

La couverture pédologique du Bouclier du Nord de l'Amazonie (bassin du Haut Rio Negro). Séquence évolutive des sols et son rôle dans l'aplanissement généralisé des zones tropicales perhumides

Didier DUBROEUQ, Boris VOLKOFF et Georges PÉDRO

Résumé – Le bassin du Haut Rio Negro en Amazonie présente, dans une remarquable uniformité de climat et de substrat, une mosaïque de sols très diversifiés où dominent les sols ferrallitiques et les podzols, avec des modelés variant des collines convexes aux surfaces planes. L'étude de séquences de sols et l'analyse cartographique de la distribution des différentes couvertures montrent que les modelés et leurs couvertures associées dérivent les uns des autres. On met ainsi en évidence le remplacement progressif des modelés polyconvexes à sols ferrallitiques par des modelés plans à sols allitiques jaunes qui évoluent à leur tour en podzols géants, puis en tourbe. Cette séquence aboutit à un nouveau modèle d'aplanissement généralisé en climat perhumide, résultant de la mise en œuvre de mécanismes pédo-géochimiques.

The soil cover of the northern Amazonian shield (Basin of the Upper Rio Negro). Soil sequence evolution and its role in the general planation of the perhumid tropical zones

Abstract – The Upper Rio Negro basin displays, under notably constant humid climate and uniform geological basement, a patchwork of very different soils in which ferrallitic soils and podzols prevail, developing graded reliefs from convex hills to level surfaces. Studies of soil sequences and cartographic analysis of the soil distribution imply the existence of a generic link between all the different soil covers and their respective landform. The existence is shown of a gradual replacement of polyconvex ferrallitic hills by level surfaces covered with yellow allitic soils evolving into giant podzols and then into peat soils. Such an evolution cycle leads to a new general planation model under perhumid conditions through soil and geochemical processes.

Abridged English Version – In humid tropical regions it is supposed that ferrallitic evolution originates the vast planation surfaces dissected into a multitude of convex hills which compose most of African and South American landforms over precambrian shields ([1], [2]). However, the Upper Rio Negro basin spreads upon a precambrian shield [5] under high annual rainfall (Table), but shows a different landscape: a very extensive and low plateau (alt. 80 to 100 m), where convex hills appear only on its edges [6]. The plateau mantle is mainly allitic and also sandy with giant podzols. It may originate from either a pediment levelled during arid periods ([3], [4]), or an old planation surface evolving under constant humid conditions and tectonic stability. This paper attempts to check the latter hypothesis. By means of field observations conducted through sequences of pits in Brazilian and Venezuelan Amazonia, and through a small-scale survey conducted in Venezuelan Amazonia [7] the soil structure has been described especially in the contact between plateau and hills, and in its relation with the various landforms. A 650,000 km² map of the Upper Rio Negro basin has been obtained at scale 1/500,000 from field information and Radar-SLAR and Landsat imagery. The map has been digitalized and analyzed in a computer graphic system [8]. It shows seven physiographic units, six of them corresponding to a specific hill and plateau soil cover: 1, ferrallitic mantle of polyconvex hills, 2, ferrallitic mantle of flat hills, 3, flat hill ferrallitic mantle with podzolic evolution, 4, level ferrallitic mantle (yellow allitic soils), 5, sandy plain with giant podzols, 6, peats in the giant podzols. The first results lead

Note présentée par Georges PÉDRO.

0764-4450/91/03120663 \$ 2.00 © Académie des Sciences

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 31.911 ex 1

Cote : 7 B p 33

14 MAI 1991

to an understanding of the morphopedological evolution: when the relief of the hills decreases to a level ferrallitic surface, the ferrallitic soil mantle gets gradually thinner by reduction of the saprolite ([9], [10]) and transforms into a shallow soil (yellow allitic soil) (*Fig. 2*). A normal evolution of the edges of the ferrallitic mantle transforms a flat hill cover and a ferrallitic level surface [12] into a podzolic plain (*Fig. 3*). A normal transformation of a giant podzol into peat soil appears by addition of subsurface horizons [14], when the groundwater rises near the surface [13] (*Fig. 4*).

