

LES PODZOLS DU HAUT RIO NEGRO, REGION DE MAROA, VENEZUELA. ENVIRONNEMENT ET RELATIONS LITHOLOGIQUES

D. DUBROEUCQ ⁽¹⁾ et P. BLANCANEUX ⁽¹⁾

ABSTRACT

THE PODZOLS IN THE UPPER RIO NEGRO REGION, AREA OF MAROA, VENEZUELA. ENVIRONMENT AND LITHOLOGICAL RELATIONS

A detailed soil survey conducted along a 31 km track linking Maroa to Yavita, increased by topographic measurements and ecological observations, reveals three main types of landscapes (fig. 3) :

1) A domain of convex ferrallitic hills with significant variations in height and extent (fig. 4). These variations are closely related to different types of soil mantle. The high and narrow hills are composed of clayey weathering material bearing typical ferrallitic soils (fig. 5). The high and wide hills are composed of sandy-clay materials bearing eluviated ferrallitic soils (fig. 6). The low hills show an eroded soil mantle bearing gravelly and rejuvenated ferrallitic soils (fig. 7).

2) A domain of tabular interfluvies 20 to 30 meters high with continuous sandy podzolic mantle. It shows two landform types : a modal one evenly flat with only podzol soils (fig. 8), and an eroded one with the sandy mantle depressed in its central part and bearing podzols and bleached hydromorphic soils (fig. 10).

3) Flat bottomed scarps cutting across the two previous units. They display numerous rock outcrops and bear thin eluviated nearly podzolic oxisols (fig. 11).

In these landscape podzols do not occur on the convex reliefs. They depend on a quartz rich lithologic substrate and on a flat relief. In this area entirely on Precambrian basement, the quartz rich parent rocks are gneiss rather than embrechites mainly feldspathic. This space distribution is confirmed by the Landsat imagery interpretation which shows the litho-dependance of podzol with gneiss according to the lineaments parallel to the geological trends of the Precambrian granito-gneissic basement. On the contrary the scarps show a crosswise direction with lineaments (fig. 12).

The mineralogy of the various soil weathering materials shows that each landscape unit has its own geochemistry : mainly gibbsite and quartz in the scarps, mainly quartz and kaolinite on the podzol plateaus, mainly gibbsite and kaolinite on the hills. These landscape units as defined above are related to morphological surfaces of different age and origin. The most recent one being the scarps.

The podzols evolved on the smoothest and on the most suitable parent rocks (gneiss, shists, metasediments). The podzolic transformation is completed now, since the mantle of the whole surface of the landscape unit is sandy. This mantle presently tends to permanent hydromorphy and eroding by superficial and centrifugal ablation.

KEY WORDS : Amazon region - Venezuela - Environment - Lithological relations.

(1) ORSTOM, Centre de Bondy, 74, route d'Aulnay, 93140 Bondy.

INTRODUCTION

Les podzols tropicaux restent encore assez mal connus, d'une part à cause de leur localisation dans des zones peu accessibles, en particulier dans le bassin amazonien (Brésil - RADAMBRASIL, 1976 ; Venezuela - Inventario Geomorfo-pédologico del T.F. Amazons, à paraître ; FAIVRE *et al.*, 1975), d'autre part à cause des difficultés de forage dues à leur grande épaisseur (5 à 15 mètres) et à la présence de nappes phréatiques et d'aliôs souvent très épais. Ces podzols ont été également inventoriés en Afrique (BRZESOWSKY, 1962 ; SCHWARTZ, 1985) et en Indonésie (BRABANT et MULLER, 1981).



Figure 1 : Localisation du Territoire Amazonas du Venezuela dans l'Amérique du Sud
Localization of the Venezuelan Amazon Territory in South America.

Des systèmes de sols à podzols tropicaux existant sur des matériaux sédimentaires ou détritiques d'origine continentale ont été étudiés en Guyane (TURENNE, 1975) et montrent que les podzols ont des relations génétiques précises avec des sols ferrallitiques plus riches en argile existant sur ces matériaux sédimentaires, et que des systèmes de transformation existent entre ces deux types de couverture pédologique. Ces transformations s'accompagnent d'une évolution et d'une modification du modelé (BOULET *et al.*, 1984). Sur socle granito-gneissique dans le haut Rio Negro, les systèmes de sols à podzols tropicaux n'ont pas été étudiés. On sait seulement qu'une végétation forestée ou arbustive très différente de celle habituellement rencontrée sur les sols tropicaux occupe spécifiquement les podzols (KLINGE *et al.*, 1977 ; HUBERT, 1982 ; JORDAN and HERRERA, 1981). Les accumulations de matière organique observées dans les litières fourniraient le stock de carbone dans les aliôs (SCHWARTZ, 1985).

Notre étude se propose de préciser, dans ce milieu particulier, les modalités de répartition des podzols et des sols qui leur sont associés, en fonction de la lithologie et du modelé. Les observations réalisées dans cette zone-témoin, en mai 1979, furent utilisées pour l'inventaire géomorpho-pédologique à petite échelle conduit dans l'ensemble du Territoire Fédéral Amazonas du Venezuela (fig. 1), de 1978 à 1983.

MATERIEL ET METHODE

Les paysages ont été définis grâce à un levé pédologique effectué sur un axe reliant Maroa à Yavita, complété par des mesures topographiques et des observations sur les formations végétales. L'extension spatiale des paysages a été vérifiée par extrapolation des données de terrain sur une image Landsat interprétée couvrant la zone d'étude : image INPE 133900 du 04/02/76, canaux 6 et 7. La géométrie des modelés est obtenue par des mesures topographiques. Les sols sont identifiés et

différenciés par la méthode des horizons-diagnostique. Ce sont des horizons de référence observés et définis dans le cadre de l'Amazonie vénézuélienne. Pour la compréhension de la couverture pédologique, le sol est comparé à une superposition d'un certain nombre d'horizons de référence. Ces horizons sont au nombre de 15 dans cette étude. Ils sont nommés dans la description des sols et apparaissent dans les pictogrammes de représentation des profils. Nous y verrons :

- 2 horizons organiques à débris végétaux : « Litière » ; « Fibreux humique ».
- 3 horizons superficiels ou sub-superficiels à matière organique : « Umbrique » ; « Noir humique » ; « Miniagrégé ».
- 3 horizons d'accumulation : « Argilique » ; « Placique » ; « Spodique ».
- 3 horizons minéraux : « Oxique » ; « Plinthite » ; « Pseudogley ».
- 2 horizons lessivés : « Albique » ; « Eluvié ».
- 2 horizons d'altération : « Régolite » (arène sablo-argileuse à minéraux primaires décelables) ; « Saprolite » (matériau argileux et bigarré).

