic level remained stable or even migrated upwards, as it was suggested by [23]. This has led to vertical downward decay of the pedologic cover [13] more pronounced upslope than downslope and to a relative preservation of ferricretes downslope. Our observations show that climatic changes and forest dynamics, as well as the hydrostatic levels and the lateritic heritages in the soil, have controlled the landform evolution in the rain forest zone of Africa.

1. Introduction

Sur l'interfluve Congo–océan Atlantique, le plateau forestier sud-camerounais présente un paysage de collines de forme en demi-orange ou à sommet tabulaire, séparées par des vallées plus ou moins encaissées [4,9,11,16,22,26]. On note aussi la présence de quelques reliefs accentués, constitués de massifs rocheux en forme d'inselbergs, et de zones à collines très basses, séparées par de larges zones marécageuses. Les couvertures d'altération de la majeure partie du plateau sont très épaisses, caractérisées par la présence quasi-ubiquiste d'horizons à nodules ferrugineux et blocs de cuirasse, recouverts par un matériau argileux meuble, d'épaisseur variable [6,17,21,25,30,32].

Il est généralement admis que ces paysages et les couvertures pédologiques associées résultent de l'évolution de paysages cuirassés qui, auparavant, formaient une couverture continue sur tout le plateau, comme cela a pu être montré dans l'ensemble de la

zone forestière de l'Afrique centrale [1–4,6,30,31]. Cette évolution a récemment été mise en relation avec les changements climatiques, du sec vers l'humide, induits pour partie par la migration de la plaque continentale africaine, du sud vers le nord, depuis le Tertiaire [27,28].

Les interfluvies cuirassés ont été découpés par enfoncement d'un réseau hydrographique secondaire installé suivant des axes de circulation privilégiée de l'eau, tels que les fractures du socle cristallin ; il en est résulté une succession de courts versants convexes, caractéristiques de la zone intertropicale forestière humide d'Afrique [8,14,18,24,31]. Là où le niveau de base hydrostatique local est resté longtemps stable, le paysage actuel est un champ de collines en demi-oranges, séparées par des vallées plates marécageuses. Là où les niveaux de base, pour des raisons tectoniques diverses, se sont progressivement enfoncés, le paysage est à interfluvies polyconvexes étagés et à vallées étroites encaissées.

Dans le même temps, les vieux systèmes latéritiques cuirassés se sont dégradés et ont donné naissance à d'épaisses formations superficielles meubles, plus ou moins différenciées verticalement et latéralement [1,2,4,6,15,32].

En supposant que les formes topographiques actuelles résultent de la conjugaison d'une incision liée à l'installation d'un réseau hydrographique secondaire dense et d'une dégradation en place des profils cuirassés, la question est alors de savoir quel est le degré de dépendance du modelé actuel vis-à-vis de chacun de ces deux processus. Pour répondre à cette question, une analyse conjointe de l'organisation des couvertures pédologiques et de la morphologie des paysages a été menée sur le bassin amont du Nyong, dans la zone forestière du Sud Cameroun.

2. Objet, méthodes et données

Le haut bassin du Nyong au Sud Cameroun se présente comme une zone sans relief et très marécageuse, se distinguant en cela des bassins adjacents des cours d'eau voisins qui drainent vers le Congo, et dont les morphologies sont nettement plus incisées. Ce bassin a été choisi comme zone d'étude, parce qu'il présente un contraste morphologique entre son amont et son aval. Il couvre une superficie de 75 km × 60 km, et est localisé entre 3°45' et 4°10' nord, et entre 13°00' et 13°30'