The second results lead us to understand the spatial arrangement of the various soil covers: the polyconvex surface is related to high reliefs and inselbergs with which it lies against or surrounds [11] and is enclosed in low flat hills with ferrallitic cover areas which are enclosed in their turn in the extended and dissected panels of level ferrallitic mantle [11]. The sandy podzolic cover is directly related to the level ferrallitic mantle and develops areas inside ferrallitic panels. The ferrallitic mantle with podzolic evolution is located between ferrallitic cover and sandy mantle and is directly related to these two units. The peat soils are directly related to the sandy mantle and develop clusters of small areas in the center of the sandy plateaus.

Therefore, the spatial distribution of the ferrallitic soil covers observed on the map is the result of a general morphopedologic evolution which transforms polyconvex hills into smoother and lower surfaces and then into level ferrallitic surfaces, so reducing the whole soil profile. The podzolization is superimposed on the ferrallitic evolution and attacks the flat hills and the level ferrallitic units from its edges. These results show the existence of a *normal evolution cycle* including the five following stages: ferrallitic polyconvex hills; ferrallitic flat hills; ferrallitic plain; podzolic plain and peat bog. This cycle is observed between alt. 160 m at the top of the convex hills, and alt. 90 m at the podzol level. It produces a general relief levelling of 70 m. In the regions where the normal sequence is incomplete, ferrallitic hills are absent and the sandy podzolic mantle is largely developed. In these conditions, flat hills with podzolic evolution replace the ferrallitic hills and the general altitudes are 15 m lower than those of the normal sequence: 65 m for peat soils and podzols, 120 m for the ferrallitic hills. Such an evolution cycle leads to a new model of general planation through soil and geochemical processes under perhumid tropical conditions which complements that proposed previously for contrasted tropical climatic conditions ([15], [16], [17]).

I. INTRODUCTION. POSITION DU PROBLÈME. — En milieu tropical humide, les couvertures pédologiques sont essentiellement ferrallitiques et caractérisées par des altérites très profondes surmontées de sols argileux à kaolinite riches en hydroxydes d'aluminium et de fer sous des formes microcristallines. Ces sols résultent d'une évolution géochimique intense des roches parentales, où l'exportation des bases libérées au cours de l'altération et la dissolution du quartz durant une longue période de temps conduisent à la néoformation de kaolinite et à l'accumulation d'oxy-hydroxydes si le drainage reste constant.

On attribue à ce type d'évolution géochimique les vastes surfaces en moutonnement de collines convexes ([1], [2]), qui correspondent aux paysages les plus fréquents des régions tropicales humides sur boucliers précambriens d'Afrique et d'Amérique du Sud (Afrique Centrale et Amazonie-Guyane).

Pourtant le bassin du Haut Rio Negro, situé sur un bouclier précambrien et soumis à une pluviosité élevée (plus de 3000 mm), présente un paysage différent : un immense

plateau surbaissé de 100 m d'altitude en moyenne, où les champs de collines convexes n'apparaissent que sur ses bordures et se réduisent à quelques massifs isolés dans sa partie centrale. La couverture pédologique du plateau, très différente de celle des collines, est de nature allitique avec des sols jaunes le plus souvent lessivés ou encore essentiellement sableuse avec des podzols géants.

L'origine de cette vaste surface à modelé plan peut être interprétée de plusieurs manières : ou bien comme un pédiment façonné lors d'une période climatique sèche ([3], [4]) sur lequel se seraient ultérieurement développés des podzols, ou bien comme un aplanissement qui résulte d'une évolution pédologique continue sous climat humide durant une longue période de stabilité tectonique.

Afin de vérifier cette dernière hypothèse, nous avons étudié les couvertures pédologiques des collines ainsi que celles des plateaux, puis analysé leurs relations.

II. LE BASSIN DU RIO NEGRO. CARACTÈRES PRINCIPAUX. — Le secteur étudié, localisé à la fois sur le Brésil, le Vénézuéla et la Colombie, couvre environ 650 000 km². Il occupe le haut bassin du Rio Negro et la région du Casiquiare au Nord, et le cours inférieur du Rio Uaupès dans le Sud (fig. 1).

Dans ce vaste bassin, le substrat géologique, précambrien inférieur [5], forme un socle constitué de larges panneaux orientés NE montrant des séquences allant des gneiss aux migmatites, recoupés transversalement par des métasédiments et traversés par de petits batholites granitiques de forme ovale ([6], [7]).

