

Évolution des couvertures pédologiques sableuses à podzols géants d'Amazonie (Bassin du Haut rio Negro) (1)

Didier DUBROEUCQ (2) et Boris VOLKOFF (3)

(2) Pédologue ORSTOM, Insurgentes-43, 91000 Xalapa, Vera Cruz Mexique

(3) Pédologue ORSTOM, BP 1857, République du Cameroun

RÉSUMÉ

Le bassin du Haut rio Negro en Amazonie brésilienne et vénézuélienne est une vaste pénélaine, sur socle cristallin précambrien, à couverture pédologique sableuse généralisée. Y dominent des podzols géants qui portent une végétation arbustive caractéristique (campina). On rencontre également quelques îlots de sols ferrallitiques, sous forêt dense. Ce sont des sols peu épais formés à partir d'altérations gibbsitiques très profondes. Les podzols géants se développent aussi aux dépens des altérites gibbsitiques. On rencontre en effet les mêmes micas dans l'ensemble des profils ferrallitiques et des podzols. Dans les podzols la nappe phréatique est généralement profonde, mais on peut observer des nappes superficielles : on a alors des podzols hydromorphes qui sont de deux types. L'un est à alios, on y trouve de nombreux micas résiduels, de l'aluminium amorphe et des traces de gibbsite sous l'alios ; l'autre n'a qu'un horizon d'accumulation organique (Bh), les micas y sont altérés, il n'y a pas d'aluminium mais de la silice amorphe sous forme d'opale. Le premier dérive directement de la podzolisation des arènes gibbsitiques ; le second se surimpose à un podzol géant. Dans ce cas l'accumulation organique dans le Bhs se réalise au sein d'un niveau à micro-quartz tassés qui se développe par fragmentation des sables au sommet de la nappe phréatique du plateau sableux. On montre que, lorsqu'il y a érosion des podzols géants, on a régénération d'un nouveau podzol à partir des altérites gibbsitiques sous-jacentes en place, et qu'en l'absence d'érosion le podzol géant évolue en sol tourbeux, par un phénomène de microfragmentation du quartz favorisant la constitution d'un podzol hydromorphe dans le podzol géant initial.

MOTS-CLÉS : Amazonie-Bassin du Rio Negro — Ferrallites — Podzols — Tourbes.

ABSTRACT

EVOLUTION OF THE SANDY SOIL MANTLE WITH GIANT PODZOLS OF AMAZONIA (UPPER RIO NEGRO BASIN)

The basin of the Upper rio Negro, in Brazilian and Venezuelan Amazonia, is a vast peneplain, over a crystalline precambrian embasement, with a sandy soil mantle. Giant podzols with a characteristic bush vegetation (campina) predominate there. Some spots of ferrallitic soils, beneath dense forest, can be found too. They are never thick, and are developed from a very deep weathered gibbsitic material. Giant podzols too developed on gibbsitic alterites. The same micas are found in the whole ferrallitic and podzol profiles. In the podzols the ground water table is usually deep, but superficial water tables can be observed : then two types of hydromorphic podzols are observed.

(1) Ce travail a été réalisé dans le cadre des programmes conjoints ORSTOM/CNPq (Brésil) et grâce à l'aide du Centre d'Énergie Nucléaire en Agriculture (CENA à Picaricaba, São Paulo) et de l'Institut National de Recherches Amazoniennes (INPA à Manaus, Amazonas).

One, with alios (Bs), contains a great number of residual micas, amorphous alumina and traces of gibbsite under the alios. The other one only presents an organic accumulation horizon with weathered micas, and, instead of alumina, amorphous silica in the form of opale. The first one directly derives from the transformation of gibbsitic weathered material, whereas the second one develops inside the giant podzol. In this case, organic accumulation in the Bh occurs in a condensed microquartz level formed by fragmentation of the sands in the top of the water table of the sandy plateau. This study shows that, when the giant podzols erode, a new podzol regenerates from the local subjacent gibbsitic alterites, and that, when they do not erode, they are transformed into a peaty soil, due to the fragmentation of the quartz which favours the development of an hydromorphic podzol inside the top of the initial giant podzol.

KEY WORDS : Amazonia-Rio Negro Bassin — Ferralitic soils — Podzols — Peats.

RESUMO

EVOLUCAO DAS COBERTURAS PEDOLOGICAS ARENOSAS COM PODZOIS GIGANTES DA AMAZONIA (BACIA DO ALTO RIO NEGRO)

A bacia do Alto rio Negro na Amazônia brasileira e venezuelana, é uma grande planície esculpida no embasamento cristalino, com cobertura pedológica arenosa generalizada. Dominam os podzois gigantes sob vegetação arbustiva (campina). Encontram-se também alguns núcleos de solos ferralíticos sob floresta densa. Estes solos, pouco espessos, são formados a partir de material de alteração gibbsitizado profundo. Os podzois gigantes formam-se também a partir das alterações gibbsíticas. As mesmas micas encontram-se nos solos ferralíticos e nos podzois. Nos podzois o lençol freático é geralmente profundo, mas observam-se também lençóis freáticos superficiais; neste caso os podzóis são hidromórficos. Existem dois tipos de podzóis hidromórficos. Um é com um alios (Bs) onde se encontram numerosas micas residuais, alumínio amorfo e traços de gibbsita abaixo do Bs. No outro existe apenas um horizonte orgânico de acumulação (Bh); as micas são alteradas, não há mais alumínio, apenas sílica amorfa sob forma de opala. O primeiro forma-se diretamente por podzolização das arenas gibbsíticas, o segundo se forma dentro do podzol gigante. Neste caso a matéria orgânica acumula-se em um Bh dentro de uma camada adensada de microquartzo que se desenvolve por fragmentação das areias no topo do lençol freático do plato arenoso. Mostra-se neste trabalho que, quando há erosão do podzol gigante, regenera-se um novo podzol a partir das alterações gibbsíticas sub-jacentes, e quando não há erosão, o podzol gigante se transforma em um solo turfoso, por causa de um fenômeno de microfragmentação do quartzo que favorece o desenvolvimento de um podzol hidromórfico dentro do podzol gigante inicial.

PALAVRAS CHAVES : Amazônia-Bacia do rio Negro — Solos ferralíticos — Podzóis — Turfas.

INTRODUCTION

Les études sur l'évolution et la transformation des couvertures pédologiques en milieu tropical humide ont montré que le podzol peut être issu de la transformation d'une couverture ferralitique initiale (TURENNE, 1975; BOULET *et al.*, 1984; VEILLON, 1984; LUCAS *et al.*, 1986; LUCAS *et al.*, 1987; LUCAS *et al.*, 1988). D'où l'idée généralement admise que le podzol est le terme ultime de dégradation des couvertures pédologiques tropicales.

Lors d'une reconnaissance pédologique dans une partie de l'Amazonie brésilienne, la région du rio Uaupés située sous l'Equateur (fig.1), où dominent les podzols (Brésil, 1976), nous avons vérifié qu'il y avait une relation étroite entre les sols ferralitiques et les podzols. Nous avons également observé que les podzols de cette région n'étaient pas tous identiques et que des types

assez différents pouvaient se trouver juxtaposés dans le paysage. Ainsi sur un même plateau sableux, on trouve des podzols géants à nappe profonde mais aussi des podzols à nappe superficielle à alios à moins de 1m de profondeur. La végétation révèle facilement si l'on a affaire à l'un ou à l'autre type. Le premier porte une végétation chétive à dominance arbustive et à plages dénudées; le second, par contre, est toujours associé à des végétations arborées denses. Ces observations faites en Amazonie brésilienne s'ajoutent à celles qui ont été effectuées antérieurement dans le même bassin du Haut rio Negro au Venezuela (GAUVAUD *et al.*, 1986; DUBROEUCQ et BLANCANEUX, 1987).

Nous avons donc cherché à caractériser en détail, tant du point de vue morphologique que minéralogique, les différents types de podzols rencontrés et essayé d'établir leurs filiations.

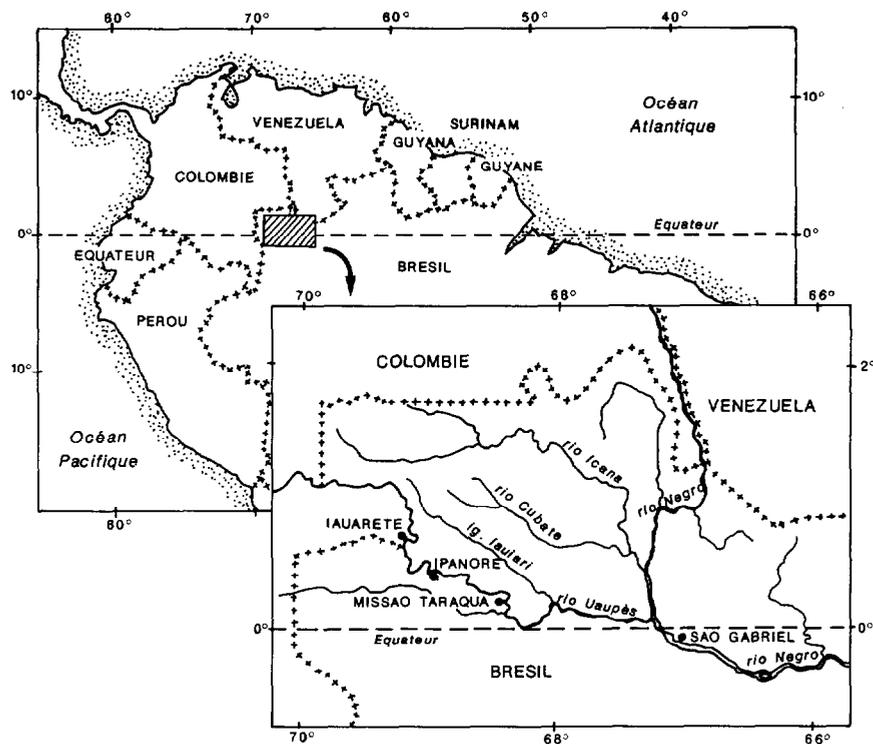


FIG. 1. — Carte de localisation

CADRE GÉOGRAPHIQUE

Le Uaupés est un affluent majeur du rio Negro. Cette rivière dont le cours étend sur 1.000 km environ, traverse une région très plate entièrement couverte d'une végétation chétive à dominante arbustive et à couverture à peu près continue de podzols (Brésil, 1976). Dans cette partie du bassin du Uaupés les reliefs se réduisent à des inselbergs isolés et quelques îlots de collines convexes à sols ferrallitiques ne dépassant pas d'une dizaine de mètres le niveau de la plaine alentour.

En périphérie du bassin, principalement à l'est, la couverture est mixte : les podzols sont associés à des sols ferrallitiques. Puis ces derniers forment une couverture continue lorsqu'on aborde à l'est les modèles polyconvexes qui marquent les contreforts du Massif guyanais. Les axes de drainage dessinent un réseau grossièrement parallèle orienté ouest-est : Guiana, Içana, Cubate, Iauiare : Uaupés (fig.1) ; ils débouchent dans un drain majeur orienté nord-sud : le rio Negro. Ce réseau marque les contours géographiques d'un vaste plateau de très basse altitude et légèrement incliné vers l'est. Les altitudes sont de 120 m à la frontière Brésil-Colombie et de 80 m au rio Negro.