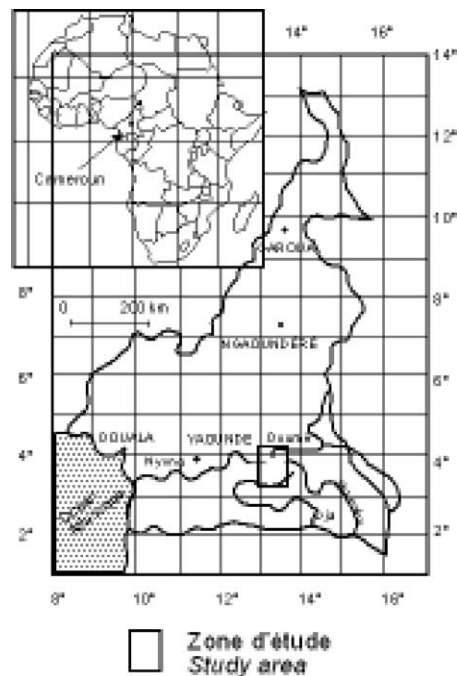


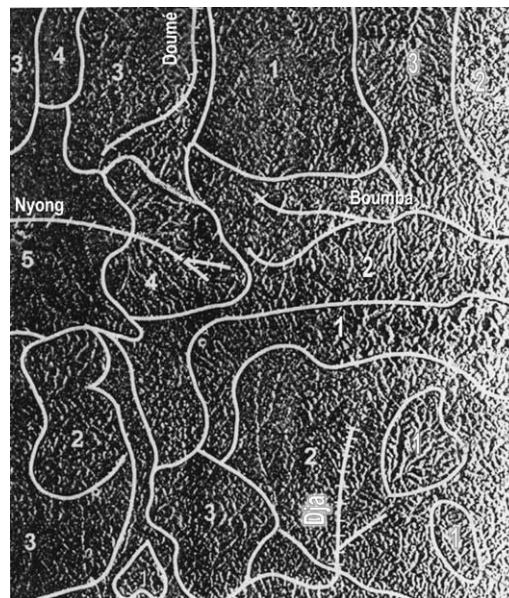
Fig. 1. Localisation de la zone d'étude.

Fig. 1. Localisation of the study area.

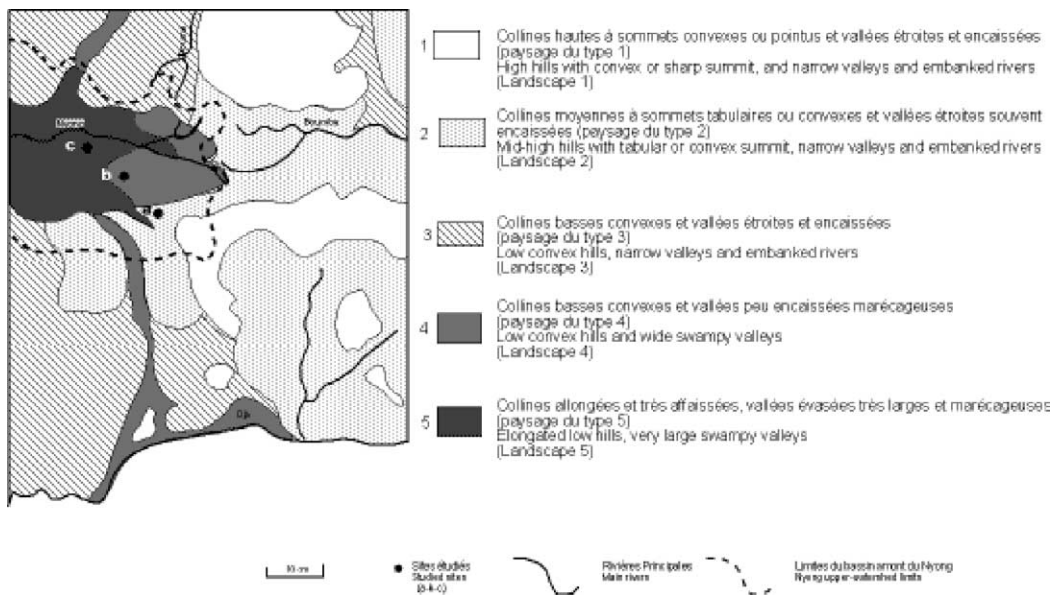
est (Fig. 1). Le climat y est chaud et humide, caractérisé par deux saisons sèches, alternant avec deux saisons humides d'inégales intensités, une température moyenne annuelle d'environ 23 °C et un module pluviométrique annuel de 1640 mm. Le degré hygrométrique moyen annuel est de 80 %. La végétation est une forêt dense, de type « semi-décidue congolaise », localement remplacée par des raphiales dans les vallées marécageuses [12]. Le substratum lithologique est constitué de gneiss et de micaschistes à grenats, généralement recoupés par des filons de quartz.