Les sols sont classés selon la Soil Taxonomy. Les couleurs sont données en code Munsell. Les éléments indurés figurant dans les sols sont des oxydes et hydroxydes de fer et principalement d'aluminium. Ce sont des « concrétions » quand il existe un cortex, et des « nodules » quand il n'existe pas de différenciations concentriques directement visibles.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées dans le laboratoire régional des sols et des eaux du Ministère de l'Environnement à Guanare au Venezuela. Les données minéralogiques complémentaires proviennent de l'ORSTOM, Centre de Bondy, pour les analyses par diffraction de rayons X, et du CIDIAT (Centre Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Mérida, Venezuela) pour les observations en microscopie électronique à balayage et analyses par diffraction X de certains échantillons (MALAGON et al., 1981).

Les résultats des analyses des sols ont été obtenus par les méthodes suivantes : — granulométrie = pipette, hexamétaphosphate ; — pH = H₂O 1/5, CaCl₂ 1/5 ; carbone organique = W. et B., acide chromique et sulfate Fe-NH₄ ; — azote = Kjeldhal ; — Phosphore = Bray-Kurtz ; — acidité échangeable = a) BaCl₂ 0.5 N et triethanolamine 0.05 N pH 8, titration HCl 0.2 N, b) KCl 1 N ; — Aluminium échangeable = KCl 1 N, titration HCl 0.1 N ; — capacité d'échange cationique = a) acétate NH₄ 1 N pH 7, b) somme des bases + acidité BaCl₂ 0.5 N ; — bases échangeables = acétate NH₄ 1 N pH 7, photométrie absorption (Ca, Mg), photométrie flamme (Na, K).

CADRE GEOGRAPHIQUE

La région étudiée est située de 2° 40' à 3° de Lat. N. dans la plaine du Casiquiare, à proximité du rio Guainia qui prend ensuite le nom de rio Negro après avoir reçu les eaux du Casiquiare (fig. 2). C'est une immense plaine d'environ 80 m d'altitude, dont les reliefs se réduisent à des champs de collines convexes séparés par des zones planes. Le climat est tropical humide (Thorntwaite ArA'a'), avec un excédent des précipitations sur l'évaporation tout au long de l'année : régime peridique (Soil Survey Staff, 1975). A Maroa, la moyenne annuelle des précipitations est 3944 mm. La période particulièrement pluvieuse s'étend d'avril à novembre. Les températures moyennes relevées à San Carlos de Rio Negro, plus au sud, sont de 26°6 annuelle, 27°2 mensuelle de mars, 26° mensuelle de juillet. On enregistre 1'935 heures d'insolation annuelle et un excès hydrique calculé de 1960 mm par an.

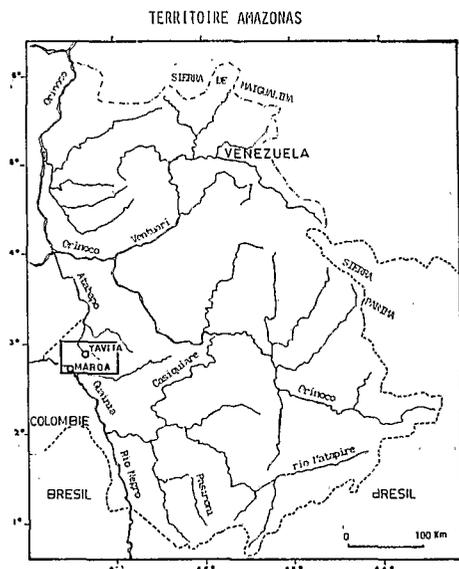


Figure 2 : La région de Maroa se situe à l'interfluve entre l'Atabapo coulant vers l'Orénoque au nord, et le Guainia devenant le rio Negro au sud.

The Maroa region is situated in the interfluvium between the Atabapo river flowing northward to the Orinoco, and the Guainia river called rio Negro downstream and flowing southward.

En l'absence de document géologique détaillé, les observations de terrain lors de la mission et l'interprétation du fond Radar-SLAR (mosaïque stéréoscopique à 1/250 000, feuilles NA 10-7 et NA 10-8), permettent de schématiser le contexte géologique de cette zone. Il s'agit d'un socle précambrien très aplani appelé Complexe Supamo (MENDOZA, 1980) d'âge compris entre 2 300 à 2 650 M.A. Il est constitué de roches cristallines intermédiaires et basiques, migmatisées et tectonisées, allant des embrèchites et migmatites essentiellement feldspathiques, aux gneiss à faciès nettement pélitique, disposées en panneaux grossièrement parallèles et orientés 50° E. En ce qui concerne les formations végétales, la région étudiée se situe dans la zone de contact entre la forêt et la « savanette ». Cette dernière est une formation arbustive très serrée se développant sur les sables blancs. Elle apparaît en larges étendues qui s'ouvrent dans la forêt dense. Géographiquement, la région de Maroa constitue la limite nord des couvertures à sables blancs. Ceux-ci ont un aspect pulvérulent qui les différencie nettement des sables colorés des savanes qui leur font suite plus au nord dans cette partie du bassin de l'Orénoque.

RESULTATS

Le transect Maroa-Yavita (voir fig. 3) met en évidence trois paysages distincts, différenciés d'après leur modelé et leur couverture pédologique. Ce sont : les collines, la plaine, les entailles.

Les collines

Les collines portent une forêt dense dont les frondaisons atteignent en majorité 20 m avec des émergents de 30 m. Elle se compose d'arbres à tronc mince (diamètre de 50 cm environ) avec un sous-bois serré d'arbustes et de palmiers. Parmi les émergents on note : *Swartzia benthamiana* ; *Monopterix uacu*. Les bas-fonds entre les collines portent une forêt haute (30 m) avec les arbres à tronc large. On note parmi ceux-ci : *Eperua leucantha* ; *Couma macrocarpa* ; *Heliocarpus sp.*

PODZOLS DU RIO NEGRO

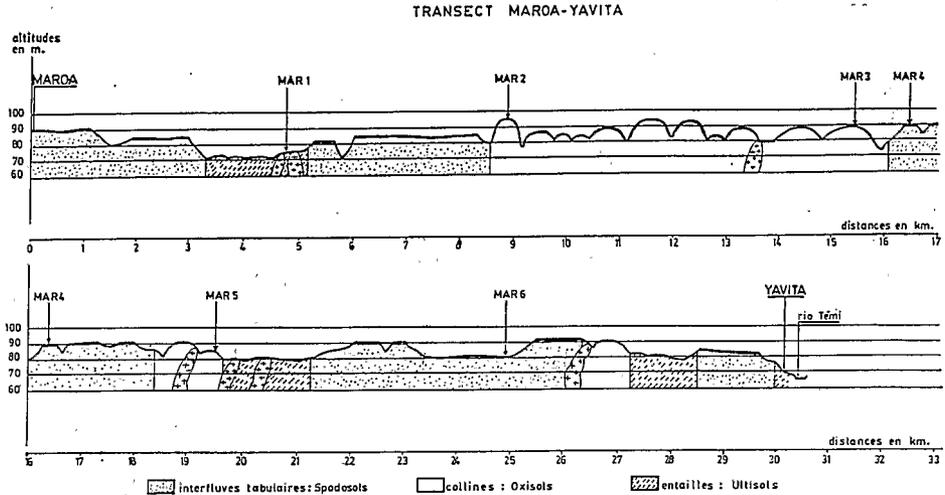


Figure 3 : Le transect topographique général de l'axe Maroa-Yavita met en évidence 3 paysages distincts, différenciés d'après leur modelé et leur couverture pédologique.