A l'exception des inselbergs granitiques et des crêtes quartzitiques du domaine des métasédiments, le relief de ce bassin se présente comme un vaste plateau, de 100 m d'altitude moyenne, surbaissé par rapport à des champs de collines et entaillé par les drains fluviaux majeurs. Les champs de collines sont situés, soit en bordure du bassin, soit en massifs centraux isolés; les collines vont du modelé convexe aux formes aplanies.

Le climat actuel se caractérise par l'abondance des précipitations (tableau) et la faible amplitude thermique annuelle : moyenne annuelle globale = 25°C (minima = 21°C, maxima = 30°C). La période la plus pluvieuse se situe entre mars et août (300 à 500 mm mensuels), avec un minimum en mai-juin, et la moins pluvieuse entre octobre et février (150 à 250 mm mensuels).

La couverture végétale est entièrement primaire : une *forêt* de grande taille sur les sols ferrallitiques des collines et sur les sols jaunes de plaine, un *taillis arbustif* troué de plages dénudées sur la plaine sableuse à podzols, enfin un *perchis d'arbres à échasses* sur les tourbes et le fond des entailles inondables.

III. TRAITS DE LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE ET CARTOGRAPHIE. — La cartographie permet de distinguer, d'une part une couverture ferrallitique sur les entailles du plateau et d'autre part six autres couvertures développées sur les collines et le plateau : (1) couverture ferrallitique des massifs en collines polyconvexes hautes dont les altitudes sommitales varient de 95 à 160 m; (2) couverture ferrallitique des collines convexes basses, qui composent un modelé de 15 à 20 m de dénivelée et dont les altitudes sommitales varient de 80 à 130 m; (3) couverture ferrallitique des collines basses à aval podzolique; (4) couverture ferrallitique de la plaine (sols allitiques jaunes), dont l'altitude varie de 75 à 120 m; (5) podzols géants développés dans cette même plaine; enfin (6) tourbes faiblement argileuses sur podzols qui occupent un relief très plat et portent une végétation de forêt.

Les unités pédologiques et leurs transitions ont été décrites sur le terrain par l'observation de toposéquences de sols.