Les axes de drainage ont creusé des entailles plus profondes à l'ouest qu'à l'est : 45 m de dénivellation entre

le plateau et le niveau du Uaupés à l'ouest, 10 m à l'est. Ces entailles présentent à l'est des formes relativement simples : ce sont des incisions à profil bi-convexe, les berges sont couvertes en hautes eaux et l'on n'observe pas de terrasses. Les entailles de l'ouest présentent une forme plus complexe : ce sont de larges échancrures dont chaque versant est constitué d'une succession de modèles asymétriques de forme plan-convexe, chapeautés par des replats à podzols et végétation arbustive claire. La profondeur et l'amplitude de ces incisions augmentent vers l'ouest et l'on constate, en Colombie, que le fond des entailles s'ouvre sur les formations sédimentaires continentales péri-andines d'âge miocène (Colombie, 1979). Ceci indique que l'aplanissement qui a modelé cette surface est d'âge antérieur à celui de la formation sédimentaire qui lui est surimposée avec emboîtement.

Le substrat géologique est un socle antécambrien composé de gneiss et de migmatites intercalés de métasédiments (CECILIA MARTINS, 1976). L'ensemble est recoupé par des roches granitiques tectonisées (MENDOZA *et al.*, 1977). Sa constitution, mise en évidence par les images Landsat et Radar-SLAR, est schématiquement ordonnée en larges panneaux orientés N-E (50°E) montrant des séquences allant des gneiss aux migmatites, recoupés transversalement par les métasédiments

et traversés par des intrusions de granite en petits batholites de forme ovale.

Le climat est caractérisé par une température moyenne annuelle de 25°C (moyenne des maxima : 30°C, moyenne des minima : 21°C) et une pluviosité annuelle

élevée, entre 3000 et 4000 mm (tabl.I). Il n'y a pas de saison sèche marquée. On observe un maximum de l'intensité des pluies en mai-juin. Ce maximum est surtout noté dans les stations situées à l'Ouest : Missão Taraquá et Iauareté.

TABLEAU I
Pluviosités annuelles (Brésil, 1976)

Station	Période	Période
	1931-1960	1965-1974
	----- mm -----	
São Gabriel da Cachoeira	2914,9	3070
Missão Taraquá	3652,2	3550
Iauareté	3505,5	3750

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Méthodes de terrain

Les sites d'observation ont été sélectionnés en tenant compte de trois modes de dissection du plateau à podzols qui apparaissent sur les images Radar-SLAR :

(a) interfluves amples recoupés d'entailles étroites ; le paysage se compose d'un bas plateau, entaillé sur 7-8 m de profondeur par un réseau de drainage peu dense, laissant des interfluves tabulaires de 3 à 5 km de large ;

(b) interfluves courts découpés par un réseau dense d'entailles étroites ;

(c) interfluves courts disséqués par un réseau d'entailles profondes et très larges. La profondeur de l'incision dépasse 30 m ; le paysage présente une topographie très faiblement ondulée avec d'amples zones basses parcourues par le réseau de drainage principal.

L'aspect du couvert végétal sert de marqueur pour la distribution des sols. Il est également le reflet de la signature qui apparaît sur les images Landsat et Radar-SLAR. Nous avons ainsi distingué plusieurs formations végétales identifiées par la taille et l'aspect du couvert ainsi que par la présence de quelques espèces caractéristiques (voir en annexe) :

(1) la savanette, ou campina : végétation d'arbustes à feuilles scléreuses, sans doute le type de végétation le plus représenté dans cette région.

(2) la forêt claire sur sable : arbres de taille moyenne à tronc grêle et feuilles scléreuses.

(3) la forêt haute sur sable ou campinarana (Brésil,

1976) : forêt haute composée d'un mélange d'espèces à feuilles scléreuses et d'espèces à feuilles tendres.

(4) la forêt haute de terre ferme : ne présente pas d'espèces à feuilles scléreuses, le sous-bois reste clair du fait de la densité de l'ombrage.

(5) la forêt inondée sur sable : espèces voisines de celles de la forêt haute sur sable mais avec une plus grande abondance de palmiers et d'arbres à racines-échasses.

Les sols, identifiés par profils isolés ou en séquences, sont différenciés par la méthode des horizons diagnostiques, horizons de référence observés et définis dans le cadre du milieu amazonien (Venezuela, 1987). Nous reconnaitrons ainsi :

— 2 horizons organiques à débris végétaux : « litière », « fibreux humique »,

— 3 horizons minéraux subsuperficiels à matière organique : « umbrique », « sombrique », « jaune à mini-agrégats »,

— 2 horizons minéraux homogènes : « oxique orangé », « oxique jaune »,

— 1 horizon minéral hétérogène : « tacheté »,

— 3 horizons d'accumulation : « argilique », « spodique », « placique »,

— 2 horizons appauvris : « éluvié », « albique »,

— 2 horizons d'altération : « régolithe (arène sablo-argileuse à minéraux primaires), « saprolite » (matériau argileux à minéraux primaires).

Un exemple de chaque type de modelé a été étudié.

Exemple 1 (fig.2) : le paysage se compose d'un bas plateau à interfluves amples. On y observe des podzols à profil très épais (podzol géant de plateau), couverts

d'une végétation de forêt claire sur sable (2) ou de campina (1), et, en taches au centre des interfluves en position altitudinale très légèrement déprimée, des

podzols géants à nappe perchée et des sols tourbeux correspondant à des forêts hautes (3) plus ou moins inondées (5).

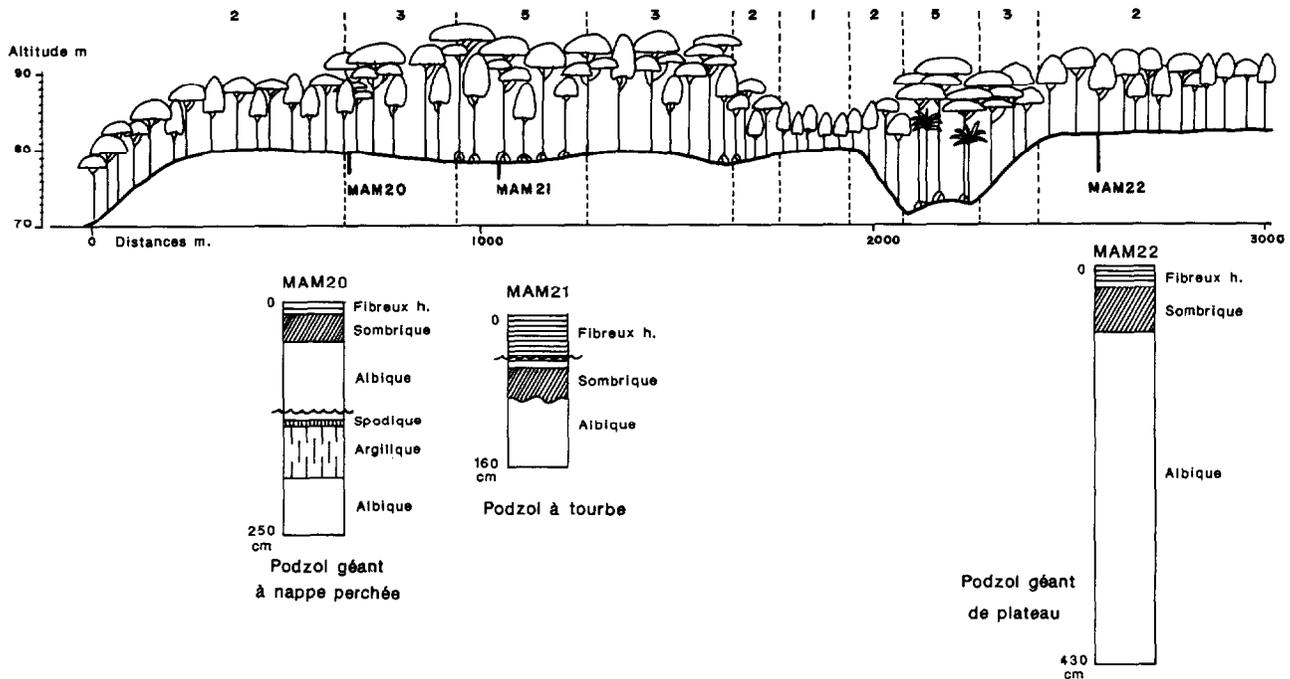


FIG. 2. — Modelé de plateau à interfluve large et entaille étroite

Exemple II (fig.3) : le paysage est formé d'un plateau à podzols géants entaillé par un réseau de drainage relativement serré, profond de 15-20 m, isolant des interfluves plan-convexes de 1 à 1,5 km de large. La surface des interfluves est couverte d'une végétation arbustive basse de savanette ou campina (1). Les bords des interfluves et les entailles à fond plat portent une végétation arborée d'abord moyenne (2) puis haute (3).

Exemple III (fig.4) : le paysage présente une topographie très faiblement ondulée avec d'amples zones basses parcourues par le réseau de drainage principal. Les zones élevées correspondent au plateau initial à couverture podzolique profonde. Les zones basses correspondent à l'entaille du plateau. Le profil des versants de raccordement du plateau aux zones basses est soit convexo-concave, soit concave puis plan-convexe. Sur les versants pousse une forêt dense (5) indicatrice de sols ferrallitiques, alors que le plateau et les zones basses sont couvertes de campina (1) ou de forêt haute sur sable (3) toutes deux indicatrices de podzols.

Méthodes d'analyse de laboratoire

- Observation de lames minces d'échantillons de sol non perturbé en microscopie optique,
- analyses granulométriques de la terre fine (< 2 mm) : dispersion à l'hexametaphosphate et ultrasons sans destruction de la matière organique, agitation mécanique, siphonnage et pesée des différentes fractions,
- analyse des sables : granulométrie (12 modules), séparation et identification des minéraux lourds,
- analyse totale des fractions < 2 μ m par attaque triacide,
- identification des argiles (< 2 μ m) et des oxydes de fer et d'aluminium par DRX (anticathode de Cu),
- quantification approximative des minéraux identifiés à partir des résultats des analyses totales,
- séparation des argiles fines dans les sols ferrallitiques par ultra-centrifugation à 1000 t/mn (particules équivalentes 1 à 2 μ m) et à 5000 t/mn (ég. 0,2 à 0,5 μ m), récupération de l'égoût pour observation au MET (Jeol 100 U) et du dépôt pour analyse totale à la microsonde EDX.