The topographic section of the Maroa-Yavita transect evidences 3 landscape types, in relation to the different landforms and soil mantles:

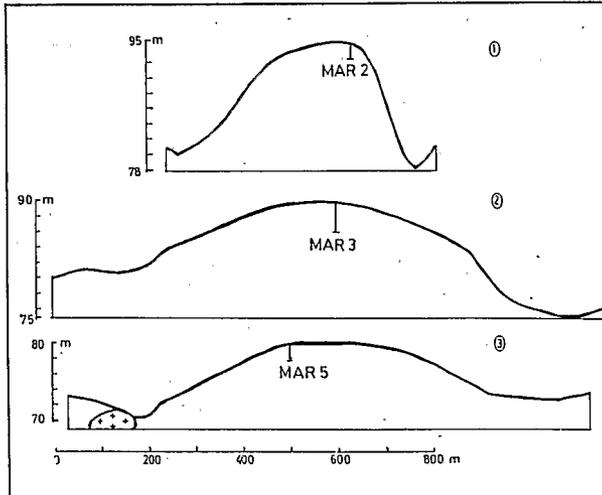


Figure 4 : On observe 3 types de collines. Chaque type présente sa propre couverture pédologique : (1) sols ferrallitiques « typiques » issus d'un matériau d'altération argileux provenant d'un roche ignée pauvre en quartz. (2) sols ferrallitiques « appauvris » issus d'un matériau d'altération sablo-argileux provenant d'une roche ignée riche en quartz. (3) sols ferrallitiques « remaniés » issus d'un matériau d'altération relativement moins profond avec une couverture pédologique très érodée.

Three different types of hills are observed. Each one shows its proper soil mantle : (1) typical ferrallitic soils on a clayey saprolite originated from a quartz poor igneous parent rock. (2) eluviated ferrallitic soils on a sandy-clay saprolite originated from a quartz rich igneous parent rock. (3) gravelly and rejuvenated ferrallitic soils on a relatively thin saprolite showing an eroded soil mantle.

On observe trois types principaux de sols : un sol ferrallitique très profond argileux et de couleur jaune-rouge (profil MAR 2) ; un sol ferrallitique sablo-argileux et de couleur jaune pâle (profil MAR 3) ; un sol ferrallitique comportant d'abondants éléments gibbsitiques indurés et dont l'altérite est visible à faible profondeur (profil MAR 5). Chaque type est associé à une forme déterminée de modelé (voir fig. 4). A l'exception des bas-fonds, les sols offrent peu de variations latérales à l'échelle de cette étude, et les profils présentés donnent un aperçu général de la couverture pédologique de chaque type de colline.

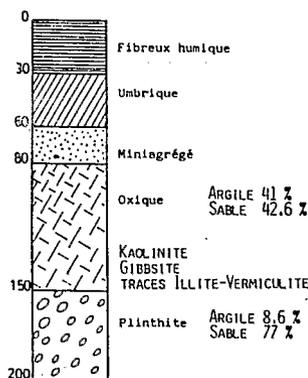
Sol ferrallitique jaune-rouge : Typic Haplorthox

Le profil MAR 2 (fig. 5) en est un exemple. Il est situé sur une colline haute à base étroite, à versants convexes et pentus, de cote 95 m au sommet et 78 m dans le talweg. La description de ce sol est de haut en bas la suivante :

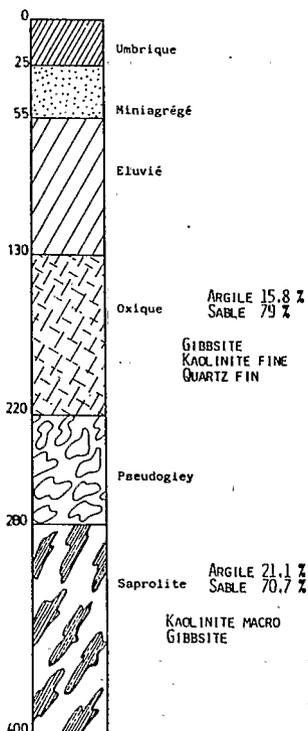
000/030 cm (Fibreux humique) — 10 YR 3/3 A matière organique humifiée en agrégats grenus mêlés à un chevelu dense de radicelles, avec des débris végétaux en voie de décomposition.

030/060 cm (Umbrique) — 10 YR 3/3 — A matière organique totalement humifiée, liée à la fraction minérale — Structure apparente grumeleuse ou polyédrique émoussée.

Profil MAR 2



Profil MAR 3



Profil MAR 5

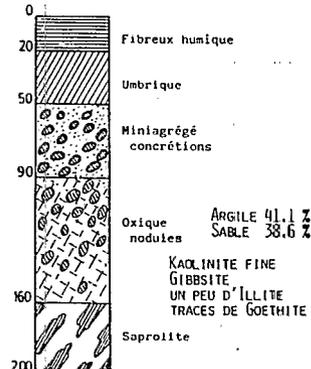


Figure 5 : Sol ferrallitique « typique »
Typic haplorthox.

Figure 6 : Sol ferrallitique « appauvri »
Ultic haplorthox.

Figure 7 : Sol ferrallitique « remanié »
Petroplinthic gibbsiorthox.

- 060/080 cm (*Miniagrégé*) — 10 YR 5/4 — A matière organique non directement décelable, pâle, très liée à la fraction minérale — Très friable en agrégats finement grenus, 0,5 à 1 mm (*miniagrégats*) — Traces de remaniements dus à la faune du sol (*termites*).
- 080/150 cm (*Oxique*) — 7.5 YR 5/8 — Non organique — Argileux — Friable en fins polyèdres à faces lissées.
- 150/200 cm (*Plinthite*) — 10 YR 6/8 — Tacheté à nombreuses taches d'oxyde, nettes, 2.5 YR 4/8, régulièrement distribuées — Argileux.

La teneur maximum en argile apparaît dans l'horizon « oxique » avec 42 %. Vers la base du profil on note une nette augmentation de la teneur en limons, responsables de l'aspect onctueux au toucher de ce matériau d'altération. Le pH varie de 4,1 à 5,2 vers la profondeur. Chimiquement, c'est un sol très pauvre avec un total de bases échangeables ne dépassant pas 0.2 me p. 100 g pour un taux de saturation inférieur à 10 %. C'est un sol ferrallitique fortement désaturé typique, dans la classification française (C.P.C.S., 1967).

Les diffractogrammes de rayons X de la fraction inférieure à 40 μm d'un échantillon de l'horizon « oxique » montrent la présence de kaolinite en quantités importantes et bien cristallisée, de gibbsite en quantités importantes, et de traces d'interstratifiés illite-vermiculite. La goethite n'apparaît pas dans les diffractogrammes.