L'analyse des paysages a été faite au moyen de cartes topographiques correspondant aux feuilles IGN d'Abong-Mbang et de Bertoua au 1:200 000 et 1:500 000, d'images satellitaires et de relevés de terrain. Deux images radar ERS 1 prises en août 1994, en bande C, polarisation W, orbite descendante, mode PRI, avec une résolution de 12,5 m ont été mosaïquées et restituées sur papier photographique à l'échelle 1:200 000 et 1:500 000 pour être analysées par photo-interprétation (Fig. 2a).

En fonction de la texture de l'image et de la structure du réseau hydrographique, les images satellitaires



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Image radar de la région d'étude. (b) Schéma géographique de la région d'étude.

Fig. 2. (a) SAR-ERS 1 image of the study area. (b) Geomorphologic sketch map of the study area.

ont permis de différencier des entités paysagiques dont l'altitude et la morphologie ont été précisées grâce à l'analyse des cartes topographiques. Les observations de terrain ont permis de confirmer l'organisation générale des paysages du bassin amont du Nyong, telle

que mise en évidence par l'analyse des images satellitaires et des cartes topographiques. Des levés topographiques, effectués sur des sites représentatifs de chacune des entités paysagiques reconnues, ont permis de construire des coupes topographiques transversales

d'où ressortent la longueur de l'interfluve, le modelé de détail et la déclivité des versants, les dénivelées par rapport aux exutoires et la largeur des thalwegs.

Les sols et les altérations ont été étudiés en détail sur trois toposéquences réparties sur trois sites disposés le long d'un transect NW–SE, partant de la limite sud-est du bassin vers l'exutoire principal (Fig. 2b). L'étude a consisté en une caractérisation macroscopique et microscopique des principaux horizons pédologiques, d'abord sur le terrain, à l'aide de puits et de sondages à la tarière, puis au laboratoire, par observation des lames minces au microscope polarisant. Des analyses minéralogiques ont également été faites par diffraction des rayons X sur poudres d'échantillons totaux.

3. Résultats

3.1. Analyse morphologique de la zone d'étude

Le bassin amont du Nyong est limité par les bassins du Dja au sud, de la Boumba à l'est et de la Doumé au NNE (Fig. 2). Cinq types de paysages sont différenciés au sein de ces quatre bassins (Fig. 2).

Les paysages de type 1 sont constitués de hautes collines convexes, d'altitude ≥ 800 m, à sommets étroits et à versants à pentes fortes, séparées les unes des autres par des vallées étroites en forme de V. Ce type de paysage est toujours observé au niveau de la ligne de partage des eaux des différents bassins et très localement au sein du bassin du Dja (Fig. 2). Ces paysages portent des sols peu profonds (< 1 m), développés sur un substrat lithologique composé en majorité de roches du type quartzite ou quartzite micacé, très résistantes à l'altération [6]. En plus de leur faible épaisseur, ces sols présentent des caractères de jeunesse marqués par la présence de minéraux altérables jusqu'à la surface du sol. Les sols des paysages du type 1 ont des caractères spécifiques ne se retrouvant pas dans les sols des autres paysages développés sur gneiss ; ils ne seront donc pas étudiés ici.

Les paysages du type 2 correspondent à des collines peu élevées, d'altitude moyenne 750 m, à sommets tabulaires ou plans-convexes, séparées par des vallées en U, souvent encaissées, larges de 60 à 70 m. Ces paysages sont observés dans tous les bassins, mais leur densité varie d'un bassin à l'autre (Fig. 2). Le réseau hydrographique y est très dense et présente

une structure dendritique. Les versants des interfluves sont convexes, localement concaves en bordure de thalwegs, et peuvent présenter des ruptures de pente marquées. *L'analyse statistique de la radiométrie des images radar montre que les paysages de type 2 présentent la rétrodiffusion la plus élevée*, ce qui semble en accord avec la variabilité de la déclivité de leurs versants.

Les paysages de type 3 sont formés de collines convexo-concaves, d'altitude ≤ 700 m, à contours très nets, soulignés par des vallées peu larges et assez encaissées, parfois marécageuses, en forme de U évasé. Ce type de paysage est surtout représenté dans les bassins de la Doumé et du Dja (Fig. 2).

Les paysages du type 4 sont constitués de collines basses et assez affaissées, à sommets légèrement convexes, à versants plans-convexes, devenant concaves à leur base ; les pentes sont de l'ordre de 3 à 5 %, n'atteignant 10 % qu'en bordure des thalwegs. Ce type de paysage est observé dans tous les bassins. On note que, dans le bassin du Nyong, les interfluves ont une forme allongée et sont séparés par des vallées assez larges (150 à 200 m) et marécageuses, tandis que, dans les autres bassins, les interfluves sont subcirculaires, avec des vallées moins larges et moins marécageuses.