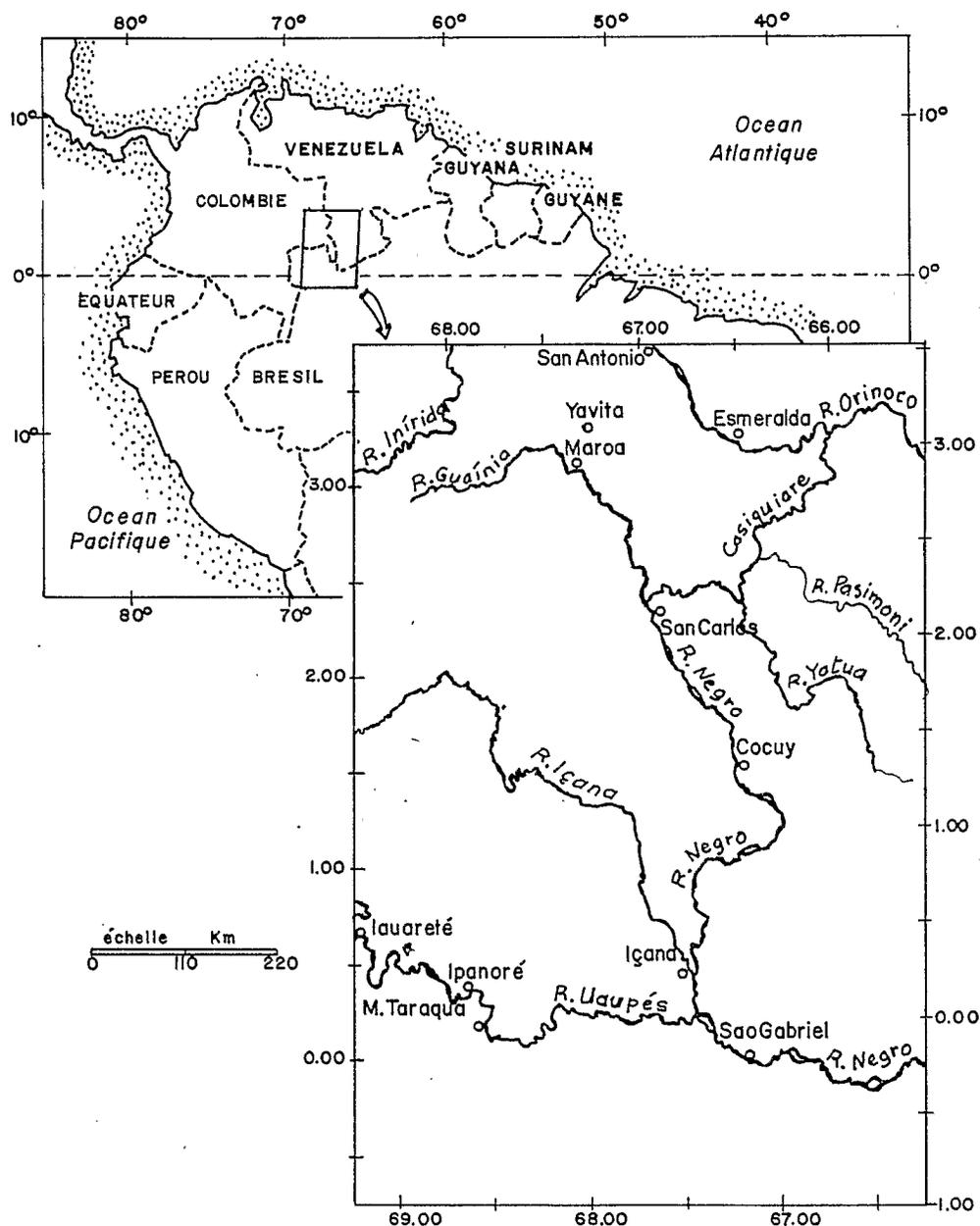


Fig. 1. — Carte de situation.

Fig. 1. — Location map.

La carte des couvertures pédologiques a été obtenue par la juxtaposition de limites tracées manuellement sur une couverture d'images radar-SLAR à 1/250 000 et sur des clichés d'images satellitaires Landsat (canal 7) à 1/500 000 reportés sur un fond à 1/500 000. Cette carte a été ensuite numérisée, puis analysée par infographie [8] de manière à restituer cartographiquement tout ou partie des caractères contenus dans la légende : unités de sols, nouvelles unités basées sur des regroupements de caractères, contact des unités entre elles...

TABLEAU
Pluviosités annuelles (mm).
Annual rainfall (mm).

Station	période 1931-1960	période 1965-1974
Sao Gabriel	2914.9	3070
Missao Taraqua	3652.2	3550
Iouarete	3505.5	3750
Maroa		3944

IV. DISTRIBUTION SPATIALE DES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES ET LEURS RELATIONS. — Trois cas seront présentés :

1. *Sols ferrallitiques des collines et du plateau* (fig. 2). — Plusieurs types ont été reconnus en fonction de leur situation morphologique : sur les collines hautes, on a affaire à des sols ferrallitiques modaux jaune-rouge très profonds (15-20 m); sur les collines plus aplanies s'individualisent des sols ferrallitiques moins épais à horizons éluviés et gravillonnaires. Quant au stade ultime, il est atteint en modelé plan avec des sols ferrallitiques à gibbsite, jaunes, peu profonds (3-5 m) et lessivés (ils ont été dénommés sols allitiques jaunes). Au total on observe, au fur et à mesure de l'aplanissement des collines, à la fois une réduction de l'épaisseur de l'altérite et une différenciation d'horizons supplémentaires ([9], [10]).

L'analyse cartographique réalisée dans cette zone fait apparaître d'autre part trois relations entre les différentes couvertures ferrallitiques :

— La couverture polyconvexe entoure les inselbergs ou bien s'adosse aux reliefs montagneux des surfaces supérieures [11].

— La couverture en collines basses cerne celle des collines convexes par des ensembles plus larges, ou encore se divise en petites unités à contours arrondis disséminés dans la plaine.

— La couverture ferrallitique de la plaine enferme les deux ensembles précédents dans de larges panneaux très disséqués [11] et, d'un autre côté, subsiste en îlots isolés au sein de la plaine sableuse à podzols.

