

Transition sol ferrallitique-podzol : cas d'une terrasse sédimentaire de l'Ucayali (Pérou)

L. VEILLON (1), B. SORIA-SOLANO (2)

(1) ORSTOM, BP 165, 97323 Cayenne — (2) CIJH, Jenaro Herrera, Loreto, Peru

RÉSUMÉ

La couverture pédologique d'une unité de modelé caractéristique d'une zone destinée à l'utilisation agricole a été étudiée en coupes et en projections planes dans la région d'Iquitos au Pérou.

Les résultats de cette analyse tridimensionnelle peuvent s'expliquer par la transformation en cours d'une séquence ferrallitique en séquence podzolique. Cette transformation a lieu en plusieurs étapes, dont les principales sont une migration du fer en profondeur, un départ de l'argile et une redistribution plus profonde de la matière organique dans le profil.

Le développement de la séquence podzolique coïncide avec la présence d'un horizon d'aspect plus compact.

Une nappe fugace apparaît sur les horizons indurés du podzol, mais n'étant pas retenue par les horizons sableux de surface, s'écoule latéralement vers les thalwegs.

La végétation souffre alors d'un manque d'eau en saison sèche, ce qui explique le développement important d'espèces xérophytes au cœur de ces plateaux podzolisés.

Nous avons donc sur ce site un exemple de différenciation pédologique influant nettement sur le devenir du couvert forestier.

MOTS-CLÉS : Amazonie péruvienne — Analyse structurale — Podzol — Système de transformation — Sols ferrallitiques.

RESUMEN

TRANSICION SUELO FERRALITICO - PODZOL :

ESTUDIA DE LAS ESTRUCTURAS INTERMEDIARIAS VISTAS EN UNA TERAZA SEDIMENTARIA DEL UCAYALI (PERU)

La capa pédologica de una unidad fisiografica caracteristica de una zona dada al desarrollo agricola fue estudiada con mapas y planos en la zona de Iquitos (Peru).

Este analisis tridimensional nos a mostrado la transformacion en nuestro tiempo de un perfil ferrallitico en un perfil podzolico. Este cambio necesita en algunas etapas, que son principalmente un camino del fierro en la profundidad, una salida de arcilla y una redistribucion mas importante y mas noble de la materia organica.

El desarrollo del suelo podzolico coincide con la presencia en profundidad de un nivel mas compacto.

Una capa de agua aparece despues de las lluvias arriba de los niveles superficiales, sale en los lados hasta las quebradas de la unidad en poco tiempo.

La vegetacion sufre asi de una falta de agua importante, lo que explica la presencia de especies caracteristicas de clima seco.

Asi tenemos aqui a un ejemplo de una evolucion pedologica (de la cual no conocemos el origen exacto) que influye en el porvenir de la cobertura vegetal.

PALABRAS CLAVES : Amazonia peruana — Analisis estructural — Podzol — Sistema de transformation — Suelos ferralliticos.

ABSTRACT

TRANSITION FERRALLITIC SOIL-PODZOL :
STUDY OF THE INTERMEDIATE STRUCTURES OBSERVED IN UCAYALI SEDIMENTARY BANK (PERU)

A hill-pedological cover characterizing an agricultural aimed area was vertically and horizontally studied in the Iquitos region (Peru).

This three-dimensional analysis showed the actual transformation of a ferrallitic soil into podzolic soil. This transformation occurs in several stages, whose main are iron depth migration, clay loss and a deeper organic matter redistribution in the vertical soil section.

The podzolic soil development simultaneously occurs with presence of a compact deep horizon.

A temporary water-table appears upon the indurated podzol horizons, but, discharges into the talweg very shortly.

During dry season, the vegetation suffers from lack of water, what explains on the podzol center the important xerophytic species development.

Thus, we have, in this area, an example of pedological differentiation, perhaps of climatic origin, that flows into forest cover development.

KEY WORDS : Peruvian Amazonian — Structural Analysis — Ferrallitic soils — Podzol — Transforming system.