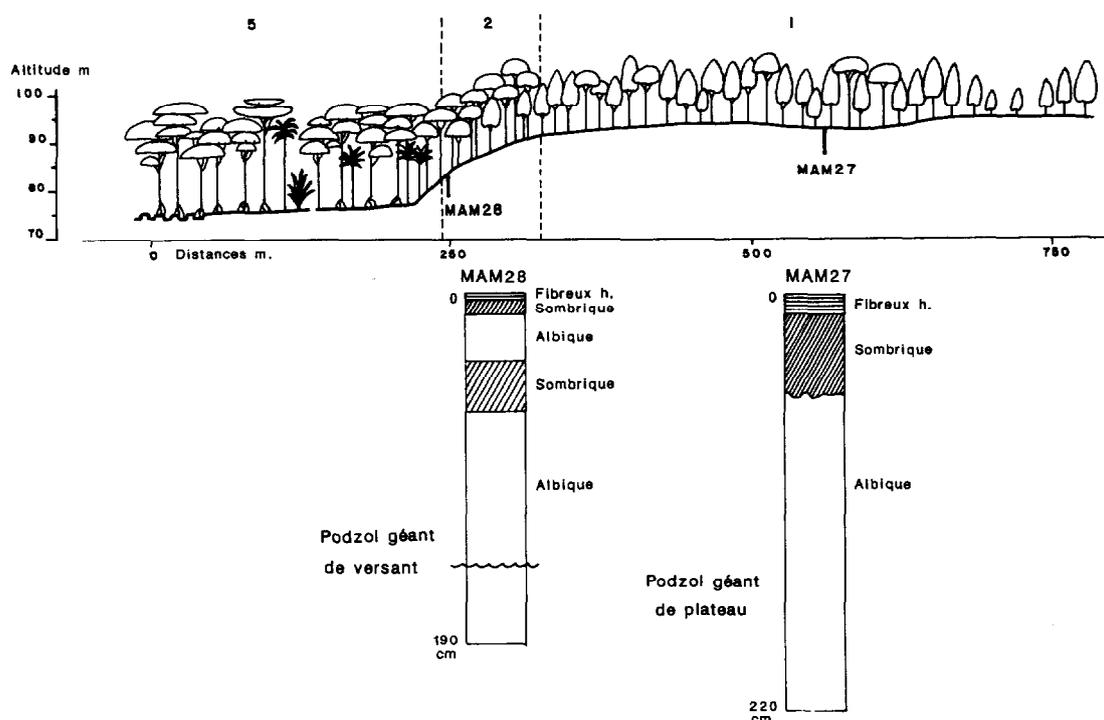


FIG. 3. — Modelé de plateau à interfluve étroit et entaille peu profonde

— séparation des micas dans les horizons sableux de podzols par dispersion à NH_4OH , agitation, prélèvement par siphonnage à 20 cm après 20 h, ultracentrifugation 5000 t/mn, prélèvement de l'égoût dilué (particules 0,2 à 0,5 μm) pour observation au MET.

— extraction des oxydes (JEANROY, 1983) sous formes complexées avec le pyrophosphate de Na 0,1 M, sous formes amorphes avec l'acide oxalique + oxalate de NH_4 (Tamm) à froid, sous formes libres avec le citrate trisodique + bicarbonate de sodium + dithionite (CBD) à 80°C et le réactif de Tamm + dithionite à 80°C, puis dosage de Fe, Al et Si à ICP (Induced Coupled Plasma).

— évaluation des produits amorphes par la cinétique de dissolution de Fe, Al et Si par HCl 2N et NaOH 0,5N alternés (SÉGALEN, 1968) sur sol total. Dosage de Fe, Al et Si à ICP.

RÉSULTATS

Ils concernent d'abord les sols ferrallitiques, ensuite les podzols du plateau.

1. Les îlots de sols ferrallitiques

1.1. MORPHOLOGIE DES SOLS FERRALLITIQUES

Les îlots de sols ferrallitiques constituent des couvertures profondes de 4 à 8 m jusqu'à la roche désagrégée dans lesquelles « flottent » des monolithes de granites, embréchite ou gneiss en voie d'altération. Le volume majeur de cette couverture est occupé par une isaltérite (CHATELIN et MARTIN, 1972) quartzo-micacée, nommée ici régolithe, qui se différencie à partir de 3 m à 2,5 m de la surface en horizons d'abord tacheté, puis homogène jaune vif, ensuite plus pâle. Proches de la surface apparaissent des horizons bioturbés d'abord beige puis brun, à structure en agrégats grenus très fins (mini-agrégats).

Sur gneiss à biotite et muscovite on observe le profil suivant :

000/040 cm : umbrique

Brun (10YR 4/3), à matière organique liée aux minéraux et aux argiles ; structure sub-anguleuse à sous-structure généralisée en agrégats grenus très fins (0,5 mm) ; très forte activité biologique (termites).

040-080 cm : jaune à mini-agrégats

Jaune pâle (10YR 7/6) ; argilo-sableux ; structure grenue très fine (0,5 mm) ; très friable ; très poreux.

080-140 cm : oxisque jaune

Jaune (10YR 6/6) à taches claires diffuses ; argileux (50 %

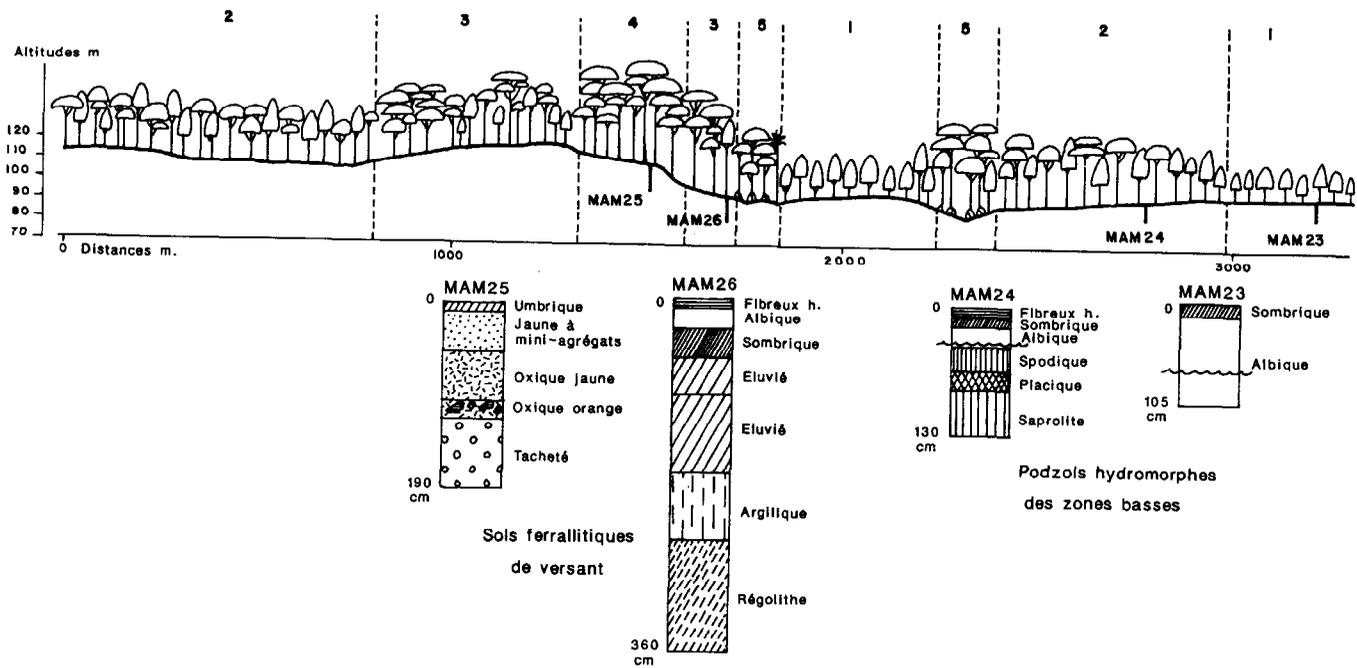


FIG. 4. — Modèle de plateau à entaille profonde et large

d'argile) ; massif, sous-structure en agrégats polyédriques fins (0,5 cm).

140-170 cm : oxiqne orangé

Orangé, quelques taches plus rouges ; argileux (approximativement 60 % d'argile) ; structure polyédrique fine nette ; quelques petits nodules gibbsitiques.

140-220 cm : tacheté

Rougeâtre à nombreuses taches beige, nettes ; argileux ; quelques nodules gibbsitiques durs à cassure rose (poupées) ; massif ; friable en fins polyèdres.

220-380 cm : régolithe

Rouge violacé : limono-argileux riche en fines paillettes micaées ; peu dense ; massif ; très friable ; très poreux ; assez nombreux petits nodules gibbsitiques gris-rosés.

1.2. CARACTÉRISTIQUES MICROSTRUCTURALES ET MINÉRALOGIQUES

De la profondeur vers la surface, les horizons du profil présentent les caractéristiques suivantes :

« Régolithe »

On y observe le morcellement et la kaolinisation des micas, conduisant à la formation d'un cristalliplasma kaolinitique et ferrugineux altérorélictuel. Des kaolinites macrocristallines en « accordéon » subsistent à l'emplacement de nombreux micas encore emboîtés avec les grains de quartz et couverts de ferranes hématitiques. Simultanément on constate une importante fragmentation des quartz en éléments anguleux et de nombreux vides de dissolution du plasma (microstructure poreuse). Des cristallisations de gibbsite apparaissent d'abord en liserés autour de certains vides puis se développent en nodules (fig.5).

Horizon « tacheté »

Dans le cristalliplasma altérorélictuel, directement issu de la kaolinisation des fins micas du matériau originel avec des orientations guidées par les contours des grains

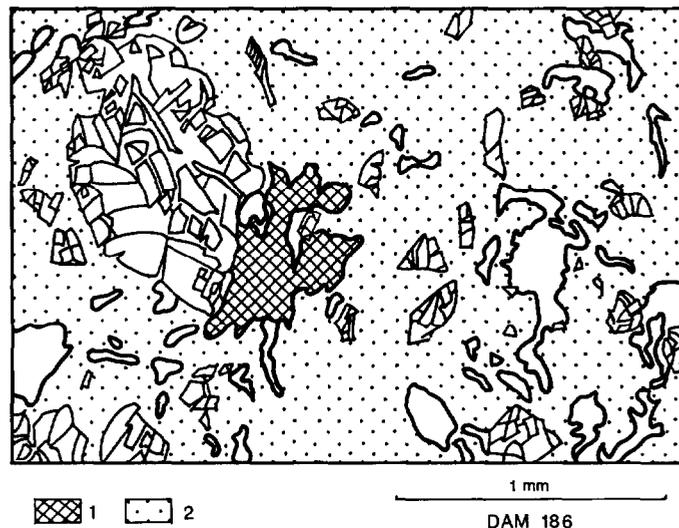


FIG. 5. — Horizon de « régolithe »
1 : mosaïque de macrocristaux de gibbsite ; 2 : cristalliplasma de kaolinites macrocristallines

du squelette, le fer migre des zones beige au profit des zones brun-rouge par le canal de la microporosité. Ceci entraîne, dans une structure massive à chenaux, la formation de plages à plasma argilo-ferrugineux hématitique peu biréfringent (insépique) et à orientations parallèles aux contours de vides (vosépique). On note également le morcellement des quartz en fragments anguleux et l'accroissement des nodulations gibbsitiques à cristaux rhomboédriques (fig.6).