2. *Transitions sols ferrallitiques-podzols* (fig. 3). — Cette évolution se manifeste aussi bien au pied de certaines collines ferrallitiques aplanies (collines à aval podzolique) qu'en bordure des sols allitiques jaunes [12]. Dans les deux cas, elle affecte un sol amont déjà fortement amenuisé par rapport au profil ferrallitique modal et entraîne la disparition des horizons, médian et supérieur, avec redistribution des constituants et individualisation de nouveaux horizons. En général, cette transition se réalise sur quelques mètres de distance; elle produit par ailleurs un affaissement de la topographie : de 1 ou 2 m dans le cas de la plaine, et de 5 à 8 m dans le cas des collines.

La distribution spatiale des couvertures pédologiques montre également l'existence de trois relations entre la plaine à podzols et les couvertures ferrallitiques avoisinantes :

— On passe directement de la couverture ferrallitique plane à la plaine à podzols, soit par des taches qui apparaissent dans la partie centrale des panneaux ferrallitiques, soit par des plages plus importantes qui ne laissent subsister que des franges de plaine ferrallitique en bordure des panneaux.

— Le passage des couvertures ferrallitiques en collines à la plaine à podzols se réalise par l'intermédiaire de l'unité de collines à aval podzolique. Cette unité forme des massifs

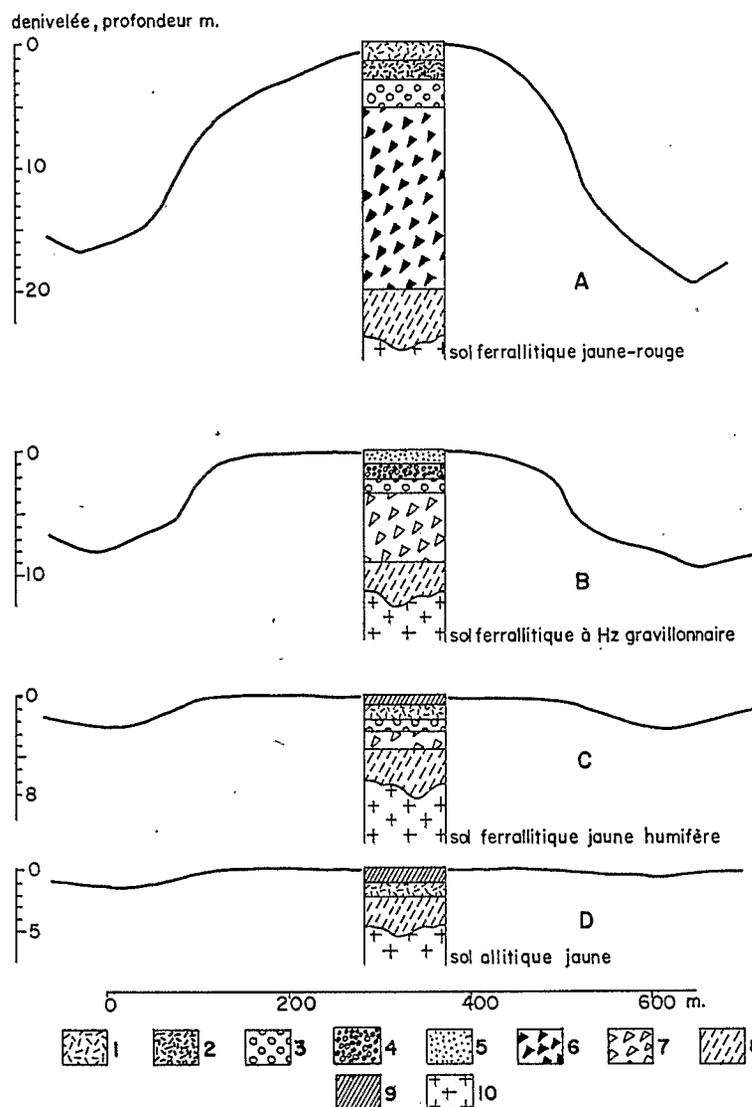


Fig. 2. — Diversification du profil ferrallitique en fonction du modelé : A = colline convexe, B = colline aplanie, C = surface faiblement ondulée, D = surface plane. Description des horizons : 1 = jaune argileux, 2 = rouge argileux, 3 = plinthite tachetée, 4 = gravillonnaire, 5 = jaune éluvié, 6 = saprolite rouge, 7 = saprolite bariolée, 8 = régolite, 9 = humifère, 10 = roche altérée.