INTRODUCTION

L'association, sur une même unité de modelé, de podzols et de sols ferrallitiques a été étudiée par plusieurs auteurs dans la zone inter-tropicale : en Indonésie (BRABANT, 1986), au Brésil (LUCAS *et al.*, 1984), au Venezuela (DUBROEUCQ *et al.* 1986, GAVAUD *et al.* 1986), en Guyane Française (TURENNE 1977, BOULET *et al.* 1982b, LUCAS *et al.* 1986).

Dans certains cas, la transformation du sol ferrallitique en podzol a été démontrée. Selon les conditions, la podzolisation remonte des thalwegs vers les plateaux (comme ceux développés sur sédiment *Barreiras* à Manaus, LUCAS *et al.*, 1984) ou part au contraire du centre du plateau, progressant de manière centrifuge, pour transformer finalement la totalité de l'interfluve (ex. : les plateaux septentrionaux (BOULET *et al.* 1984) et les barres pré littorales (BOULET *et al.*, 1982b) en Guyane française).

Selon la granulométrie du matériau initial et la profondeur de la nappe, le podzol est plus ou moins épais (quelques mètres à quelques dizaines de centimètres), mais il apparaît toujours en un volume continu.

Le travail présenté ici est le résultat d'une mission effectuée au Pérou, dans la région d'Iquitos, au centre de recherches de Jenaro Herrera (C.I.J.H.), dans le cadre d'une convention IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana) - ORSTOM. Le CIJH est au cœur d'une zone de plateaux occupés par une association de podzols et de sols ferrallitiques. L'intérêt de ce site était double :

- la structure podzolique apparaît en plusieurs endroits séparés du plateau ;
- l'étalement de la transition entre les pôles ferrallitique et podzolique permet d'étudier distinctement chaque étape de ce passage.

1. OBJECTIF ET MÉTHODES

Cet article présentera les interprétations génétiques tirées de l'étude des organisations pédologiques et l'influence qu'ont eues les modifications du sol sur la végétation.

Après une exploration rapide, deux unités de modelé représentatives de la zone géomorphologique ont été choisies. Il n'a pas été possible de se limiter à une seule unité : la végétation du pôle podzolique n'existait plus à la suite de travaux sur la première unité ; le pôle ferrallitique était absent de la deuxième.

La couverture pédologique a été analysée selon les méthodes décrites par BOULET *et al.* (1982a et b). Des échantillons à structure conservée ont été prélevés en plusieurs endroits, pour être étudiés en microscopie. D'autres prélèvements ont été effectués pour analyses chimiques.

2. PRÉSENTATION DU SITE

Jenaro Herrera est un petit bourg situé à 200 kilomètres au sud-ouest de la capitale régionale Iquitos.

La zone d'influence du CIJH s'étend à l'est de l'Ucayali (l'Amazone) sur plus de 40000 hectares. Cette zone, qui à la forme d'un rectangle partant du fleuve pour s'enfoncer de vingt kilomètres dans la forêt, peut être divisée en quatre grands domaines géomorphologiques dont les frontières sont grossièrement parallèles au fleuve (cf. coupe, fig.1).

D'ouest en est, ces domaines sont :

- les terres inondées par le fleuve à chacune de ses crues ;
- la basse terrasse, qui n'est pas inondable directement