« Oxiqne »

Dans les horizons homogènes orangé et jaune on

constate à la fois un changement de l'état du fer, avec apparition de goëthite alumineuse et disparition de l'hématite, et de celui de la gibbsite avec apparition d'une phase gibbsitique microcristalline incluse dans le plasma et disparition des nodules par alvéolisation puis fragmentation. Il en résulte la généralisation d'un plasma argilo-ferrugineux biréfringent (masépique) constitué essentiellement de kaolinite et de gibbsite (tabl.II et tabl.III). Ces néoformations s'accompagnent d'un accroissement relatif du plasma avec densification et apparition d'une structure polyédrique fine. Elle est

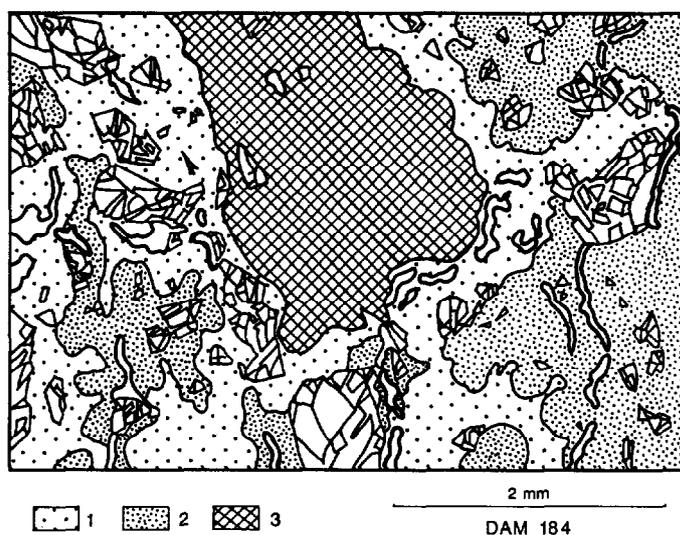


FIG. 6. — Horizon « tâché »

1 : cristalliplasma altérorélictuel déferrié à orientations plasmiques parallèles aux contours des grains du squelette ; 2 : plasma insépique hématitique ; 3 : nodule de gibbsite en mosaïque de macrocristaux

TABLEAU II

Analyse totale de fractions fines de sols ferrallitiques : (1) par attaque triacide ; (2) par microsonde EDX

Horizon	Oxique			Tâché		
	0-2 (1)	1-2 (2)	0,2-0,5 (2)	0-2 (1)	1-2 (2)	0,2-0,5 (2)
SiO ₂ %	39,95	50,22	48,45	41,80	50,65	48,33
Al ₂ O ₃ %	40,50	46,13	46,60	39,50	43,81	43,86
Fe ₂ O ₃ %	1,60	2,01	2,81	2,20	3,11	4,82
TiO ₂ %	1,03	1,27	1,68	1,10	1,28	2,31
CaO %	tr	tr	tr	tr	0,02	0,02
MgO %	0,05	0,10	0,15	0,05	0,37	0,08
K ₂ O %	tr	0,01	0,002	0,47	0,21	0,11
Na ₂ O %	0,01	tr	tr	0,21	0,42	0,07
Résidu %	0,16	tr	tr	0,14	tr	tr
Rapp. moléculaire SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,70	1,85	1,74	1,79	1,97	1,86

TABLEAU III
Composition pondérale de la fraction argileuse (< 2 μ m) des sols ferrallitiques)

Horizon	Kaolinite	Gibbsite	Micas et Vermiculite-Al	Goethite et Hématite	Rutile	%	
						-----	-----
Oxique	85	10	2	2	1		
Tacheté	86	7	4	2	1		

relayée par une déferrification partielle du plasma qui s'observe au voisinage des vides par des néocutanes jaune clair. On note également une diminution de la taille globale des quartz comparativement aux horizons

inférieurs et l'abondance de la fraction 0,1-0,4 mm qui correspond à des fragments anguleux (fig.7). Aux rayons X on identifie également des micas et de la vermiculite-Al.

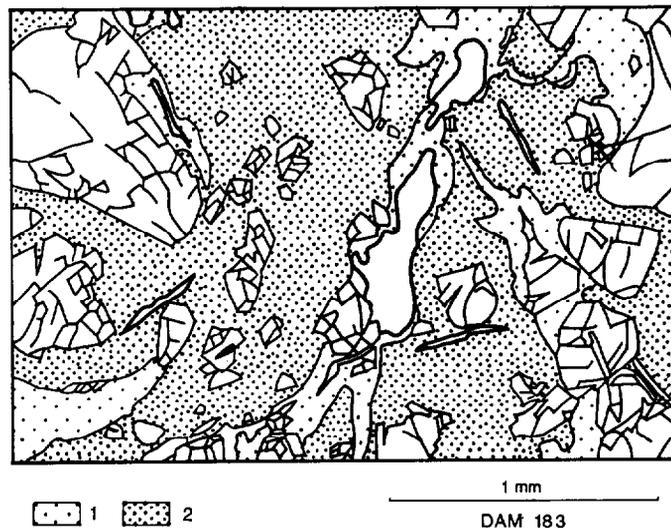


FIG. 7. — Horizon « oxique jaune »

1 : néocutanes jaune clair déferrifiés ; 2 : plasma brun rouge nettement biréfringent à orientations parallèles aux contours des vides

« Jaune à mini-agrégats »

Dans les horizons bioturbés, le squelette quartzueux présente une fraction abondante de grains de 0,1 à 0,3 mm dans laquelle on note une forte proportion d'émoussés. On observe sur ces grains des formes d'accrétion pelliculaire et des vides de dissolution périphériques responsables de l'émoussé chimique. On note

également la persistance, dans le squelette fin, de nombreux micas résiduels et de quartz fin (< 0,03 mm) rendus visibles grâce à la diminution de la densité du plasma. Celui-ci se compose de kaolinite et de gibbsite. L'assemblage plasma-squelette est de type aggloméré, et la forme des vides, mamelonnés ou doublement incurvés, permet de reconnaître les vestiges d'une structure

grenue très fine, probablement d'origine biologique (ESCHENBRENNER, 1986), partiellement effacée par compactation et pédoturbation (fig.8).

L'évolution minéralogique verticale du profil ferrallitique, schématisée dans la figure 9, traduit les effets d'une altération intense mais incomplète, où les méca-

nismes de dissolution sont importants. Elle contribue à former un sol moyennement profond, pauvre en oxyhydroxides de fer, mais riche en gibbsite, et conservant une certaine proportion de minéraux encore altérables (micas) dans le squelette et le plasma (Tabl.II et Tabl.III).

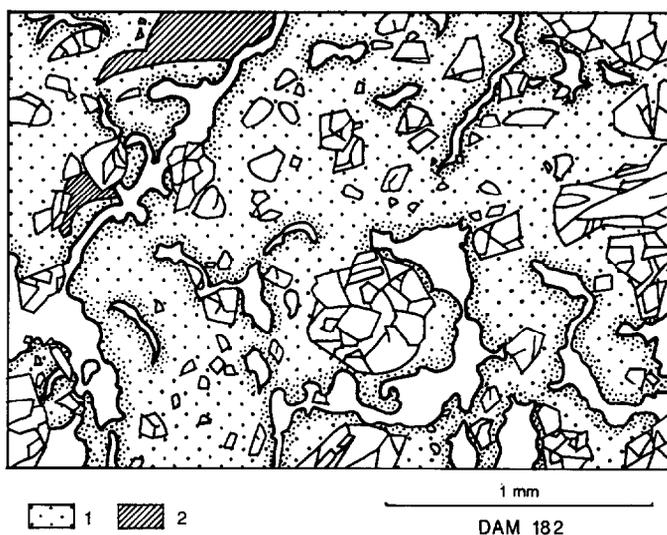


FIG. 8. — Horizon « jaune à mini-agrégats »
1 : plasma jaune clair non ou peu biréfringent, sans orientations plasmiques ; 2 : argilanes inclus dans le plasma

2. Les podzols de plateau

2.1. PLATEAUX À INTERFLUVES LARGES ET ENTAILLES ÉTROITES (fig.2)

Le podzol à tourbe

Il apparaît au centre des plateaux. La tourbe est constituée par un enchevêtrement très dense de racines retenant des grumeaux de matière organique (horizon « fibreux humique ») et flottant sur une nappe superficielle.

Le podzol géant à nappe perchée

Il se dispose en périphérie des sols tourneux ; une nappe perchée se maintient dans les sables à la faveur d'un horizon noir, mince, et très compact (horizon « spodique ») situé à 100-150 cm de profondeur.

La morphologie du podzol géant à nappe perchée (MAM20) est la suivante :

000/005 cm : enchevêtrement de racines fines.

000/010 cm : fibreux humique

Grumeaux organiques brun foncé et sable blanc mêlés à un feutrage serré de racines fines et moyennes.

010-040 cm : sombrique

Gris (10YR 4/2) ; sableux.

040/120 cm : albique

Blanc jaunâtre (2,5YR 8/2) ; nappe à 80 cm ; non organique ; sableux ; particulière ; devient plus compact vers 100 cm ; transition brutale.

120/125 cm : spodique

Noir (10YR 2/2) ; engorgé ; compact ; sableux grossier.

125/180 cm : argilique.

Gris-brun (2,5Y 7/4) ; à taches diffuses jaunâtres ; sablo-argileux ; massif.

180-220 cm : albique

Blanc jaunâtre (2,5Y 8/2) ; sableux ; particulières.

De 40 à 120 cm de profondeur (horizon albique), on observe une intense fracturation des quartz en éléments anguleux de la taille des limons. L'entassement de ces fragments finit par former, à la base de l'horizon, un cristalliplasma quartzueux (fig.11) constitué d'éléments de 0,015 à 0,05 mm juxtaposés et localement cimentés par des microcristaux bi-pyramidés néoformés. On observe également, dans les fractions très fines séparées par ultracentrifugation, des gels abondants,

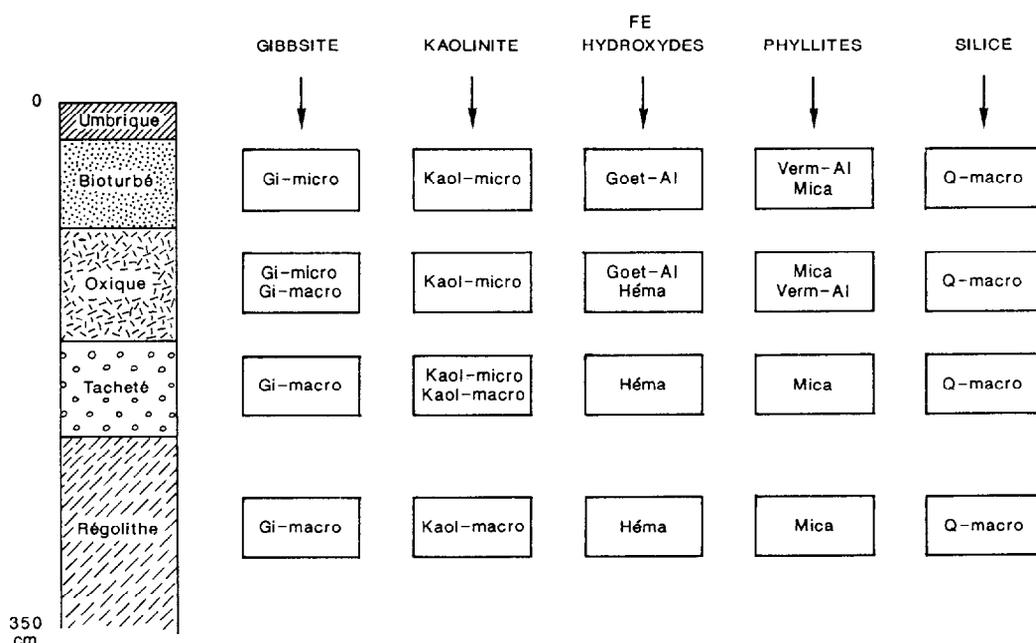


FIG. 9. — Constituants minéraux des horizons d'un sol ferrallitique
 Gi-micro : gibbsite microcristalline ; Gi-macro : gibbsite macrocristalline ; kaol-micro : kaolinite sous forme de microcristalline ; kaol-macro : kaolinite sous forme de macrocristalline ; Goet-Al : goëthite alumineuse ; héma : hématite ; Verm-Al : vermiculite Al ; Mica : micas résiduels ; Q-macro : silice des quartz

localement condensés en sphérules creuses de 10 à 14 nm (photo 4). Les courbes de dissolution cinétique des minéraux amorphes et paracristallins (fig.10) montrent que seule la silice est soluble ; la forme des courbes rappelle celles que donne la silice colloïdale ou l'opale (QUANTIN et BOULEAU, 1983).