Fig. 2. — Differentiation of the ferrallitic profile in relation to the landform: A = convex hill, B = flat hill, C = slightly undulating surface, D = level surface. Description of the horizons: 1 = yellow clayey, 2 = red clayey, 3 = mottled plinthite, 4 = hard nodules, 5 = yellow eluviated, 6 = red saprolite, 7 = mottled saprolite, 8 = regolith, 9 = humus rich, 10 = altered rock.

à contours arrondis qui prolongent les collines ferrallitiques dans la plaine à podzols en conservant la même orientation et le même dessin des contours.

— Enfin les aires de collines basses à aval podzolique présentent toujours un contact avec la plaine à podzols et peuvent ainsi s'intercaler entre la plaine ferrallitique et les podzols.

3. *Transition podzol-tourbe* (fig. 4). — Elle se développe lors de la remontée du toit de la nappe profonde dans les plaines sableuses à podzols [13]. Elle entraîne, à la partie

supérieure du podzol géant initial, la formation de nouveaux horizons organiques et sablo-argileux compacts [14] qui maintiennent une nappe subsuperficielle où se développent les tourbes. Les tourbières sont incluses dans les plaines à podzols; elles forment des taches géométriques au centre des interfluves.

V. INTERPRÉTATION : MISE EN ÉVIDENCE D'UNE SÉQUENCE ÉVOLUTIVE. — Les arguments cartographiques montrent ainsi que les couvertures ferrallitiques planes dépendent des couvertures ferrallitiques des collines convexes dont elles constituent l'aval. Le profil ferrallitique, argileux et épais au départ, voit progressivement son épaisseur se réduire pour aboutir à un sol éluvié peu épais développé sur une arène (régolite); simultanément on passe d'un modelé en collines, d'abord convexes puis aplanies, à un modelé plan (fig. 2).

On se trouve en présence d'une véritable *séquence évolutive normale*, dont les différents termes sont les suivants : sols ferrallitiques des modelés polyconvexes, sols ferrallitiques des collines basses, sols ferrallitiques de la plaine, podzols et tourbes. Cette évolution intervient entre les cotes générales de 160 m pour le modelé convexe à 90 m pour les plaines à podzols. Elle va de pair avec un abaissement de relief de 70 m.

Lorsque la couverture ferrallitique plane tend à se réduire ou bien qu'elle n'existe plus, elle est remplacée par la plaine à podzols; on note alors le développement d'une unité dérivée, constituée de collines basses à aval podzolique. Une telle séquence signifie que la podzolisation s'est développée avec une intensité plus grande que dans les transformations de la séquence normale. C'est ce qu'on observe lorsque les côtes générales sont très basses : 120 m pour les modelés polyconvexes et 65 m pour les tourbes marécageuses, soit une altitude de 15 m inférieure à celle de la séquence normale. Cette situation caractérise les zones *subsidentes* de la bordure Est du bassin, au pied des reliefs montagneux du Massif Guyanais.

VI. CONCLUSIONS. — Sur socle cristallin et sous un climat tropical perhumide, l'évolution normale d'un paysage ferrallitique semble conduire à un effacement du modelé en demi-oranges. Les reliefs convexes tendent à s'aplanir, les dénivelées diminuent. On passe progressivement à un paysage *plat* comportant des sols *peu épais* sur une altérite arénacée gibbsitique. Cette dernière subit ensuite une podzolisation qui transforme le paysage en une plaine sableuse envahie par les tourbières, terme final de cette évolution.

Ainsi est mise en évidence une séquence évolutive normale, comportant au moins cinq stades d'évolution morpho-pédologique des boucliers stables des zones équatoriales : collines ferrallitiques polyconvexes, collines ferrallitiques basses, plaine à sols ferrallitiques, plaine à podzols et tourbières.

Naturellement, les différents termes sont plus ou moins développés suivant la durée de l'évolution et en même temps suivant les autres phénomènes géologiques ou climatiques qui ont été susceptibles d'intervenir. Il est clair par exemple que, pour une même durée, la présence prédominante des premiers stades est le signe d'une émergence modérée, alors que la prépondérance des derniers constitue la marque d'une tendance à la subsidence.