Sol ferrallitique jaune pâle : Ultic Haplorthox

L'exemple présenté ici est le profil MAR 3 (voir fig. 6). Il est situé sur une colline haute et ample à sommet aplani situé à la cote 90 m., avec des versants convexes longs de pente 5 %, et une cote minimum de 75 m dans le talweg. De haut en bas on distingue les principaux horizons suivants :

- 005/000 cm (*Litière*)
- 000/025 cm (*Umbrique*) — 10 YR 4/3 — Humide — A matière organique totalement humifiée, de couleur brune, liée à la fraction minérale — Structure grumeleuse ou polyédrique émoussée — Sableux.
- 025/055 cm (*Miniagrégé*) — 10 YR 5/4 — A matière organique non directement décelable, très liée à la fraction minérale — Très friable en agrégats finement grenus, 0,5 à 1 mm. — Traces nombreuses d'activité de la faune du sol (*termites*).
- 055/130 cm (*Éluvié*) — 10 YR 6/4 — Nombreuses taches claires d'appauvrissement à quartz lavés — Sablo-argileux — Meuble.
- 130/220 cm (*Oxique*) — 2,5 YR 7/4 — Argilo-sableux — Friable — Polyédrique moyen à fin.
- 220/280 cm (*Pseudogley*) — 5 Y 7/3 — Humide — Nombreuses taches d'oxydo-réduction à contours irréguliers, 10 YR 5/6 — Massif.
- 280/400 cm (*Saprolite*) — Humide — Sablo-argileux — Fréquentes taches d'oxyde, allongées, rouges, 10 R 4/8, lithorélictuelles, sur une trame de couleurs pâles, 5 Y 8/1.

On note une augmentation progressive du taux d'argile jusque 2,60 m de profondeur, c'est-à-dire la partie supérieure de la « saprolite » avec 21,1 % et un minimum dans l'horizon « éluvié » avec 12 % d'argile. Il est classé comme un sol ferrallitique fortement désaturé appauvri (C.P.C.S., 1967).

Les diffractogrammes de rayons X de la fraction inférieure à 40 μm montrent pour ce profil une minéralogie globalement constante, essentiellement kaolinite et gibbsite. Dans l'horizon « oxique », la gibbsite prédomine, le quartz est fin et abondant. Par contre, à la partie supérieure de la « saprolite », la kaolinite prédomine avec une bonne cristallinité comme le suggèrent l'intensité et la symétrie des pics de diffraction

des RX. On note une nette diminution du quartz fin à ce niveau. La goëthite ne présente pas de pics dans les diffractogrammes de ce profil. Les images de microscopie électronique montrent, dans l'échantillon 150/170 cm de l'horizon « oxique », les formes cristallines suivantes : des cristaux prismatiques de gibbsite de 0,5 à 0,7 μm d'allongement, et des feuilletts laminaires hexagonaux et pseudo-hexagonaux de gibbsite et de kaolinite difficilement différenciables et de petite taille (0,5 μm de diamètre).

Sol à graviers gibbsitiques : Petroplinthic Gibbsiorthox

L'exemple cité est celui du profil MAR 5 (voir fig. 7). Il est situé sur une colline basse et ample, de cote 85 m au sommet et 70 m dans le talweg, avec des versants rectilignes de pente 4 % sur 300 m de long. On observe de nombreuses concrétions en surface du sol. La description de haut en bas des principaux horizons est la suivante :

005/000 cm (Litière) — Tapis de feuilles.

000/020 cm (Fibreux humique) — 10 YR 3/3 — A matière organique décelable en agrégats grumeleux grossiers, très friables, incorporés à un chevelu très dense de fines et moyennes racines.

020/050 cm (Umbrique) — 10 YR 4/2 — Humide — A matière organique non directement décelable, très liée aux minéraux et aux argiles — Sablo-argileux — Subanguleux à grenu.

050/090 cm (Miniagrégé) — 10 YR 5/4 — Très humide — A matière organique non décelable — Très friable — Agrégats grenus très fins — Nombreuses concrétions gibbsitiques arrondies — Taches de matière organique illu-viée, liée aux pores et aux racines.

090/160 cm (Oxique) — 7.5 YR 6/8 — Frais non humide — Argileux — Polyédrique fin — Fréquents nodules gibbsitiques, 2.5 YR 6/8, durs, irréguliers.

160/200 cm (Saprolite) — 10 YR 5/6 — Frais — Nombreuses taches d'oxyde, 10 R 3/6, allongées, sub-verticales, à contours nets, parallèles aux filons de quartz — argileux — Massif.

Dans ce profil, l'horizon « Miniagrégé » sub-superficiel à nombreuses concrétions gibbsitiques présente des indices d'engorgement temporaire : forte humidité en place, taches de matière organique le long des pores et des racines. A partir de 90 cm apparaît un « oxique » peu épais, à nodules. Puis, dès 160 cm, on observe la « saprolite », massive et peu humide au toucher. Ce type de sol, à drainage vertical fortement ralenti, à horizons meubles relativement minces et à matériau d'altération visible plus superficiellement que dans les autres types de collines, indique une étape avancée de l'érosion de la couverture pédologique (BOULET, 1981 ; BLANCANEUX, 1985). Il peut être classé en sol ferrallitique fortement désaturé remanié, dans la classification française.

La fraction inférieure à 40 μm de l'horizon « oxique » est constituée essentiellement de kaolinite accompagnée de gibbsite, avec des traces de goëthite. On observe aussi sur les diffractogrammes de RX la présence d'un peu d'illite et d'interstratifiés illite-vermiculite (net renforcement du pic à 10 \AA après chauffage). Les images de microscopie électronique montrent, dans un échantillon pris à la base de l'horizon « oxique », deux types de constituants cristallins : des lamelles de petite taille (0,5 μm) avec des bords arrondis, et des prismes de 0,7 à 1 μm d'allongement à extrémités subanguleuses qui s'interprètent comme de la kaolinite pour les premiers, et comme de la gibbsite pour les seconds, bien qu'il puisse exister de la gibbsite sous forme lamellaire (MALAGON *et al.*, 1981).

Les trois principaux profils de la couverture pédologique des collines montrent des matériaux d'altération géochimiquement semblables : les minéraux présents sont essentiellement la kaolinite et la gibbsite, liés en moindre proportion à de la goëthite. Le couple kaolinite-gibbsite présent dans les altérations, subsiste dans les sols,

toutefois avec une forme cristalline plus fine en ce qui concerne la kaolinite. Par contre, on observe des variations importantes dans la texture des matériaux d'altération, qui correspondent à des sols et des modelés différents. Ces variations sont à mettre en relation avec les teneurs en quartz de la roche-mère. Dans le cas du sol ferrallitique appauvri situé sur une colline haute et ample, il s'agit d'une roche plus riche en quartz que dans le cas du sol ferrallitique typique que l'on trouve sur des collines hautes et étroites. Enfin, les sols ferrallitiques à concrétions et à horizons meubles peu épais, que l'on rencontre sur des modelés très aplanis, correspondent à des formes très érodées de la couverture pédologique, en général distribuées en marge des entailles les plus larges.