Les paysages du type 5 se distinguent par un relief général très affaîssé, mollement ondulé, et sont caractéristiques du bassin du Nyong (Fig. 2). On y observe des collines convexo-concaves très allongées, à pentes très faibles, de l'ordre de 2 à 4 %. Elles sont séparées par des vallées très larges excédant parfois 500 m, marécageuses et à fond plat. Le réseau hydrographique est très étalé, caractérisé par des cours d'eau au tracé rectiligne et structurés en grappes ou en treillis.

Les paysages 2, 4 et 5 sont typiques du bassin du Nyong. On constate un net étagement des reliefs et une modification continue des grands traits morphologiques des collines lorsqu'on se déplace depuis la limite sud-est du bassin vers l'exutoire au nord-ouest. La taille et la déclivité moyenne des versants diminuent ; parallèlement, les vallées deviennent de plus en plus larges et de plus en plus marécageuses.

3.2. Caractères morphostructuraux et minéralogiques des séquences d'altération du bassin du Nyong

Trois toposéquences, localisées dans chacun des trois types de paysages qui caractérisent le bassin

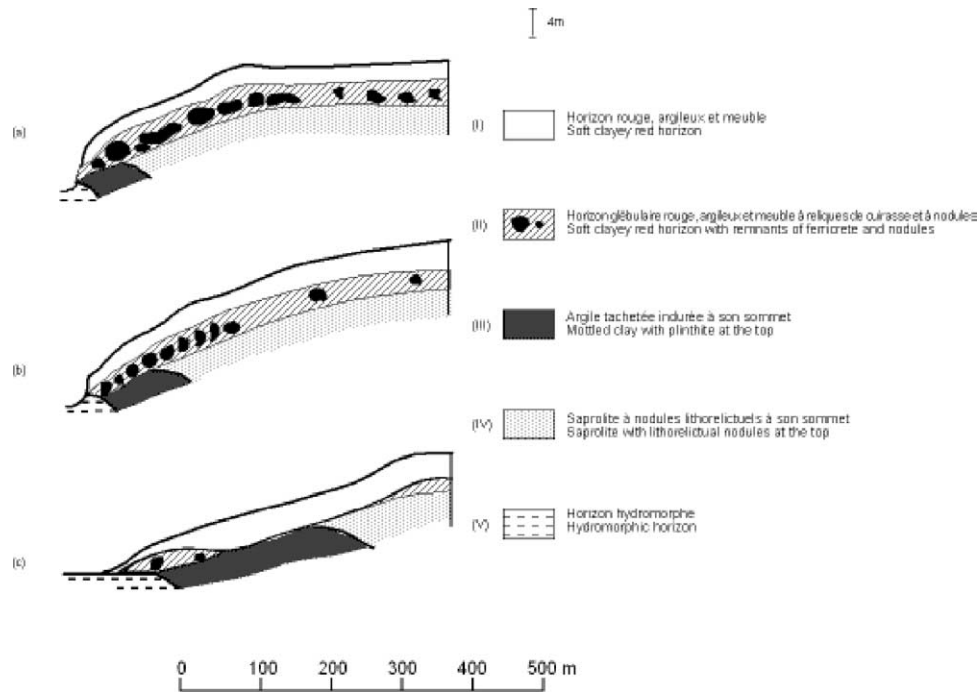


Fig. 3. Coupes des séquences étudiées : (a) paysage du type 2, (b) paysage du type 4, (c) paysage du type 5.