On dispose ainsi d'un mécanisme d'aplanissement des reliefs sur socle stable soumis à des climats perhumides. Ceci ne peut manquer de suggérer une comparaison avec les mécanismes d'aplanissement sur socle en climat tropical alternant, proposés au cours de ces dernières années ([15], [16], [17]). Mais dans de telles régions lorsque la saison sèche s'aggrave, c'est le lessivage, puis l'exportation mécanique des horizons lessivés qui constituent les phénomènes primordiaux. Ici, au contraire en climat tropical perhumide,

c'est la lixiviation qui est dominante et qui est à l'origine de l'aplanissement généralisé des socles cristallins.

Note remise le 15 octobre 1990, acceptée le 28 janvier 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. TRICART, *Le modèle des régions chaudes, forêts et savanes*, SEDES, Paris, 1965, 322 p.
- [2] C. R. TWIDALE, *Granite Landforms*, Amsterdam, New York, Oxford, Elsevier Scientific Publishing Company, 1982, 372 p.
- [3] J. TRICART, *Rev. Geomorph. Dyn.*, 18, 1974, p. 145-158.
- [4] T. VAN DER HAMMEN, *J. Biogeog.*, 1, 1974, p. 3-26.
- [5] B. CHOUBERT, *Mém. B.R.G.M.*, 81, Paris, 1974, 212 p.
- [6] Brésil, *Projeto Radambrasil*, 11, Pico da Neblina, 1976, Ministerio das Minas e Energia, Departamento da produção Mineral, Rio de Janeiro, 374 p.
- [7] Vénézuéla, *Atlas del Inventario de Tierras del Territorio Federal Amazonas*, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables, Division del Suelos et ORSTOM, 1987, Caracas.
- [8] P. FAURE et C. BENIZRI, in *Séminfor 1 Premier Séminaire Informatique de l'ORSTOM*, coll. Coll. et Séminaires, ORSTOM, Paris, 1987, p. 299-320.
- [9] E. FRITSCH, G. BOCQUIER, R. BOULET, M. DOSO et F. X. HUMBEL, *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., 22, (4), 1986, p. 361-396.
- [10] Y. LUCAS, A. CHAUVEL et R. BOULET, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 306, série II, 1988, p. 1395-1400.
- [11] M. GAUVAUD, P. BLANCANEUX, D. DUBROEUQ et M. POUYLLAU, *Cah. ORSTOM*, sér. pédol., 22, (3), 1986, p. 265-283.
- [12] D. DUBROEUQ et P. BLANCANEUX, in *Podzols et Podzolisation*, D. RIGHI et A. CHAUVEL éd., AFES-INRA, 1987, Paris, p. 37-52.
- [13] B. VOLKOFF, J. MORTATTI et C. CERRI, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310, série II, 1989, p. 1131-1136.
- [14] D. DUBROEUQ et B. VOLKOFF, *Cah. ORSTOM*, sér. pédol., 25, (1), 1989, p. 191-214.
- [15] G. MILLOT, *Géochimie de la surface et formes du relief*, 1977, Sc. Géol. Bull., 90.
- [16] G. MILLOT, *Mém. h. série, Soc. Géol. fr.*, 10, 1980, p. 295-305.
- [17] G. MILLOT, in *Lateritisation Processes*, 2 Int. Sémin., MELFI et CARVALHO éd., 1983, Sao Paulo, p. 53-63.

D. D. : ORSTOM, Apartado postal n° 291, 91000 Xalapa (Ver.), Mexique;

B. V. : ORSTOM, B.P. 1857, Yaoundé, République du Cameroun;

G. P. : I.N.R.A., Science du Sol, C.N.R.A., 78000 Versailles.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 3. — Transition sol ferrallitique-podzol : A = en bordure des collines aplanies, B = en bordure des couvertures ferrallitiques de plaine. Description des horizons : 1 = humifère, 2 = jaune éluvié, 3 = blanc sableux, 4 = jaune argileux, 5 = rouge argileux, 6 = plinthite tachetée, 7 = saprolite bariolée, 8 = saprolite rouge, 9 = régolite, 10 = saprolite blanche, 11 = alios spodique.

Fig. 3. — Ferrallitic soil-podzol soil, A = transition at the border of a flat hill, B = at the border of level ferrallitic mantle. Description of the horizons : 1 = humus rich, 2 = yellow eluviated, 3 = white sandy, 4 = yellow clayey, 5 = red clayey, 6 = mottled plinthite, 7 = mottled saprolite, 8 = red saprolite, 9 = regolith, 10 = white saprolite, 11 = hardened spodic.