La plaine

Dans la plaine on rencontre une forêt haute, de 25 à 30 m, avec des arbres à tronc large de diamètre en général supérieur à 50 cm (fûtaie). Cette forêt se singularise par la présence d'espèces de grande taille à feuilles scléromorphes et à port de laurier dont les plus fréquentes sont : *Micranda sprucei* (Euphorbiaceae) ; *Hevea rigidi-folia* (Euphorbiaceae), mêlées à des légumineuses telles que : *Eperua purpurea* ; *Aldina discolor*. Cette formation végétale est appelée localement « caatinga del rio Negro » ou encore « caatinga amazonica » (HUBER, 1982).

Dans certains endroits qui ne se repèrent ni par la topographie ni par les sols, cette forêt donne lieu à une formation arbustive dense appelée localement « bana » ou « savanette ». Elle se compose uniquement d'espèces ligneuses sclérophylles de 10 à 15 m de haut, parmi lesquelles on distingue : *Ramatouella* sp. (Combretaceae) ; *Rhodognaphalopsis coriacea* (Combretaceae) ; *Retiniphyllum* sp. (Rubiaceae). Les « savanettes » comportent généralement des zones déprimées où stagnent des mares permanentes d'eau couleur café chargées de matières organiques. Ces mares forment des têtes d'axes de drainage très superficiels courant sur les sables blancs après les averses. Il y pousse une végétation d'arbres à échasses appelés localement « palos de boya » parmi lesquels on distingue : *Malouetia glandulifera* (Apocynaceae) ; *Ambelania laxa* (Apocynaceae).

Le modèle est formé par une succession d'interfluves tabulaires d'altitude variant de 90 m à Maroa à 80 m vers Yavita. Ces unités planes ont 2 à 3 km de largeur et sont séparées par des entailles. Deux types de plateaux peuvent être distingués en fonction du degré d'érosion de leur relief (voir fig. 8) : un type modal parfaitement

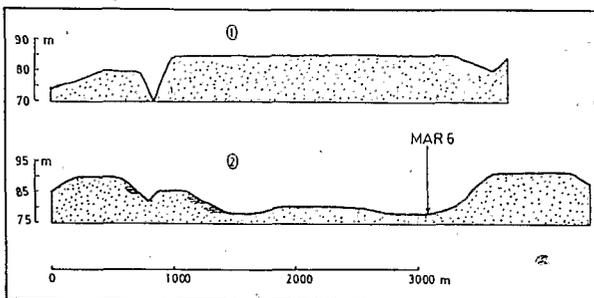


Figure 8 : On observe deux formes d'interfluves tabulaires. Chaque forme est liée à un degré d'érosion de la couverture sableuse : (1) couverture sableuse non érodée, totalité de l'interfluve occupée par des podzols. (2) couverture sableuse érodée, présence de sols hydromorphes dans les cuvettes et de podzols sur les bordures.

Two different forms of tabular interfluves are observed. Each one is related to the erosion of the sandy mantle : (1) non eroded sandy mantle, whole interfluve surface occupied by podzols. (2) eroded sandy mantle, hydromorphic soils in the depressed central areas and podzols in the outer areas.

plat (près de Maroa sur le transect), et un type avec reprise d'érosion dont le relief est recreusé dans sa partie centrale (près de Yavita sur le transect). Ces interfluves tabulaires présentent tous une couverture continue de sables blancs, et nulle part affleure la roche-mère.

On observe deux types de sols dans le paysage de plaine à interfluves tabulaires : un podzol à alios, (profil MAR 4) et un sol hydromorphe minéral (profil MAR 6). Le podzol à alios occupe la presque totalité de la surface des interfluves, avec toutefois des variations importantes dans l'épaisseur et la répartition de l'alios : épais sur les bordures, mince ou manquant vers le centre de l'interfluve. Les sols hydromorphes n'occupent que les cuvettes des interfluves recreusés par l'érosion.

Podzol à alios : Ultic Tropaquod

L'exemple présenté est le profil MAR 4 (fig. 9). De haut en bas, on distingue les principaux horizons suivants :

- 002/000 cm (Litière) — Feuilles décomposées.
- 000/020 cm (Noir humique) — 10 YR 3/4 — A, matière organique décelable, grasse, juxtaposée aux minéraux — Nombreuses racines — Sables blancs visibles.
- 020/110 cm — 10 YR 6/2 — Frais — Sableux — Meuble — Nombreuses taches de matière organique illuviée, liées aux racines.
- 110/130 cm (Spodique) — 5 YR 5/2 — Humide — Matière organique décelable, couvrant les minéraux — Massif — Compact — Sablo-limoneux — Nombreuses racines horizontales.
- 130/150 cm (Placique) — 7.5 YR 3/2 — Très humide — Matière organique décelable, couvrant les minéraux — Indurations d'oxydes, compactes, disposées en lits horizontaux — Sableux, faiblement argileux — Massif — Dur.
- 150/200 cm (Argilique) — 2.5 Y 7/4 — Humide — Fréquentes taches de matière organique liées aux racines — Massif — Non poreux — Rares racines.

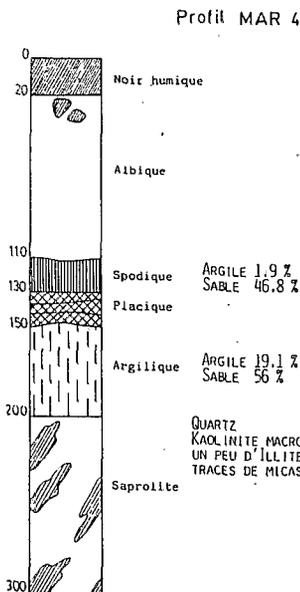


Figure 9 : Podzol à « alios » Ultic tropaquod.

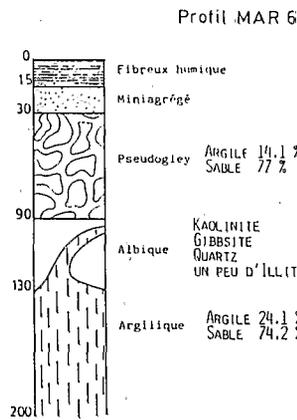


Figure 10 : Sol hydromorphe minéral Albic paleaqualt.

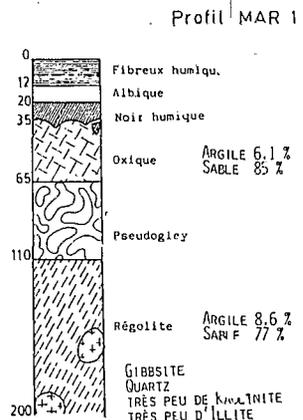


Figure 11 : Sol lessivé Aerice albaqualt.

200/300 cm (*Saprolite*) — 2,5 Y 8/4 — Humide — Argilo-sableux à sables grossiers — Massif — Nombreux revêtements argileux épais entre les agrégats — Plages de kaolinite blanche — Quelques muscovites altérées.