Dans l'horizon podzique sous-jacent, on observe un plasma hétérogène constitué d'une phase microcristalline quartzreuse et d'une phase organique noire, isotrope, à structure microagrégée par endroits. Le squelette se compose de quartz hétérométriques de 0,1 à 1 mm, profondément fracturés, assemblés avec le plasma en une structure massive à vides non communicants (fig.12). Cet horizon résulte de l'accumulation de matières organiques piégées par le cristalliplasma quartzreux qui constitue une zone d'arrêt à la circulation verticale des eaux. Les analyses DRX de la fraction < 2 μ m révèlent la présence d'une certaine concentration de minéraux cristallisés, essentiellement du quartz ultra-fin et des oxyhydroxydes de titane (rutile, anatase) avec de très faibles quantités de pyrophyllite. Il n'y a plus de gels et de sphérules siliceuses.

Dans l'horizon argilique, la texture devient faiblement argileuse (6 % de fraction < 2 μ m). La fraction fine (< 2 μ m) est essentiellement constituée de vermiculite-

Al et de kaolinite, avec très peu de gibbsite (1 %) et de pyrophyllite (2 %). Cette dernière pourrait être héritée des métasédiments, mais le cortège des minéraux lourds du profil indique une roche mère granitique (tabl. IV). Les oxy-hydroxydes de titane apparaissent en quantité moindre et le quartz très fin est absent. Par contre le quartz constitue la totalité des fractions limons fins et sables, à l'exception de faibles quantités de micas fortement vermiculitisés présents dans les limons (photo 1).

L'étude de l'évolution des micas présents dans la fraction < 50 μ m montre que dans les horizons albiqes supérieurs leur altération se limite à l'ouverture des feuillets (photo 2). Dans la zone de blocage du drainage il y a transformation des feuillets en vermiculite (photo 3) et, dans une moindre mesure, épitaxie en kaolinite, ce qui conduit à la formation d'un horizon argilique secondaire.

Le podzol géant sans nappe

Le quartz constitue la totalité des fractions sables et limons fins. Dans la fraction limons on trouve de faibles quantités de micas peu ouverts et non vermiculitisés. Il y a très peu de quartz dans la fraction < 2 μ m et peu de gels mais d'abondantes particules sphériques

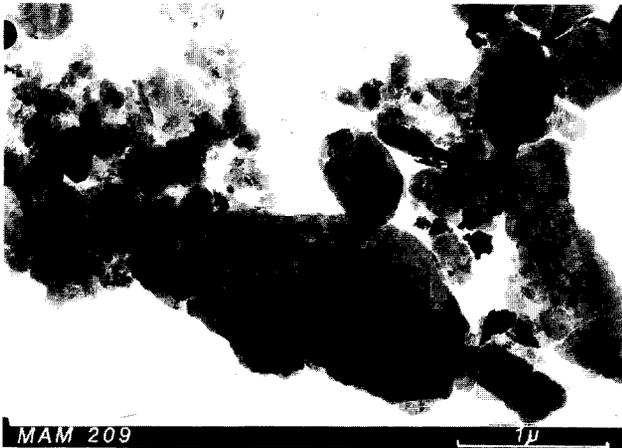


PHOTO 1. — Présence de kaolinites et de micas vermiculitisés dans la fraction fine de l'horizon « argilique » d'un podzol à nappe perchée

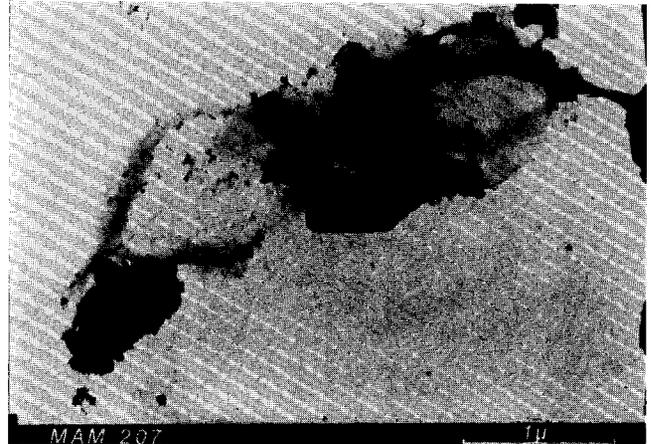


PHOTO 4. — Existence de gels de silice dans les horizons albi-ques des podzols à nappe perchée



PHOTO 2. — Ouverture des feuillets des micas avec enroulement des bords dans l'horizon « albique » supérieur d'un podzol à nappe perchée

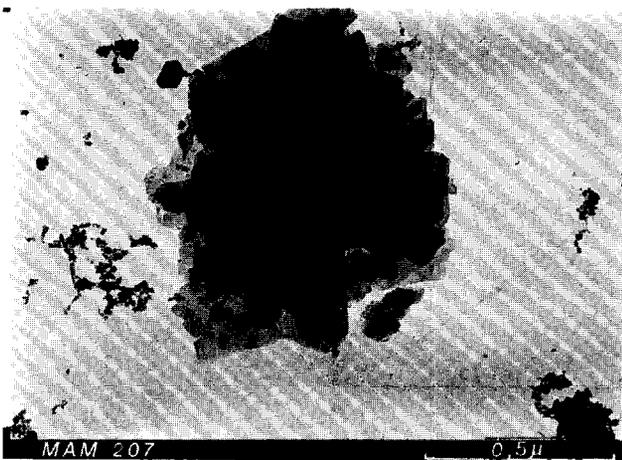
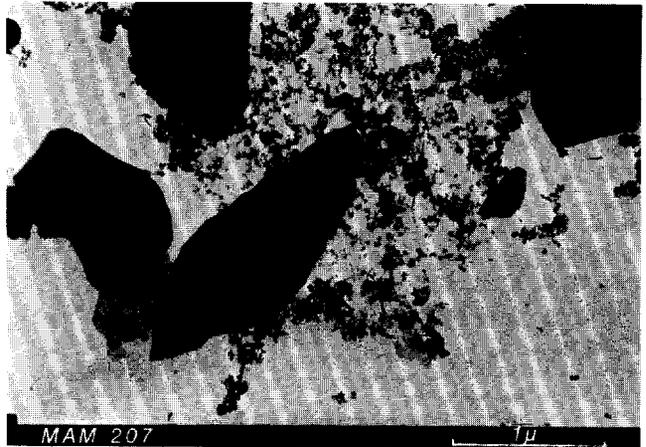


PHOTO 3. — Transformation d'un mica en vermiculite avec conservation des orientations du réseau cristallin des feuillets. Des particules hexagonales de kaolinites néoformées apparaissent également

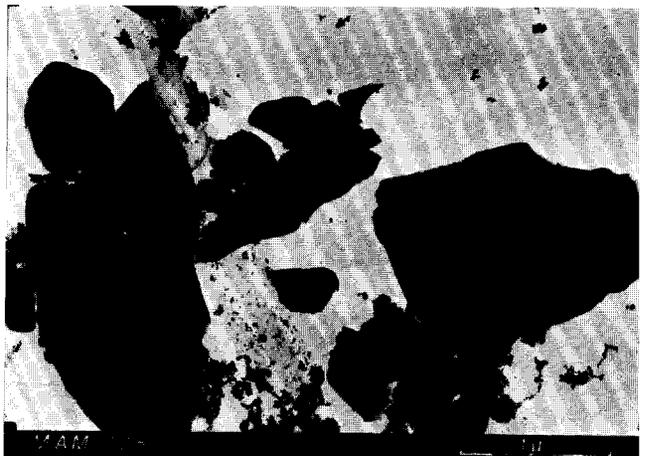


PHOTO 5 et 5bis. — Condensation des gels en amas de particules siliceuses sphériques de 10 à 14 nanomètres de diamètre et à centre creux

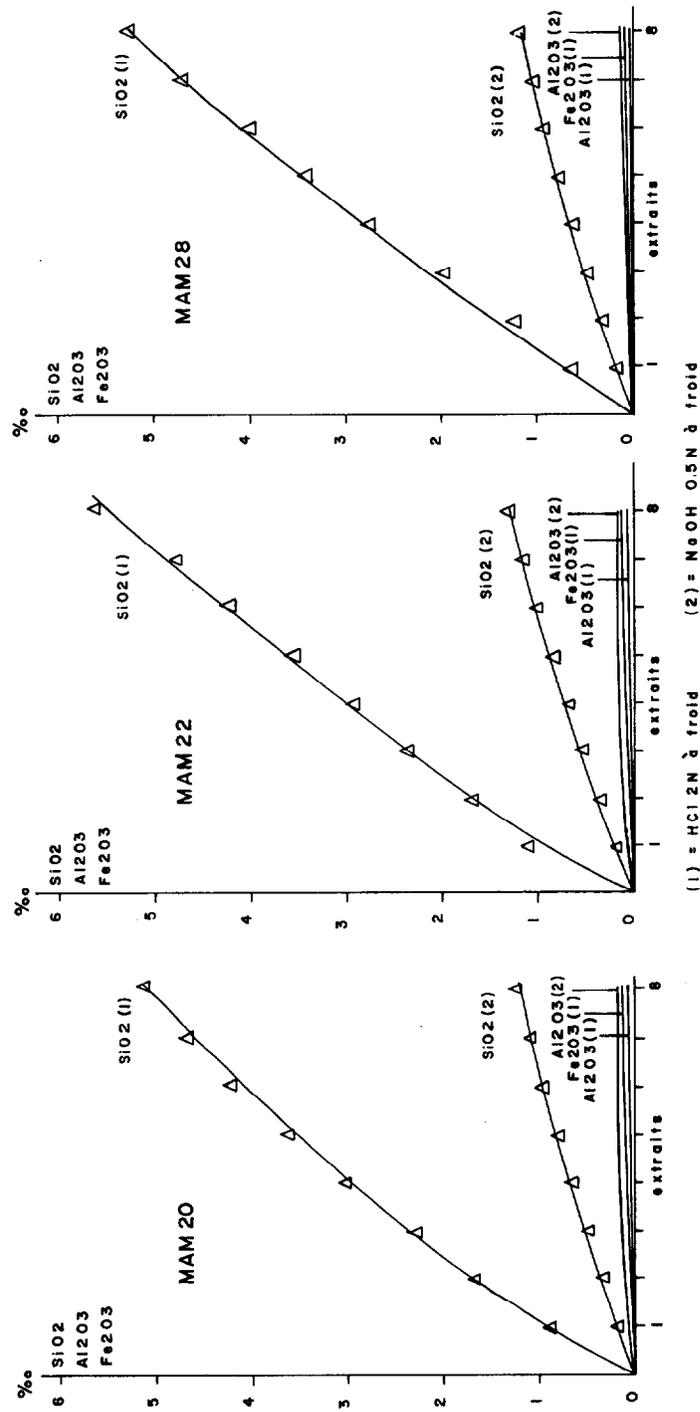


FIG. 10. — Cinétique de dissolution de Al, Fe et Si par HCl et NaOH dans les horizons albiques des podzols

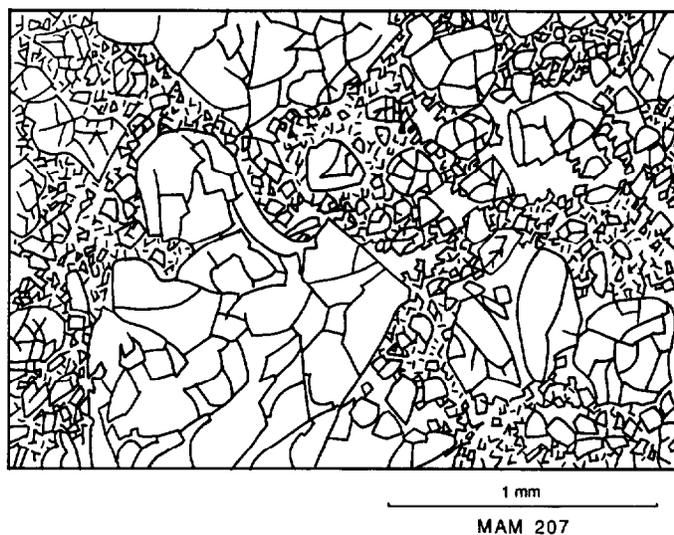


FIG. 11. — Microstructure de la base de l'horizon albiqne supérieur d'un podzol géant à nappe perchée