Fig. 3. Cross-section of the studied toposequences: (a) landscape 2, (b) landscape 4, (c) landscape 5.

amont du Nyong (Fig. 2b), ont été étudiées ; cinq principaux horizons y ont été différenciés (Fig. 3) :

- un horizon supérieur (I) rouge (10 R 4/8), argileux et meuble, finement structuré, composé principalement de kaolinite, associé au quartz, à la gibbsite et à l'hématite (Tableau 1) ; à l'aval des séquences, l'hématite est remplacée par la goéthite ;
- un ensemble d'horizons glébulaires médians (II) à nodules et à blocs de cuirasse emballés dans une matrice cohérente et tachetée, riche en gibbsite et en kaolinite (Tableau 1) dans sa partie supérieure, et à cailloux ferrugineux apparaissant dans un horizon discontinu en position inférieure, emballés dans une matrice rouge (10 R 5/8), meuble et peu cohérente, essentiellement kaolinitique ; lorsque les blocs de cuirasse sont très abondants, constituant un niveau continu et épais comme dans les paysages du type 2, les versants présentent alors des ruptures de pente très nettes (Fig. 3) ; les blocs de cuirasse, les nodules et les cailloux ont à peu près la même composition minéralogique à héma-

tite, goéthite et kaolinite, avec un peu de quartz et de gibbsite (Tableau 1) ;

- un horizon d'argile tachetée (III), pouvant être carapacé à son sommet, de nature kaolinitique et ferrugineuse ; les argiles tachetées sont massives et formées de taches jaunes à kaolinite et à goéthite, et de taches rouge violacé à kaolinite, hématite et goéthite (Tableau 1) ; elles contiennent de nombreux domaines saprolitiques résiduels, et la nappe phréatique bat toujours à leur base ; cet horizon est dépourvu de gibbsite (Tableau 1) ;
- une saprolite (IV) rouge (2,5 YR 5/8), fine et poreuse, kaolinitique et gibbsitique (Tableau 1), à structure de la roche mère conservée, contenant des nodules lithorelictuels de nature ferrugineuse et/ou gibbsitique ;
- un horizon aval hydromorphe (V), constitué d'un pseudo-gley à taches rouille et à taches grises décolorées, passant rapidement à un gley grisâtre peu profond ; cet horizon est constitué de kaolinite et de quartz, avec un peu de goéthite (Tableau 1).

Tableau 1
Composition minéralogique des principaux volumes pédologiques

Table 1
Mineralogical composition of the main facies

| Volumes pédologiques | | Kaolinite | Gibbsite | Quartz | Gœthite | Hématite | Anatase | |
|----------------------|------------------------------|----------------------------|----------|--------|---------|----------|---------|---|
| (I) | Horizon supérieur rouge | +++ | ++ | ++ | – | + | | |
| (II) | Horizons glébulaires médians | matrice cohérente tachetée | +++ | +++ | + | ε | + | – |
| | | blocs de cuirasse | ++ | + | ε | ++ | +++ | – |
| | | nodules | ++ | + | ε | ++ | +++ | – |
| | | cailloux | ++ | + | + | ++ | ++ | – |
| (III) | Horizon d'argile tachetée | taches jaunes | +++ | – | +++ | ++ | – | – |
| | | taches rouge violacé | ++ | – | ++ | ++ | ++ | – |
| (IV) | Saprolite rouge | +++ | ++ | ++ | + | ε | ε | |
| (V) | Horizon hydromorphe | +++ | – | +++ | ε | – | – | |

+++ : Très abondant ; ++ : abondant ; + : peu abondant ; ε : traces ; – : non identifié.

+++ : *Very abundant* ; ++ : *abundant* ; + : *poorly represented* ; ε : *traces* ; – : *non identified*.

L'extension spatiale de chacun de ces horizons varie dans les différentes séquences. Du sud-est au nord-ouest du bassin du Nyong, la taille et la déclivité moyenne des interfluves diminuent, et on constate que (Fig. 3) :

- l'épaisseur de l'horizon argileux rouge de surface (I) augmente sur les versants ;
- l'ensemble des horizons glébulaires médians (II) s'amincit jusqu'à disparaître par endroits ; il devient peu épais et discontinu, ne constituant plus que des domaines reliques, isolés au sommet et au bas des collines ;
- la saprolite (IV) se rétrécit latéralement, ne subsistant plus qu'en sommet de colline ;
- l'horizon d'argile tachetée (III) se développe et s'étend latéralement vers l'amont, de même que l'horizon argileux hydromorphe (V).
- on retrouve les mêmes héritages à nodules et blocs de cuirasse dans tous les types de paysage ; ces matériaux sont hématitiques et gœthitiques, ces deux minéraux étant toujours associés à la kaolinite et à la gibbsite ; on note que ces vestiges latéritiques cuirassés sont de moins en moins bien représentés dans les couvertures pédologiques, de la périphérie vers le centre du bassin ;
- les cuirasses se maintiennent préférentiellement à l'aval des versants, où leur masse favorise l'existence des talus qui bordent les marécages ;
- les horizons glébulaires se réduisent graduellement, tandis que l'horizon d'argile tachetée se développe à l'aval des versants ; l'horizon d'argile tachetée est essentiellement kaolinitique et gœthitique ; l'hématite n'y est que très faiblement représentée vers le sommet de l'horizon, mais *la gibbsite y est totalement absente*.