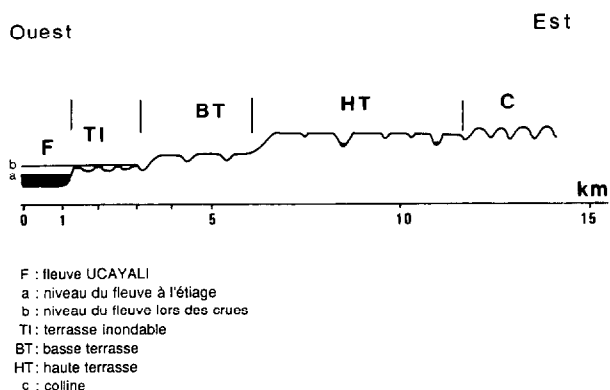
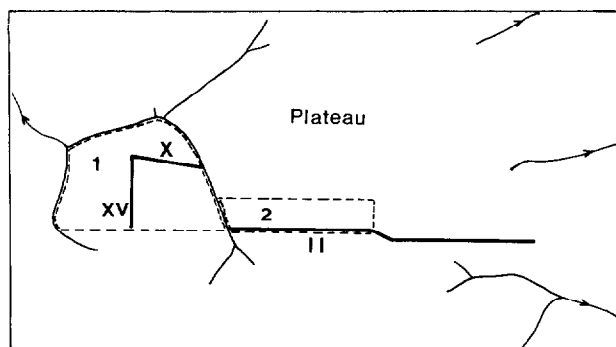


FIG. 1. — Coupe des unités géomorphologiques du CIJH

par le fleuve, mais dont le mauvais drainage des sols lui fait subir un régime de submersion annuelle ;
— la haute terrasse, plateau un peu plus élevé que le précédent, bien entaillé par un réseau hydrographique dense ;
— les collines basses, dont l'altitude moyenne est légèrement plus haute que celle de la haute terrasse et le relief beaucoup plus ondulé.

Les unités de modelé étudiées dans cet article représentent deux portions contiguës d'un même plateau de la haute terrasse (fig.2).



← Axe de drainage
1 : Première unité étudiée
2 : Deuxième unité étudiée
—X : Transect étudié
--- : Limite de l'unité étudiée

FIG. 2. — Schéma des deux unités de modelé étudiées

Chacun des domaines géomorphologiques définis correspond à peu près à une série géologique différente. La haute terrasse s'est formée sur un dépôt fluvio-alluvial du quaternaire ancien (série Ucayali), compor-

tant des sables, limons, argiles et conglomérats aréno-argileux issus de dépôts tertiaires (*pebas*) remaniés (ONERN, 1975).

Le climat est tropical humide, avec une saison plus sèche entre juillet et octobre, marquée par l'étiage de l'Ucayali. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 2900 mm. La température moyenne annuelle est de 26,4°C.

Le cœur du plateau est occupé par une végétation plus basse et rachitique qu'ailleurs, et constituée d'espèces xérophytes. Le bord du plateau est couvert par une forêt relativement dense dont une grosse proportion de palmiers hydrophiles (comme *Jessenia Bataua*). De même, les pentes menant aux axes de drainage ont une forêt dense et haute, mais les espèces sont plutôt caractéristiques de sols bien drainés (KAHN *et al.*, 1987).

La formation végétale du centre du plateau est localement appelée « Chamizal » et correspond, semble-t-il, aux campinas du Brésil (KLINGE, 1965 ; GAUVAUD *et al.*, 1986).

Le sol présentant une variation très importante sur le plateau, aussi bien latéralement que verticalement, nous commencerons sa présentation par la séquence verticale la moins contrastée, située sur la première unité de modelé (figure 3, transect X). Cette séquence présente des caractères de sol ferrallitique, ou d'acrisol orthique si on se réfère aux classifications Française et FAO. Nous terminerons par la séquence la plus différenciée (podzol, ou podzol orthique) qui se trouve sur la seconde unité de modelé.

3. LA SÉQUENCE D'HORIZONS FERRALLITIQUES

L'étude du sol ferrallitique va s'appuyer sur le transect X. Les horizons sont symbolisés sur les coupes par une ou plusieurs lettres, représentant les initiales des mots les plus importants de leur caractérisation (souvent la couleur, parfois la texture, ou des caractères annexes). Dans la suite de l'article, seuls les horizons A₂, Bh et Bfe dont la définition ne prête sur ce site à aucune confusion se réfèrent à une nomenclature officielle (CPCS, 1967).