C'est un sol profond avec un « albique » blanc et poudreux jusqu'à 120 cm et un horizon « spodique » noir de 10 cm d'épaisseur superposé à un horizon « placique » lamellaire de 15 à 20 cm d'épaisseur. Immédiatement en-dessous, vers 150 cm, apparaît un « argilique » très massif avec des argilanes épais et des marques d'hydromorphie permanente. La texture est sableuse jusque 150 cm y compris dans les horizons « spodique » et « placique », avec prépondérance des sables moyens. Dans l'horizon « argilique », on note une augmentation de la teneur en limons, mais le total argile + limon ne dépasse pas 43 %. Dans cet horizon, la minéralogie de la fraction inférieure à 40 μm se résume à la présence presque exclusive de quartz et d'une kaolinite particulièrement bien cristallisée avec des pics de diffraction de RX très aigus et symétriques. Y sont associés un peu d'illite et des traces de micas (muscovite probable, petit pic à 4.95 Å) ; absence de vermiculites et d'interstratifiés illite-vermiculite. Les images de microscopie électronique du même échantillon permettent d'observer le bon développement cristallin de la kaolinite : des feuilletts polygonaux de taille 0,5 à 1 μm dont quelques-uns ont des bords arrondis (pseudo-hexagonaux) et d'autres des formes hexagonales.

Sol hydromorphe minéral : Albic Paleaqualt

L'exemple choisi est le profil MAR 6 (fig. 10). Il est situé dans une ample dépression peu profonde dans un interfluve tabulaire. Non loin de là existe une mare permanente. De haut en bas, on distingue les horizons suivants :

005/000 cm (*Litière*)

000/015 cm (*Fibreux humique*) — 10 YR 4/2 — A matière organique décelable en agrégats grumeleux grossiers, incorporés à un chevelu dense de fines racines — Sableux.

015/030 cm (*Miniagrégé*) — 2.5 Y 5/2 — A matière organique non décelable, très liée aux minéraux et aux argiles — Sablo-argileux — Très friable en agrégats grenus très fins.

030/090 cm (*Pseudogley*) — 5 Y 7/2 — Humide — Fréquentes taches d'oxydo-réduction jaunes, irrégulières, peu nettes — Sableux faiblement argileux.

090/130 cm (*Albique*) — Grandes poches d'appauvrissement à sables grossiers lavés, formant un Albique discontinu — Boulant.

130/200 cm (*Argilique*) — 2.5 Y 8/2 — Rares taches d'oxydo-réduction, 10 YR 6/8 — Argilo-sableux à sables grossiers — Massif.

Ce profil présente un « albique » discontinu sous forme de larges poches irrégulières à sables grossiers. Ces poches sont en fait des chenaux de drainage des eaux sub-superficielles. Ce fait a été observé lors du remplissage de la fosse par l'eau de la nappe qui s'infiltre latéralement. Vers 130 cm de profondeur, il se développe un horizon « argilique » gleyifié. La nappe permanente apparaît dès 100 cm, elle peut fluctuer jusque vers 30 cm sous la surface. Dans l'ensemble, la texture est sablo-argileuse. Dans « l'albique », elle est entièrement sableuse ; dans « l'argilique », elle augmente à 24 % d'argile avec prédominance des sables grossiers.

Les diffractogrammes de rayons X de la fraction inférieure à 40 μm de la partie supérieure de l'horizon « argilique » indiquent la prédominance de la kaolinite, bien cristallisée, accompagnée de gibbsite, de quartz et d'un peu d'illite. Pas de vermiculite ni d'inter-stratifiés illite-vermiculite.

Pour les deux types de sol, les analyses indiquent une composition minéralogique semblable des matériaux d'altération, avec prédominance du quartz dans la fraction totale, et présence quasi-exclusive de kaolinite dans la fraction inférieure à 40 μm ,

accompagnée ou non d'un peu de gibbsite et d'illite, sans vermiculite ni d'interstratifiés illite-vermiculite. Le manteau d'altération des interfluves tabulaires est donc essentiellement kaolinique et quartzeux. Il est certainement épais car on n'observe pas d'affleurement rocheux sur les interfluves.

Les entailles

Hors des zones inondées, il pousse une forêt haute dont la strate supérieure atteint 30 m. Ce sont des arbres à tronc large parmi lesquels on ne note pas d'espèces sclérophylles. Les légumineuses y sont fréquentes : *Eperua purpurea*, accompagné de : *Caraipa grandifolia* ; *Mabea taquari*. Les palmiers abondent en sous-bois : *Jessenia bataua* ; *Leopoldinia piasabe*.

Le fond des entailles est plat avec des variations maxima de 3 m dues à des affleurements rocheux et des axes secondaires de drainage. En général, elles offrent l'aspect d'entailles jeunes à base plane et à versants de pente accentués : 15 à 20 %. Les entailles les plus larges sont les plus profondes (cote 70 m), les entailles étroites sont moins profondes (cote 80 m).

Un type de sol est représentatif des zones exondées à forêt haute dans les entailles. C'est un sol lessivé (profil MAR 1) dans lequel apparaît à faible profondeur une altération sablo-argileuse à blocs de roche saine et à minéraux incomplètement altérés.

Sol lessivé : Aeris Albaquilt

L'exemple choisi est celui du profil MAR 1 (fig. 11). On y distingue de haut en bas les principaux horizons suivants :

005/000 cm (*Litière*) — *Couche de feuilles en décomposition.*

000/012 cm (*Fibreux humique*) — 5 YR 3/2 — *A matière organique décelable, non liée à la fraction minérale, en agrégats grumeleux incorporés à un feutrage dense de fines et moyennes racines.*

012/020 cm (*Albique*) — 10 YR 5/4 — *Sableux — Boulant.*

020/035 cm (*Noir humique*) — 10 YR 3/4 — *A matière organique décelable, couvrant les minéraux — Sableux — Meuble — Limite inférieure ondulée.*

035/065 cm (*Oxique*) — 10 YR 5/6 — *Jaune — Sablo-argileux — Friable — Polyédrique moyen à fin.*

065/110 cm (*Pseudogley*) — 2.5 Y 6/4 — *Humide — Nombreuses taches d'oxydo-réduction, 10 YR 5/6, irrégulières — Sablo-argileux — Massif.*

110/200 cm (*Réglolite*) — 5 Y 6/4 — *Humide — Sablo-argileux — Quartz grossiers et nombreux minéraux visibles (feldspaths cassants et micas altérés) — Sphéroïdes de granite en voie d'altération.*

C'est un sol peu profond. Il montre en surface un horizon « albique » mince recouvrant un horizon à matière organique noire d'aspect illuvial (recouvrements sur les quartz, langues de pénétration dans l'horizon sous-jacent). On observe ensuite un « oxique » jaune peu développé, puis on passe, par l'intermédiaire d'un horizon tacheté hydromorphe, à un horizon de « réglolite » qui est une altération sablo-argileuse de la roche-mère, montrant de nombreux minéraux en voie d'altération (micas, feldspaths partiellement kaolinisés) et des boules de roche saine (granito-gneiss). La texture de ce profil est sableuse : 90 % dans « l'albique » et 77 % dans la « réglolite ». « L'oxique » ne présente que 15 % d'éléments fins, argile et limon.