4. Discussion et conclusion

L'analyse comparée des paysages et des couvertures pédologiques de la périphérie vers le centre du bassin amont du Nyong fait donc ressortir les faits suivants :

- les collines apparaissent globalement plus étroites et plus allongées ;
- la taille et la déclivité moyenne des versants diminuent ; parallèlement, les vallées marécageuses sont de plus en plus larges ;

La présence de reliques de cuirasse, notamment gibbsitiques, identiques sur l'ensemble du bassin, indique qu'un même système cuirassé a couvert toute la région. C'est sa transformation qui a donné naissance à l'épaisse couverture pédologique constituée d'horizons supérieurs meubles rouges et d'un ensemble d'horizons glébulaires [5,19,26]. Cette transformation des cuirasses, de même que le développement de l'aval vers l'amont des argiles tachetées aux dépens de la saprolite, sont le reflet du déséquilibre (d'origine climatique) des couvertures pédologiques de l'ensemble du bassin [7]. La présence systématique de cuirasses

résiduelles à l'aval des versants et en marge des zones marécageuses indique que, s'il y a eu incision de la topographie par le réseau hydrographique après la période de cuirassement, cette incision n'a pas donné lieu à une érosion mécanique importante par recul des versants. L'évolution des versants se serait donc faite par affaissement par suite du démantèlement sur place de ces cuirasses, associé à un enfoncement vertical dans le matériau originel de ces couvertures de sols (en déséquilibre) au cours de leur évolution [13]. On constate, par ailleurs, que c'est sur les collines du centre du bassin que la dégradation de l'ancien système cuirassé est la plus poussée, les restes de cuirasses y étant moins abondants, avec un ensemble glébulaire globalement plus mince et plus discontinu.

Si l'on associe le démantèlement de l'ancienne couverture latéritique indurée à un changement climatique, comme l'ont montré de nombreux auteurs en milieu tropical humide [1,3,4,6,20,29], la moindre abondance des éléments résiduels au centre du bassin signifierait donc que les couvertures latéritiques y étaient initialement moins indurées, ce qui est contredit par la présence de gros blocs cuirassés identiques de bas de pente, tant au centre qu'à la périphérie du bassin. Il faut donc admettre que la dégradation des systèmes cuirassés, la formation des horizons meubles supérieurs, puis la réduction de l'ensemble glébulaire ont démarré au centre du bassin, s'étendant progressivement vers la périphérie.

Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de relations de cause à effet entre l'extension de l'argile tachetée et l'amincissement et la disparition de l'ensemble glébulaire. L'argile tachetée apparaît simplement liée à l'existence d'une nappe phréatique permanente dans la zone des marécages, tandis que l'amincissement de l'ensemble glébulaire serait, comme le démantèlement de la cuirasse initiale, la conséquence d'un processus de fonte géochimique résultant de l'évolution verticale des profils. Cette fonte géochimique serait à l'origine de l'affaissement de la surface topographique. On note par ailleurs, à l'échelle du versant, que la fonte des cuirasses est plus intense à la base du versant, à proximité de l'exutoire et de la nappe où il règne donc une ambiance perhumide et au sommet des interfluves, où le modelé plan permet un temps de résidence de l'eau considérable. Sur les versants, les écoulements latéraux sont plus rapides et la dégradation des cuirasses

est par conséquent plus lente ; ceci entraîne le maintien des reliques de cuirasse sur les versants, et la mise en relief de talus en bordure des marécages. Au bas des versants, la formation d'argiles tachetées, massives, aux dépens d'altérites très poreuses, induit un tassement qui accentuerait l'affaissement de la topographie. Cet affaissement contribuerait à l'abaissement général de la topographie et au maintien, voire à la remontée relative du niveau hydrostatique. Il favoriserait aussi un recul des talus des bas de pente et donc un élargissement du marécage. Mais ce recul reste limité, du fait de la présence des cuirasses qui arment les bas de pente.