Fig. 4. — Différenciation des tourbes au centre des plateaux podzolisés. Description des horizons : 1 = tourbeux, 2 = sableux compact, 3 = sableux meuble, 4 = gris sablo-argileux, 5 = spodique, 6 = saprolite blanche.

Fig. 4. — Peat differentiation in the center of the podzolised plateaux. Description of the horizons : 1 = organic, 2 = dense sandy, 3 = soft sandy, 4 = grey sandy clay, 5 = spodic, 6 = white saprolite.

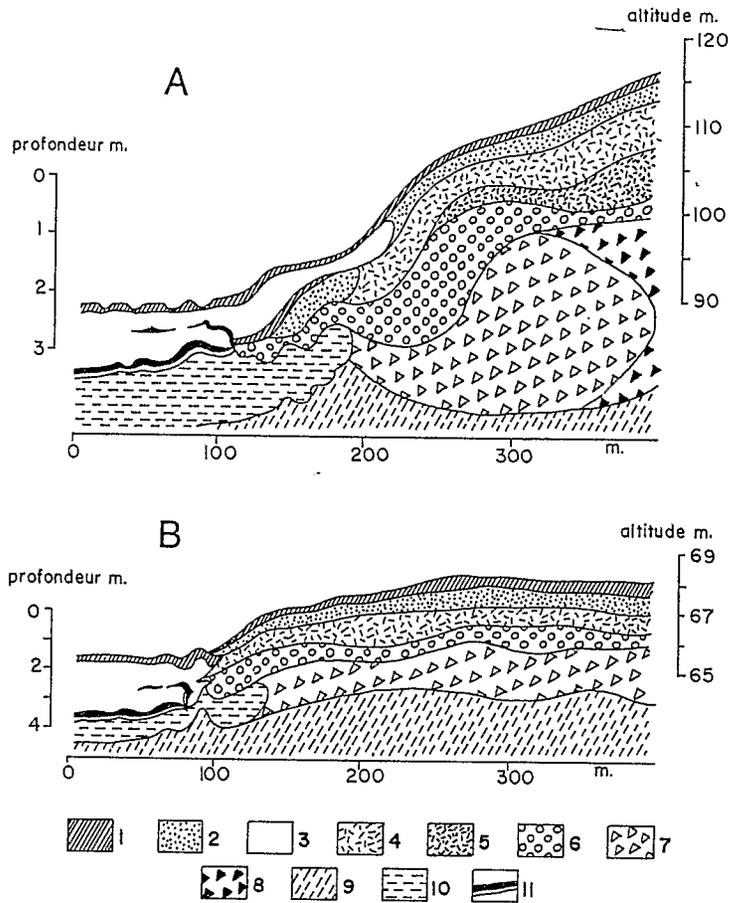


Fig. 3

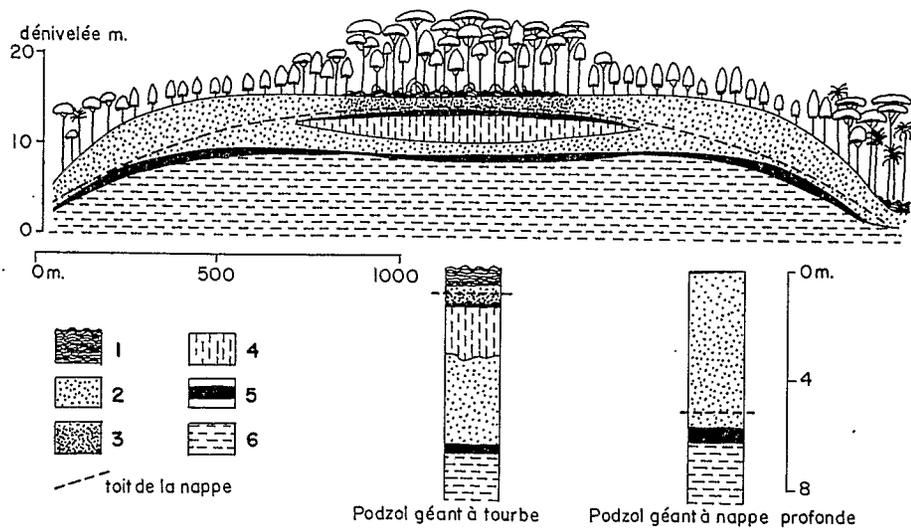


Fig. 4