Les diffractogrammes de rayons X d'un échantillon du matériau d'altération montrent pour la fraction inférieure à 40 μm , essentiellement de la gibbsite, accompagnée d'un peu de kaolinite et d'illite, avec du quartz et des traces d'interstratifiés illite-vermiculite. Les images de microscopie électronique du même échantillon montrent presque exclusivement des cristaux prismatiques fins et des feuilletts pseudo-hexagonaux que l'on attribue à la gibbsite.

L'observation d'une coupe et la présence de nombreux affleurements rocheux confirment que ce type d'altération est peu épais, entre 2 et 6 m, et qu'il présente un aspect d'altérite isovolume sans argilification notable, dans laquelle « flottent » d'énormes spéroïdes de roche de type embrèchite en voie d'altération. Sa caractéristique géochimique essentielle est le développement de la gibbsite, accompagnée de très peu de kaolinite et d'illite dans la fraction fine. Il subsiste un squelette abondant (77 % du sol total), composé principalement de quartz avec des minéraux primaires en voie d'altération (muscovites, biotites, feldspaths). Ce type d'altération, à la fois peu épaisse et intense, caractérise probablement une reprise d'altération essentiellement gibbsitique, sous le climat perhumide actuel.

ORGANISATION SPATIALE DES PAYSAGES

Les trois types de paysage reconnus le long du transect correspondent à trois tonalités différentes sur l'image Landsat canal 7. Une vérification facile consiste à reporter sur l'image les limites des trois unités paysagiques repérées sur le terrain. L'extrapolation de ces limites n'est possible que sur une partie seulement de l'image (se reporter à la figure 12). On obtient trois unités :

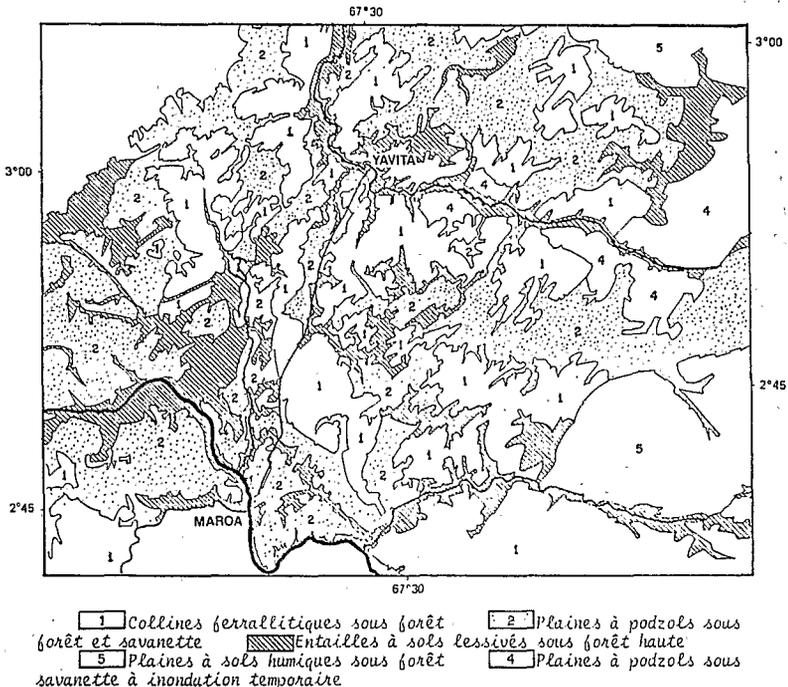


Figure 12 : Interprétation de l'image Landsat INPE 133900 canal 7 : la répartition spatiale des collines ferrallitiques et des plaines à podzols montre des orientations selon les linéaments 50° E qui sont ceux du socle granito-gneissique antécambrien. Par contre, les entailles recoupent ces directions géologiques.

Interpretation of the Landsat INPE 133900/7 imagery : Space distribution of ferrallitic hills and podzolic plains shows lineaments parallel, to the 50° E trends of the granito-gneissic basement. On the contrary, the scarps show a crosswise direction with the lineaments.

1) Collines ferrallitiques sous forêt ; 2) Plaines à podzols sous forêt et « sava-nette » ; 3) Entailles à sols inondés et forêt haute.

Les unités 4 et 5 constituent la limite de la zone extrapolable, elles ne correspondent pas à des paysages existant sur le transect. Cette interprétation montre une répartition des unités 1 et 2 selon des orientations 50° E parallèles aux directions géologiques du socle antécambrien, ce qui suggère une origine lithologique à la différenciation des paysages des unités 1 et 2. En revanche, les entailles recoupent transversalement les linéaments du socle et ne semblent pas déterminés principalement par les structures géologiques.

INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS

A partir de l'étude que nous venons de présenter, les interprétations que nous pouvons avancer ne restent que des hypothèses de travail. En se reportant à la minéralogie des différents matériaux d'altération des sols étudiés, on observe que chaque unité paysagique présente sa propre géochimie : essentiellement quartzreuse et kaolinique sur les plateaux ; gibbsitique et kaolinique sur les collines ; gibbsitique et quartzreuse dans les entailles. Il existe donc des entités géomorphologiques relativement bien individualisées par leur modelé d'une part, par la géochimie de leurs altérations d'autre part, et par leurs sols également. On constate en effet que chacune porte des sols génétiquement semblables. Les sols des collines sont des oxisols à gibbsite et kaolinite, qui présentent des variations au niveau du sous-groupe de la taxonomie en fonction de la teneur en quartz de la roche-mère et en fonction du degré d'érosion des modelés. Les sols des plateaux sont des podzols et, après érosion de la couverture sableuse, des sols hydromorphes. Les sols des entailles sont peu différenciés, à tendance oxisol et podzol, marqués par une altération à la fois peu épaisse et intense, essentiellement gibbsitique. Ces derniers caractérisent probablement une pédogenèse récente, sous le climat perhumide actuel. Ces unités paysagiques ainsi définies se rapportent à des surfaces morphologiques d'âge et d'origine différents. Les plateaux seraient concordants avec le « Pediplano rio Branco - rio Negro » au Brésil (RADAMBRASIL vol. 11, 1976), corrélé avec la « Superficie disectada en los sedimentos cenozoicos, Nivel superior » en Colombie (FAIVRE *et al.*, 1980).

Dans cette région du haut rio Negro, et sous le climat perhumide actuel, les podzols n'apparaissent pas sur les modelés convexes. On les observe sur les substrats lithologiques riches en quartz et présentant un modelé très aplani. Le socle antécambrien ancien se compose de bandes alternées tantôt de gneiss quartzo-micacés, tantôt d'embranchites principalement feldspathiques. Cette répartition est illustrée par l'interprétation de l'image satellite Landsat qui montre la lithodépendance des plaines à podzols avec les gneiss, selon des linéaments parallèles à ceux du socle granito-gneissique, alors que les entailles recoupent ces directions géologiques. Les podzols se sont développés sur la surface présentant le relief le moins accentué et les roches-mères les plus favorables (gneiss, schistes, métasédiments arénacés). Ce développement est achevé puisque la couverture pédologique de cette unité est entièrement podzolisée. Cette couverture sableuse évolue actuellement vers l'hydromorphie permanente et s'érode par ablation superficielle selon un mode centrifuge. Une nouvelle phase de podzolisation apparaît dans les sols des entailles (sols lessivés à horizon blanchi), lorsque la topographie et le matériau originel sont favorables.