Au cours du processus général de fonte géochimique des cuirasses, initié par le passage à un climat plus humide, la forêt aurait joué un rôle important [2,3,10,20], notamment en accélérant le processus. On peut en effet supposer qu'une couverture cuirassée sans couverture forestière ait été progressivement colonisée par la forêt en commençant par les points bas du paysage, au voisinage des drains principaux, comme cela est observé en zone de savanes, à moins de 100 km au nord du secteur d'étude, où la forêt colonise les parties hautes du paysage à partir des vallées [10]. Dans le haut bassin du Nyong, le démantèlement sur place d'une ancienne couverture latéritique cuirassée, consécutif au passage à un climat plus humide et au développement de la forêt, a donc pu conduire à un affaissement généralisé du modelé et à la formation de collines basses convexes isolées au milieu d'un marécage. Si tel est bien le cas, il y a eu enfoncement du réseau hydrographique secondaire jusqu'au niveau hydrostatique qui s'est maintenu constant – ou a subi une légère remontée mise en évidence par l'encombrement de plus en plus marqué du lit du Nyong [23] – accentuant ainsi le développement des marécages. L'évolution morpho-pédologique s'explique donc essentiellement par la fonte géochimique des matériaux cuirassés et l'enfoncement vertical des couvertures de sol et d'altération, tandis que les différenciations latérales ne jouent qu'un rôle très limité. Ces observations montrent donc l'importance des changements climatiques, de la dynamique forestière, de la fonte géochimique des matériaux ferrugineux, des niveaux hydrostatiques et des héritages latéritiques dans l'évolution des sols et des modelés de la zone intertropicale humide d'Afrique.