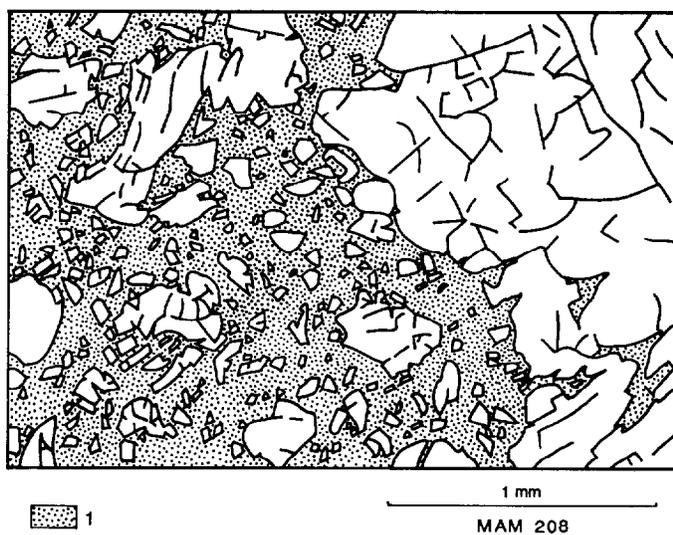


FIG. 12. — Microstructure de l'horizon spodique organique d'un podzol géant à nappe perchée

1 : plasma organo-siliceux, noir, isotrope, à structure massive

creuses de 10 à 15 μ m observables après centrifugation des fractions très fines (photos 5 et 5bis). Les extractions des produits amorphes et paracristallins confirment la composition essentiellement siliceuse de ces particules (fig.10).

L'évolution géochimique verticale du podzol géant à nappe perchée est résumée dans la figure 13. Elle traduit un bilan soustractif pour la silice par dissolution du quartz, et additif pour les phyllosilicates par altération des micas résiduels.

TABLEAU IV
Nature des minéraux lourds

Profil	Profondeur cm	Minéraux des granites	Minéraux métamor.	Minéraux ubiquistes	Minéraux sédiment.	rutile		
							%	
Podzol géant à nappe perchée (MAM20)	120-125	64	11	8	11	7		
	160-180	79	12	3	7			
Podzol hydro. des zones basses (MAM24)	65-75	67	15	4	9			
	85-95	58	9	12	3	18		
Sol ferrallitique (MAM25)	55-65	71	2	22	1	4		
	75-85	91	1	5	1			
	160-170		5	8				
Intergrade ferral.-podzol (MAM26)	115-125	54	2	13	1	9		
	180-200	62	11	7	6	9		
	260-280	20	22	10	19	30		

Minéraux des granites : zircon, tourmaline, anatase, brookite, monasite

Minéraux du métamorphisme : andalousite, staurotide, sillimanite, disthène, corindon.

Minéraux ubiquistes : épidote, zoïsite.

Minéraux remaniés d'origine sédimentaire : zircons usés, tourmaline usées

2.2. PLATEAUX À INTERFLUVES ÉTROITS (fig.3)

Les profils observés sur le plateau sont des podzols géants sans nappe et sans horizon spodique à moins de 4 m de profondeur.

Aucun horizon organique fibreux n'y a été identifié ce qui confirme l'absence de nappe superficielle dans cette partie haute de la topographie. La nappe n'est affleurante que dans le fonds de l'entaille. En bas de versant elle apparaît à moyenne profondeur mais les profils ne montrent pas d'horizons spodiques. On observe seulement une accumulation diffuse de matière organique, indice d'un horizon sombrique subsuperficiel (MAM28). La fraction fine de l'horizon albique sous-jacent comporte des quartz ultra-fins < 2µm, des micas en voie d'altération avec ouverture des feuillets et enroulement des bords, et des gels partiellement condensés. Mais il n'y a pas de cristalliplasma quartzueux.

Le début de l'altération des micas semble donc favorisé par le ralentissement du drainage que l'on observe en bas de versant.

3. Les sols des entailles du plateau (fig.4)

Lorsque la profondeur d'incision du plateau dépasse 30 m le modelé de l'entaille devient complexe et la

couverture pédologique présente des différenciations marquées.

3.1. LES VERSANTS

A l'exception du rebord du plateau qui conserve la couverture podzologique initiale, les versants portent des sols ferrallitiques qui font place progressivement vers l'aval à des sols intergrades ferrallitiques-podzol et à des podzols. Dans cette séquence on constate que dans l'horizon tacheté du sol ferrallitique de mi-pente (MAM25) apparaissent des amas de kaolinite centimétriques blancs, non pédoturbés (fig.14), indicateurs donc d'une néoformation transitoire de kaolinite à ce niveau et indices d'une dissolution modérée du plasma dans les horizons jaunes sus-jacents ainsi que la formation d'horizons plus argileux sous-jacents (VEILLON, 1984 ; LUCAS *et al.*, 1987).

Dans le profil aval à morphologie intergrade entre le sol ferrallitique et le podzol (MAM26), on constate une destruction très prononcée du plasma qui affecte d'abord les horizons bioturbés à structure fine et donne un matériau sableux particulière. Dans ce matériau la disparition du plasma entraîne une dissociation des liaisons argilo-minérales et l'apparition de formes organiques micro-agrégées noires et facilement mobiles qui

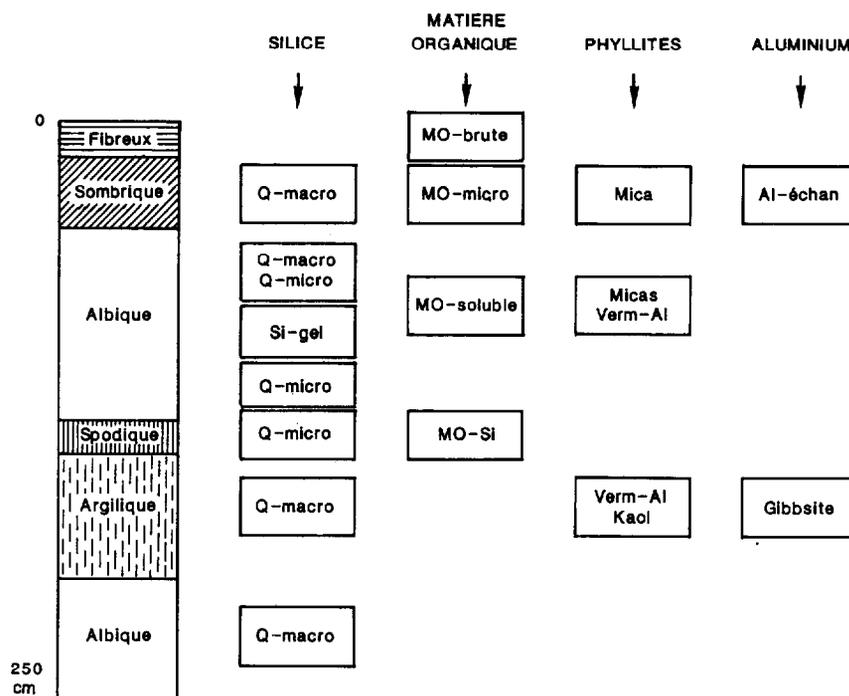


FIG. 13. — Constituants minéraux et organiques d'un podzol hydromorphe surimposé à un podzol géant
 Q-macro : quartz macrocristallin ; Si-gel : gel de silice ; Q-micro : quartz microcristallin ; MO-brute : matière organique peu décomposée ; MO-micro : matière organique microagrégée ; MO-soluble : matière organique mobile ; MO-Si : complexe organo-minéral à base de silice ; Mica : micas résiduels ; Verm-Al : vermiculite Al ; Kaol : kaolinite ; Al-échan. : aluminium échangeable

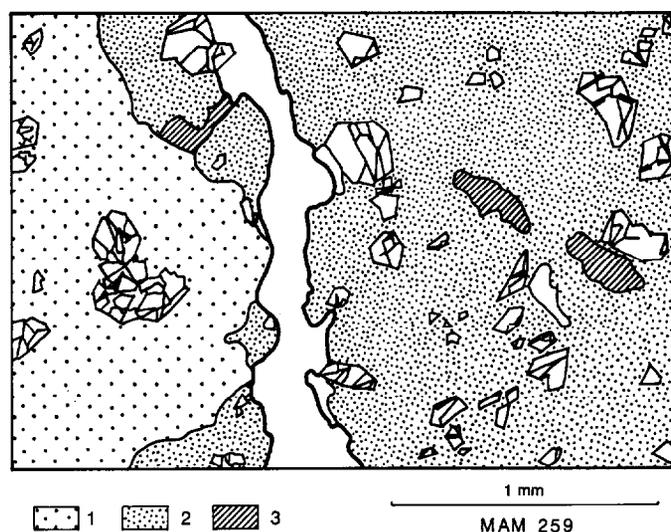


FIG. 14. — Microstructure de l'horizon tacheté d'un sol ferrallitique de versant
 1 : amas kaolinitique, isotrope, non perturbé ; 2 : plasma jaune, anisotrope, à orientations plasmiques parallèles aux contours des vides ; 3 : cutanes et papules incluses

revêtent les grains du squelette. Il en résulte un horizon sableux de couleur gris « sombrique » (fig.15).

La destruction de la kaolinite affecte également les horizons inférieurs oxydés et tachetés du profil ferral-

litique pour donner un horizon « éluvié » sablo-argileux, particulière à pellicules et ponts plasmiques, dont le fond matriciel discontinu est non biréfringent et, par endroits, opaque et fortement imprégné d'oxy-hydroxydes (fig.16).