RESUME

Un levé pédologique détaillé le long d'une piste de 31 km reliant Maroa à Yavita, complété par des mesures topographiques et des observations sur les formations végétales, met en évidence trois principaux types de paysage :

1) Un ensemble de collines convexes ferrallitiques qui offrent des variations importantes de taille et d'ampleur. Ces variations sont étroitement liées à des types différents de couverture pédologique, eux-mêmes dépendants de matériaux d'altération plus ou moins argileux et plus ou moins érodés.

2) Des surfaces à interfluves tabulaires et à couverture sableuse podzolique continue formant des plateaux de 20 à 30 m d'altitude. Elles présentent deux variantes morphologiques : un type modal parfaitement plat, et un type érodé recreusé en cuvette dans sa partie centrale.

3) Des entailles à fond plat qui recourent les deux unités précédentes.

On ne rencontre pas les podzols sur les modelés convexes. On les observe sur les paysages à substrat riche en quartz et présentant un modelé plan. Cette répartition est illustrée par l'interprétation d'une image Landsat de cette région entièrement sur socle antécambrien granito-gneissique, qui montre la lithodépendance des podzols avec les gneiss. En outre, les analyses minéralogiques montrent que chaque unité paysagique présente sa propre géochimie. Ces unités se rapportent donc à des surfaces d'âge et d'origine différents. La plus récente correspond aux entailles. Les podzols se sont développés sur la surface présentant le relief le moins accentué et les roches-mères les plus favorables.

Mots clé : Podzols - Amazonie - Vénézuéla - Environnement - Relations lithologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRIOS F., CORDANI V., KAWASHITA K., 1985. — Caracterización geocronológica del Territorio Federal Amazonas, Venezuela, VI° Congreso Geológico Venezolano. Memoria, tomo 3 : 1333-1480, Caracas, 1985, Sociedad Venezolana de Geólogos.
- BLANCANEUX Ph., 1985. — Organisation et comportement hydrologique de deux couvertures pédologiques sur granito-gneiss, région de Grégoire, Guyane Fr. Thèse Université d'Orléans.
- BOULET R., 1981. — Etude pédologique des bassins versants Ecerex. Bilan de la cartographie. Bulletin de liaison ECEREX, n° 4, ORSTOM, Cayenne, 4-22.
- BOULET R., CHAUVEL A., LUCAS Y., 1984. — Les systèmes de transformation en pédologie. Livre jubilaire du cinquantenaire AFES : 167-79.
- BRABANT P., MULLER D., 1981. — Reconnaissance survey in Central Kalimantan. Soil survey and land suitability, phase 1. ORSTOM Transmigration Project. PTA 44, Jakarta.
- BRZESOWSKY W.J., 1962. — Podzolic and hydromorphic soils on a coastal plain in the Cameroon Republic. *Neth. J. Agric. Soc.*, 10,2.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols. ENSA Grignon, multigr., 87 p.
- DUBROEUCQ D., SANCHEZ V., 1981. — Características edáficas y ambientales del área muestra San Carlos de Río Negro - Solano. Serie Informe Técnico, DGSIIA/IC/12, MARNR, Caracas, Venezuela.
- DUBROEUCQ D., BLANCANEUX Ph., 1983. — Características edáficas y ambientales del área muestra Maroa - Yavita, T.F. Amazonas. Serie Informe Técnico, DGSIIA/IT/128, MARNR, Caracas, Venezuela.
- FAIVRE P., ANDREUX F., ANNIBAL BURGOS G., 1975. — Podzoles y suelos podzolicos de la región de Sabana de Torres (Santander). *Suelos Ecuatorales*, VII (1-2), 41-58.
- FAIVRE P., KHOBZI J., KROONENBERG S., WEEDA A., 1980. — Aspectos geomorfológicos de la Amazonia y Orinoquia Colombianas. *Revista CIAF*, vol. 5 (1) : 97-126.
- GUEHL J.M., 1984. — Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise, influence de la couverture pédologique. *Ann. Sci. Forest.*, 41 (2) : 195-230.

- HUBER O., 1982. — Significance of savanna vegetation in Amazon Territory of Venezuela. G.T. Prance Editor : *Biological diversification in the Tropics*, pp. 221-244, Columbia University Press, N.Y.
- JORDAN C.F., 1979. — The environmental consequences of intensive forestry and the removal of whole trees from forests : the situation in Latin America. *Acta symp. Rational Use of Forest Resources, Michigan State University*, may 6, 11, pp. 141-148.
- JORDAN C.F., HERRERA R., 1981. — Tropical rain forests : are nutrients really critical ? *The American Naturalist*, 117 (2) : 167-180.
- KLINGE H., 1965. — Podzol soils in the Amazon Basin. *J. Soil Sci.*, 16, pp. 96-103.
- KLINGE H., MEDINA E., HERRERA R., 1977. — Studies on the ecology of Amazon caatinga forest in southern Venezuela. *Acta Cient. Venez.*, 28 : 270-276.
- LUCAS Y., CHAUVEL A., BOULET R., RANZANI G., SCATOLINI F., 1984. — Transicao Latossolos — Podzols sobre formacao Barreiras na regio de Manaus, Amazonia. *R. Bras. Ci. Solo*, V (8,3) : 325-335.
- MALAGON D., OCHOA G., BLANCANEUX Ph., 1981. — *Atlas de microscopia electronica en suelos de Venezuela. Regiones del Estado Apure y penillanura del Caciquiare.* ULA-CIDIAT, Merida, Venezuela.
- PEDRO G., 1979. — Caractérisation générale des processus de l'altération hydrolytique. *Science du sol*, 2-3 : 93-105.
- M.A.R.N.R., 1986. — *Inventario Geomorfo-Pedologico del Territorio Federal Amazonas.* Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas, à paraître.
- MENDOZA V., 1980. — Petrotectonic Provinces of the Amazon Territory, Guiana Shield, Venezuela. 26 Cong. Intern., vol. 1, p. 99, Abstracts, Paris.
- RADAMBRASIL, 1976. — *Levantamento de recursos naturais*, vol. 11, Folha NA-19 Pico da Neblina. Ministerio das Minas e Energia, DNPM, Rio de Janeiro, 366 p.
- SCHWARTZ D., 1985. — *Histoire d'un paysage : le Lousséké. Paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables Batéké.* Thèse Université de Nancy I, 211 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. — *Soil Taxonomy.* Soil conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, 754 p.
- TURENNE J.F., 1975. — *Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaïses.* Mém. ORSTOM n° 84, 173 p.
- VOLKOFF B., MATSUI E., CERRI C., 1982. — *Discriminacao isotopica do carbono nos humus de latossolo e podzol da regio Amazonica do Brasil.* Coloquio regional sobre materia organica do solo. Oct. 18,22. Piracicaba, Brasil.