Références

- [1] A. Beauvais, Paléoclimats et dynamique d'un paysage cuirassé de Centrafrique. Morphologie, pétrologie et géochimie, thèse, université de Poitiers, 1991, 315 p.
- [2] A. Beauvais, Y. Tardy, Formation et dégradation des cuirasses ferrugineuses sous climats humides, à la lisière de la forêt équatoriale, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II 313 (2) (1991) 1539–1545.
- [3] A. Beauvais, Y. Tardy, degradation and dismantling of iron crusts under climatic changes in Central Africa, Chem. Geol. 107 (1993) 227–280.
- [4] P. Bilong, S.-M. Eno Belinga, B. Volkoff, Séquence d'évolution des paysages cuirassés et des sols ferrallitiques en zone forestière tropicale d'Afrique centrale. Place des sols à horizon d'argile tachetée, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. IIA 314 (1992) 109–115.
- [5] D. Bitom, Organisation et évolution d'une couverture ferrallitique en zone tropicale humide (Cameroun). Genèse et transformation d'ensembles ferrugineux indurés profonds, thèse, université de Poitiers, 1988, 164 p.
- [6] D. Bitom, B. Volkoff, Altération déferruginisante des cuirasses massives et formation des horizons gravillonnaires ferrugineux dans les sols de l'Afrique centrale humide, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II 316 (1993) 1447–1454.
- [7] R. Boulet, A. Chauvel, Y. Lucas, Les systèmes de transformation en pédologie, Sci. du Sol, Cinquantenaire de l'AFES, 1984, pp. 167–179.
- [8] J. Embrechts, Pedogenesis in relation to landscape development in a humid subequatorial climate (Yaoundé, Cameroun), Academiae Analecta, Bruxelles 48 (2) (1986) 1–4.
- [9] S.-M. Eno Belinga, Géologie du Cameroun, SOPECAM, Yaoundé, Cameroun, 1984, 307 p.
- [10] V. Kamgang Beyala, Évolution supergène des roches et incidences phytogéographiques : cas du contact forêt-savane du Sud-Est Cameroun, thèse d'État, université de Yaoundé-1, 1998, 208 p.
- [11] M. Kuete, Landscape and geomorphological evolution of the East of Cameroon, in : H. Kadomura (Ed.), Geomorphology and environmental changes in tropical Africa, Case studies in Cameroon and Kenya, vol. 3, Hokkaido Univ., 1984, pp. 75–92.
- [12] R. Letouzey, Carte phytogéographique du Cameroun au 1/32 500 000, in : Atlas Jeune Afrique du Cameroun, Jeune Afrique, Paris, 1979, p. 45.
- [13] Y. Lucas, R. Boulet, A. Chauvel, Intervention simultanée des phénomènes d'enfoncement vertical et de transformation latérale dans la mise en place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas des systèmes sols ferrallitiques-podzols de l'Amazonie brésilienne, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II 306 (1988) 1395–1400.
- [14] M.J. Mac Farlane, Lateritisation and landscape, Academic Press, London, 1971, 151 p.
- [15] D. Martin, Études pédologiques dans le centre Cameroun : Nanga Eboko à Bertoua, Mém. Orstom, vol. 19, Orstom, Paris, 1966, 90 p.
- [16] D. Martin, Géomorphologie et sols ferrallitiques dans le centre du Cameroun, Cah. Orstom, Sér. Pédol. 5 (2) (1967) 189–218.
- [17] D. Martin, B. Volkoff, Signification paléoclimatique des cuirasses et des nappes de nodules ferrugineux dans les sols d'Afrique centrale (rive droite du Zaïre), in : R. Lanfranchi, D. Schwartz (Eds.), Les paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique, Orstom, Paris, 1990, pp. 129–135.
- [18] G. Millot, Géochimie de la surface et formes du relief. Présentation, Sci. Géol. – Bull. 30 (1977) 229–233.
- [19] J.-P. Muller, Analyse pétrologique d'une formation latéritique meuble du Cameroun. Essai de traçage d'une différenciation supergène par les paragenèses minérales secondaires, thèse d'État, université Paris-7, 1987, 188 p.
- [20] D. Nahon, A. Melfi, C.N. Conte, Présence d'un vieux système de cuirasses ferrugineuses latéritiques en Amazonie du Sud. Sa transformation in situ en latosols sous la forêt équatoriale actuelle, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II 308 (1989) 755–760.
- [21] P.-D. Ndjigui, Métallogénie de la serpentinite de Kondong II et de son manteau d'altération dans le Sud-Est du Cameroun : pétrographie, minéralogie et géochimie, thèse de 3^e cycle, université de Yaoundé-1, 2000, 170 p.
- [22] Ongué Mala, Différenciations pédologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun). Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modelé, thèse, université Paris-6, Paris, 1993, 254 p.
- [23] J.-C. Olivry, Fleuves et rivières du Cameroun, Monographies Hydrologiques, vol. 9, Orstom, Paris, 1986, 733 p.
- [24] P. Ségalen, Le remaniement des sols et la mise en place de la *stone-line* en Afrique, Cah. Orstom, Sér. Pédol. 7 (1) (1969) 113–127.
- [25] P. Ségalen, Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique, Coll. Etudes et Thèses, Orstom, Paris, 1995, 201 p.
- [26] F. Seyler, B. Volkoff, Spatialisation d'une étude pédologique localisée sous forêt tropicale dense à l'aide d'une image, Thematic Mapper, Cah. Orstom, Sér. Pédol. 28 (1) (1993) 95–106.
- [27] Y. Tardy, Pétrologie des latérites et des sols tropicaux, Masson, Paris, 1993, 459 p.
- [28] Y. Tardy, B. Kolbisek, H. Paquet, Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the last 150 million years and implications for India and Australia, J. Afr. Earth Sci. 12 (1/2) (1991) 283–295.
- [29] Y. Tardy, A.J. Melfi, I. Valetton, Climats et paléoclimats tropicaux périatlantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques : température et activité de l'eau sur la répartition et la composition minéralogique des bauxites et des cuirasses ferrugineuses au Brésil et en Afrique, C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II 306 (2) (1988) 289–295.
- [30] P. Tématio, D. Bitom, P. Bilong, B. Volkoff, S.-M. Eno Belinga, Évolution morpho-pédologique des collines hautes dans la région de Mvangan au Sud-Cameroun : exemple de Nkolmbess, in : J.-P. Vicat, P. Bilong (Eds.), Géologie et environnements au Cameroun, collection GEOCAM, vol. 1, université de Yaoundé, 1999, pp. 221–241.
- [31] M.-F. Thomas, Geomorphology in the tropics. A study of weathering and denudation in low latitudes, John Wiley & Sons, London, 1994, 433 p.
- [32] R. Yongué, Contribution à l'étude pétrologique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatiques de la région de Yaoundé, thèse 3^e cycle, université de Yaoundé, 1986, 214 p.