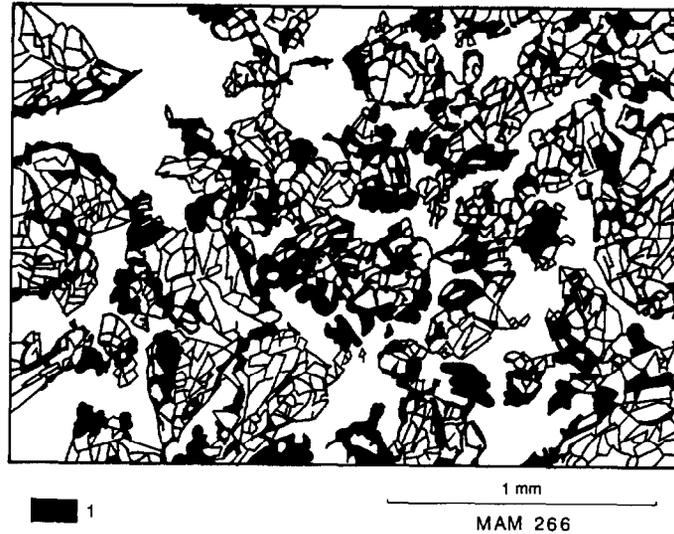


FIG. 15. — Microstructure de l'horizon « sombrique » d'un sol intergrade ferrallitique-podzol de versant
1 : microagrégats de plasma organique noir

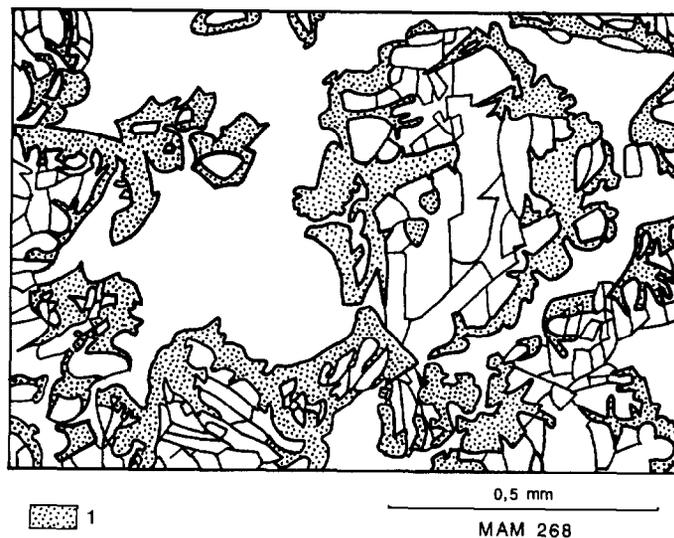


FIG. 16. — Microstructure de l'horizon « éluvié » d'un sol intergrade ferrallitique-podzol de versant
1 : pellicules plasmiques brunes, isotropes, disposées en placages non orientés

Le sol sablo-argileux ainsi formé conserve le squelette des matériaux ferrallitiques primitifs, essentiellement du quartz avec une fraction non négligeable de micas, ainsi que des vestiges plasmiques fortement enrichis en oxydes, principalement en gibbsite, et en minéraux très fins non kaolinitique (micas et minéraux titanés).

Vers l'aval et sur quelques mètres de distance le sol sablo-argileux intergrade se transforme en podzol.

Sur la séquence étudiée on note (Tabl.IV) que le cortège des minéraux lourds du profil amont (MAM25) est homogène et caractéristique des granites (zircons, épidoite, tourmaline), alors que le profil aval (MAM26) montre, à partir de 260 cm de profondeur, des caractères nettement plus métamorphiques (andalousite et disthène). Il y aurait donc à ce niveau un contact granite-gneiss. Ceci confirme que les transformations sol ferrallitique-podzol sont guidées par un contact lithologique (DUBROEUCQ et BLANCANEUX, 1987).

3.2. LES PODZOLS HYDROMORPHES DES ZONES BASSES

Si les sols du plateau sont des podzols géants tout à fait analogues aux profils décrits dans les coupes précédentes, il n'en est pas de même de certains podzols des zones basses (par exemple MAM24) qui présentent, par la faible profondeur de leur profil et la nature de leurs horizons, une morphologie différente.

000/010 : Litière

Brun roux à feuilles décomposées et feutrage de fines racines.

010-020 cm : fibreux humique

Brun ; très nombreuses racines enchevêtrées mêlées à des agrégats de matière organique grumeleux fins.

020-040 cm : sombrique

Gris à matière organique non liée aux minéraux ; sableux ; particulaire.

040-065 cm : albique

Blanc : très humide ; sableux ; circulation latérale d'eau à 35 cm ; transition nette.

065-085 cm : spodique

Noir à sables grossiers visibles ; massif ; dur.

085-090 cm : placique

Brun ocre (7,5YR 3/4) ; massif à structure feuilletée horizontalement ; très dur.

Ce type de podzol des zones basses présente une nappe à faible profondeur dont le plancher correspond à l'horizon spodique.

La morphologie de l'horizon sombrique sub-superficiel est analogue à celui des autres types de podzols : un squelette essentiellement quartzeux et des revêtements de microagrégats organiques noirs formant parfois des coiffes sur les grains du squelette.

L'horizon albique présente une fraction fine relativement riche en micas qui apparaissent tous vermiculitisés (photo 3). On y observe peu de micro-quartz < 2 μ m et très peu de gels et de particules cryptocristallines après ultra-centrifugation de la fraction fine.

Dans l'horizon spodique les revêtements organiques sont très denses, noirs, isotropes, et distribués par place en microagrégats de 0,04-0,06 mm formant avec le squelette une structure relativement compacte sans chenaux ni tubes (fig.17). Les analyses minéralogiques indiquent l'existence, dans la fraction < 2 μ m, de kaolinite, sans mettre en évidence d'autres produits cristallins que des oxydes de titane relativement abondants (rutile, anatase).

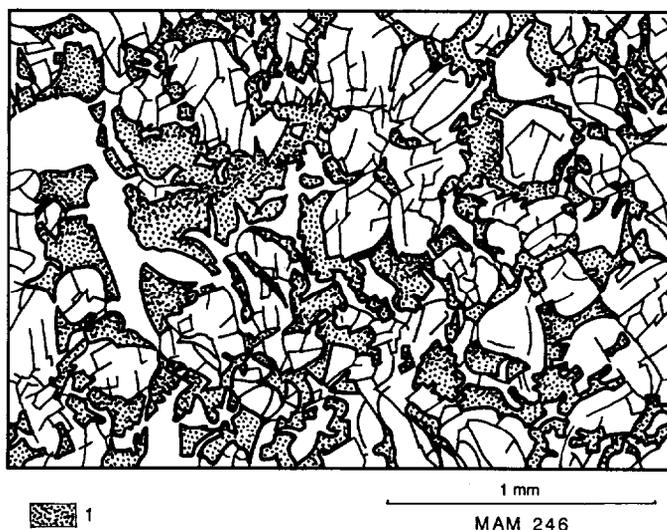


FIG. 17. — Microstructure de l'horizon « spodique » d'un podzol hydromorphe des zones basses
1 : plasma organique noir distribué par place en microagrégats

Dans l'horizon placique, on observe un plasma brun-rouge isotrope. Son opacité et son réseau de fissures conchoïdales lui confèrent un aspect particulier (fig.18),

déjà décrit dans les podzols tropicaux par d'autres auteurs (SCHWARTZ, 1985 ; SCHWARTZ *et al.*, 1986). Les analyses minéralogiques par diffraction X indiquent

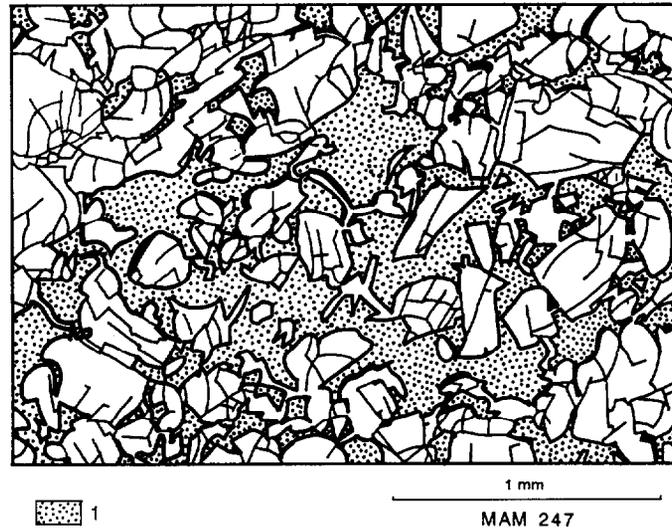


FIG. 18. — Microstructure de l'horizon « placique » d'un podzol hydromorphe des zones basses
1 : plasma brun-rouge isotrope à structure massive à micro-craquelures

la présence de gibbsite et de kaolinite avec des pics peu accentués, des minéraux amorphes, des traces de goëthite, et des oxydes de titane (anatase et rutile). Ces derniers existent en quantités inférieures à celles de l'horizon spodique sus-jacent, estimées d'après l'intensité des pics de diffraction. L'analyse chimique montre qu'il y a une faible accumulation d'aluminium « libre » essentiellement sous forme d'aluminium complexé par la matière organique comme le montre la faible différence entre les taux d'extraction de l'aluminium au CBD et au pyrophosphate. Dans cet horizon on note également une faible quantité d'aluminium sous forme amorphe extrait au Tamm (1,10 % Al_2O_3) et sans doute partiellement lié à la silice (0,06 % SiO_2) dans des composés de type allophane (tabl.V). Les teneurs en fer libre extraites par le dithionite s'avèrent extrêmement faibles, ce qui s'explique par les conditions d'hydromorphie dans lesquelles se réalise la podzolisation (RIGHI 1977) et par les teneurs initiales faibles des matériaux ferrallitiques originels.

L'analyse DRX de la fraction fine de l'horizon d'altération sous l'alias d'un podzol hydromorphe des zones basses indique la présence de kaolinite prédominante, de gibbsite et d'une faible proportion de vermiculite-Al.

La constitution minéralogique du podzol de bas fond est schématisée dans la figure 19.

En définitive, le profil de podzol des entailles présente une filiation génétique avec le profil intergrade ferrallitiques-podzol observé en bas du versant. Les différenciations organiques et alumineuses concentrées à la base de l'horizon albique du podzol s'observent déjà de manière diffuse dans les horizons « sombriques » et « éluviés » du profil intergrade. Il subsiste également dans l'horizon albique des quantités relativement importantes de micas provenant du squelette des matériaux ferrallitiques originels. Il s'agit donc d'une podzolisation au premier degré qui résulte directement de la transformation aval des sols ferrallitiques du versant de l'entaille.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Il ressort donc des résultats présentés que les sols ferrallitiques des régions hyper-humides du Haut rio Negro sont caractérisés par des altérites kaolinitiques peu ferrugineuses, riches en quartz et en gibbsite, par une épaisseur modérée des horizons pédologiques, et par des micas qui se maintiennent dans l'altérite et dans les profils. Dans les horizons blanchis de podzols associés à ces sols ferrallitiques, on retrouve toujours ces mêmes micas. En profondeur, on observe souvent sous les horizons blanchis une association minérale quartz-kaolinite-

TABLEAU V

Formes amorphes (extraits acide oxalique-oxalate NH₄, TAMM), libres (extraits citrate-bicarbonate-dithionite, CBD ; extraits acide oxalique-oxalate NH₄-dithionite, DITHIONITE) et complexées (pyrophosphate de Na, PYRO.) du silicium, du fer et de l'aluminium dans les horizons spodiques (Bh) et placiques (Bs) d'un podzol de zones basses

Horizon	TAMM			CBD			DITHIONITE			PYRO.		
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	----- % -----											
Bh	tr	0,06	0,15	tr	0,02	0,15	tr	0,06	0,13	0,06	0,01	0,15
Bs	0,06	0,10	1,10	tr	0,01	1,35	tr	0,12	1,05	0,43	0,02	1,59

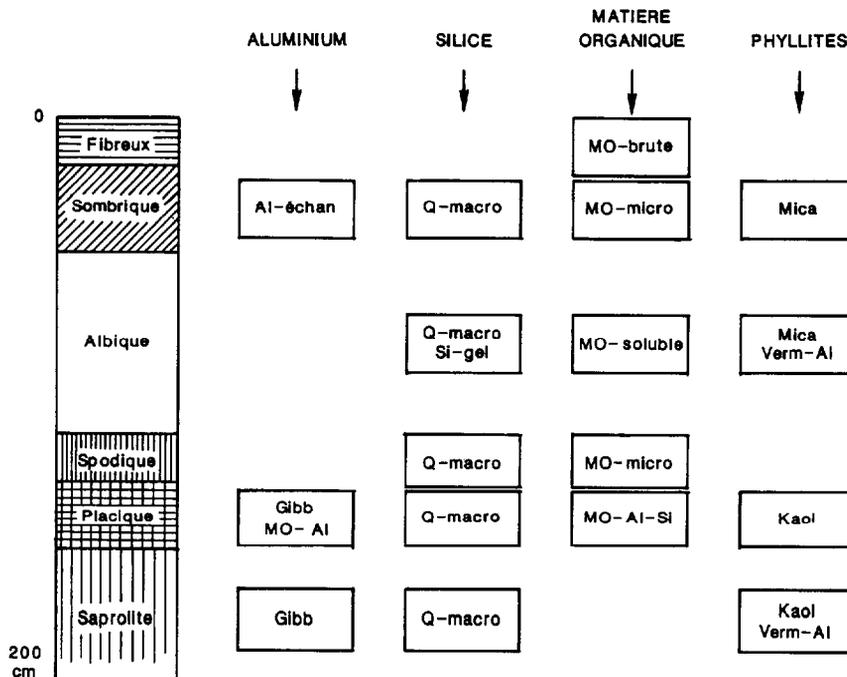


FIG. 19. — Constituants minéraux et organiques des horizons d'un podzol hydromorphe à alios
 Al-échan. : aluminium échangeable ; Gibb : gibbsite ; MO-Al aluminium complexé par la matière organique ; Q-macro : quartz ; Si-gel : silice amorphe ; MO-brute : matière organique peu décomposée ; MO-micro : matière organique microagrégée ; MO-soluble : matière organique mobile ; MO-Al-Si : complexes organo-minéraux à base d'aluminium et silice ; Mica ; micas résiduels ; Verm-Al : vermiculite-Al ; Kaol : kaolinite

gibbsite-vermiculite Al. Ce qui laisse entrevoir des relations entre ces deux types de sols, tant en ce qui concerne les matériaux que les évolutions géochimiques et minéralogiques.

Dans les entailles d'érosion profondes où l'altérite gibbsitique a été mise à jour, on vérifie qu'il y a évolution des sols ferrallitiques vers le podzol, le podzol se développant de l'aval vers l'amont.

La podzolization se manifeste au sein d'un matériau peu argileux (LUCAS *et al.*, 1988) mais qui peut rester gibbsitique. Au cours de la podzolization la gibbsite disparaît de l'horizon blanchi mais on la trouve toujours à la base des horizons spodiques.

La couverture sableuse podzolisée peut encore subir des transformations.

Sur les plateaux à larges interfluves, le ralentissement du drainage dans la partie centrale du plateau permet une reprise d'altération de la couverture sableuse qui se manifeste au niveau des quartz en accentuant la solubilité de la silice et au niveau des micas résiduels en achevant leur transformation. Ceci conduit au développement d'horizons « spodiques » à microquartz et matière organique et d'horizons « argiliques » subsuperficiels à paragenèse vermiculite Al-kaolinite-gibbsite. Cette évolution est favorable à l'installation d'une végétation arborée dense et à la formation de tourbières.

Lorsque le plateau est découpé en interfluves étroits, le ralentissement du drainage n'est sensible qu'en bas de versants et permet, à ce niveau, l'amorce d'une reprise d'altération du matériau sableux alors qu'apparemment rien ne se passe à la surface du plateau.

Le podzol géant initial du Uaupés est donc susceptible de se transformer lorsque les conditions de drainage interne sont modifiées. Or le drainage interne dépend de la distribution des nappes et de la profon-

deur des entailles d'érosion, deux caractères régentés par un même facteur d'évolution géomorphologique qui est la profondeur du niveau de base local.

Le podzol géant se maintient identique à lui-même lorsque le drainage est largement ouvert grâce à de profondes entailles ; mais le paysage évolue alors par recul des entailles et une nouvelle génération de podzols à profil peu développé et à distribution lithodépendante apparaît aux bas des versants.

Lorsque le drainage général se ralentit et que les nappes ont tendance à remonter, une podzolization secondaire se surimpose au podzol géant au centre des plateaux.

Ces deux types d'évolution coexistent rarement dans un même secteur ; en général on observe soit une évolution soit l'autre. Ainsi à l'ouest de la zone étudiée il y a disparition de la couverture podzolisée ancienne et reconstitution d'une nouvelle couverture podzolisée à partir des entailles, à l'est par contre, les grands plateaux à podzols géants sont conservés et on assiste au développement de sols tourbeux. Cette opposition paraît liée à un basculement de l'ensemble de la grande péninsule ce qui provoque une isostasie positive à l'ouest avec reprise d'érosion et une isostasie négative à l'est avec une remontée des nappes.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 10 mai 1989

BIBLIOGRAPHIE

- BOULET (R.), CHAUVEL (A.) et LUCAS (Y.), 1984. — Les systèmes de transformations en pédologie. AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire : 167-179.
- Brésil, 1976. — Projeto Radambrasil : levantamento de Recursos Naturais, Folha NA-19, vol.11 : Pico da Neblina. Ministério das Minas e Energia, Departamento da Produção Mineral (Rio de Janeiro), 374 p.
- CECILIA MARTINS (F.), 1976. — Atlas géologique du monde, feuilles 4 et 5 : Amérique du Sud, 1/1000 000. UNESCO, Paris.
- CHATELIN (Y.) et MARTIN (D.), 1972. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X (1) : 22-43.
- Colombie, 1979. — Proyecto Radargramétrico del Amazonas, mapa geológico de la Amazonia Colombiana, Plancha n° 5. Comisaria de Guainia, Ministerio de Defensa Nacional, Instituto geografico « Agustín Codazzi », Bogota.
- DUBROEUCQ (D.) et BLANCANEUX (Ph.), 1987. — Les podzols du haut rio Negro, région de Maroa, Venezuela. Environnement et relations lithologiques. In « Podzols et podzolisation », D. Righi et A. Chauvel ed., AFES (Plaisir) - INRA (Paris) : 35-52.
- ESCHENBRENNER (V.), 1986. — Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. *Cah. ORSTOM sér. Pédol.*, vol. XXII (4) : 397-408.
- GAVAUD (M.), BLANCANEUX (Ph.), DUBROEUCQ (D.) et POUYLLAU (M.), 1986. — Les paysages pédologiques de l'Amazonie vénézuélienne. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXII (3) : 265-284.
- JEANROY (E.), 1983. — Diagnostic des formes du fer dans les pédogenèses tempérées. Evaluation par les réactifs chimiques d'extraction et apports de la spectrométrie Mössbauer. Thèse Doct. Univ., Nancy I, 157 p.
- LUCAS (Y.), BOULET (R.) et ANDRIEUX (P.), 1986. — Un système pédologique aval en Guyane Française. Organisation et fonctionnement hydrodynamique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXII (1) : 3-16.
- LUCAS (Y.), CHAUVEL (A.) et BOULET (R.), 1988. — 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.Sc. Paris*, t.306, sér. II : 1395-1400.
- LUCAS (Y.), BOULET (R.), CHAUVEL (A.) et VEILLON (L.), 1987. — Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. In « Podzols et podzolisation », D. Righi et A. Chauvel ed., AFES (Plaisir) - INRA (Paris) : 53-65.
- MENDOZA (V.), MORENO (L.), BARRIOS (F.) et RIVAS (D.), 1977. — Geologia de la parte Norte del Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Ve Cong. Geologico Venezolano. Ministerio de Energia y Minas, Sociedad venezolana de Geologos ed., Memoria I : 363-406.
- QUANTIN (P.) et BOULEAU (A.), 1983. — Détermination des constituants minéraux amorphes et crypto-cristallins d'andosols par l'analyse cinétique de leur dissolution par HCl et NaOH. *Science du Sol*, n° 3-4, AFES (Plaisir) : 217-234.
- RIGHI (D.), 1977. — Genèse et évolution des podzols et des sols hydromorphes des Landes du Médoc. Thèse Doct. ès Sc., Univ. Poitiers, 146 p.
- SCHWARTZ (D.), 1985. — Histoire d'un paysage : le lousseké. Paléo-environnement quaternaire et podzolisation sur sables Batéké (quarante derniers millénaires, région de Brazzaville, R.P. du Congo) Thèse Doct. Univ., Nancy I, 211 p.
- SCHWARTZ (D.), GUILLET (B.), VILLEMEN (G.) et TOUTAIN, 1986. — Les alios humiques des podzols tropicaux du Congo. Constituants, micro et ultra-structure. *Pédologie*, XXXVI (2) : 179-198.
- SEGALEN (P.), 1968. — Note sur la détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 6 : 105-126.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Mode d'humification et de différenciation podzologique dans deux séquences guyanaises. *Mém. ORSTOM* n° 84, 173 p.
- VEILLON (L.), 1984. — Etude tridimensionnelle d'un système de transformation en pédologie. AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire : 167-179.
- Venezuela, 1987. — Atlas del Inventario de Tierras del Territorio Federal Amazonas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Division de Suelos et ORSTOM, Caracas.

ANNEXE

Les formations végétales

(1) LA SAVANETTE, OU CAMPINA

Végétation d'arbustes sclérophylles à port de laurier. Ils peuvent atteindre 4 à 5 m et laissent des espaces où apparaît le sable blanc. Au sol poussent des lichens et des mousses ainsi que des Broméliacées et des Cypéracées dans les sites les plus humides. Nous avons relevé les espèces suivantes :

Clusia : *Clusia columnaris*

Carana : *Mauritia aculeata* (Palmae)

Seringueira : *Hevea rigidifolia*

(2) LA FORÊT CLAIRE SUR SABLE

Forêt moyenne (15 à 20 m de haut) comportant une majorité d'espèces sclérophylles. Arbres en perchis (tronc mince et long) avec quelques frondaisons dominantes d'environ 25 m et en général de *Eperua purpurea*. Espèces caractéristiques rencontrées :

Seingarana-folha-dobrada : *Micrandra sprucei*

Cunuri : *Cunuria crassipes*

Iebaro : *Eperua purpurea*

Tamaquaré : *Caraipa grandiflora*

Buriti : *Mauritia flexuosa* (Palmae)

(3) LA FORÊT HAUTE SUR SABLE

Forêt haute (25 à 30 m de haut). Arbres en fûtaie (tronc large et cône) à branches maîtresses ramifiées. Présence d'espèces sclérophylles mais dominance de *Eperua purpurea*. Espèces caractéristiques rencontrées :

Iebaro : *Eperua purpurea*

Seingarana-folha-dobrada : *Micrandra sprucei*

Iacano : *Eperua leucantha*

Uacu : *Monopterix uacu*

(4) LA FORÊT HAUTE DE TERRE FERME

Forêt haute avec des arbres émergents (25 à 30 m de haut). Arbres en fûtaie (tronc large et cône) à branches maîtresses ramifiées, certains présentent des contreforts. Absence d'espèces sclérophylles. Caractérise les sols argileux des collines. Espèces caractéristiques rencontrées :

Abiorana : *Pouteria* sp.

Urucurana : *Sloanea* sp.

Sorva : *Cuma guyanensis*

Carapanaua : *Aspidosperma carapanaua*

Uacu : *Monopterix uacu*

(5) LA FORÊT INONDÉE SUR SABLE

Forêt moyenne à haute (20 à 25 m de haut). Arbres pourvus de racines échasses et de port variable : perchis dans la strate moyenne, fûtaie dans la strate supérieure. Présence d'espèces sclérophylles et de nombreux palmiers. Espèces caractéristiques rencontrées :

Bussu : *Manicaria martiana* (palmae)

Pau amarelo : *Lissocarpa benthami*

Cunuri : *Cunuria crassipes*

Tamaquaré : *Caraipa grandifolia*

Asai : *Euterpe oleracea* (palmae)