3.1. Vue en coupe de la séquence ferrallitique : le transect X

3.1.1. DESCRIPTION

Sur le point le plus haut du transect (fig.4), sous une litière de feuilles décomposées, nous avons la succession d'horizons h/J/Or/R/RvG/GvR (h = humifère, J = Jaune, Or = Orange, R = Rouge, RvG = Rouge à volumes gris, GvR = Gris à volumes rouges).

La nappe d'eau générale de l'unité de modelé résidait dans l'horizon GvR durant toute la saison sèche et le début de la saison des pluies.

Plus à gauche de la coupe, l'horizon profond contient de nombreux volumes de fer oxydés rouges (GvR). A cet endroit, l'horizon le plus rouge R a disparu de la séquence. La transition entre les horizons homogènes supérieurs et l'horizon profond passe alors de RvG (fond 5YR) à OrvG (fond 7,5YR).

Vers l'aval de la coupe, on voit toujours en profondeur la disparition de l'horizon rouge R, conjointe à celle de l'horizon de transition RvG qui passe à OrvG. Mais à la différence du côté gauche, l'horizon jaune J cède la place à un horizon plus vert, Y (2,5 Y8/6).

Nous n'étudierons pas la différenciation aval de la couverture pédologique dans le cadre de cet article.

3.1.2. INTERPRÉTATION

Les quatre horizons supérieurs de la séquence (matière

organique MO, h, J, Or) sont à peu près parallèles à la surface du sol. Ils sont discordants sur la série des horizons de profondeur (R, RvG, RG, GvR).

Il est possible d'interpréter cette relation par le développement actuel (conforme à la topographie) de la série de surface aux dépens de la série de profondeur (correspondant éventuellement à une topographie différente).

3.2. Vue en plan des horizons de couleur homogène de la séquence ferrallitique (fig.5)

La figure 5 représente la projection sur le plan horizontal des limites des horizons (courbes d'isodifférenciation).

3.2.1. DESCRIPTION

Toutes les courbes d'isodifférenciation des horizons J

Légende simplifiée des horizons
(des descriptions complètes sont faites à l'occasion de l'étude des tranchées)

Séquence ferrallitique

MOR : mor
h : humifère brun jaunâtre SA
J : jaune 10YR8/6 à volumes biologiques plus sombres SA
Or : jaune rougeâtre 7,5YR6/8 SA-AS
R : jaune rougeâtre 5YR7/8 AS-SA
RG : juxtaposition de rouge jaunâtre 5YR6/8 et de brun très pâle 10YR8/3 SA-AS
RvG : transition en volumes interpénétrés de R à G
GvR : blanc 8/0 à volumes ferrugineux rouges
GvR : id GvR à très nombreux volumes rouges

Séquences intermédiaire

h' : humifère brun ombre S-SA
g : brun olive clair 2,5Y5/4, SA
jp : 2,5Y7/4, id J en plus pâle, SA
Y : 2,5Y8/6 : id J en plus vert, AS à SA
gs : brun 10YR5/3, S-SA
gc : brun très pâle 10YR7/3, S-SA. Consistance crémeuse
jvg : transition en volumes interpénétrés de J à G
OrvG : transition en volumes interpénétrés de Or à G
G : blanc 8/0 SA
Gqp : id. G, rares volumes jaune 10YR8/8
C : id. G, sec au toucher
Cqp : id. C, rares volumes jaune 10YR8/8
GvJ : id. GvR, à volumes ferrugineux jaunes 10YR
CvJ : id. GvJ, sec au toucher

Séquence podzolique

hs : humifère S
A2 : horizon A2 de podzol (sable blanc)
B_h : horizon B_h de podzol (sombre, parfois induré)
B_{fc} : horizon B_{fc} de podzol (brun rougeâtre, induré)
jvgB_{fc} : jvg localement induré

Séquence aval

hn : humifère brun très sombre SA
jtp : gris clair 10YR7/2 à nombreux volumes jaune brunâtre 10YR6/8, eau libre en saison des pluies
A2q : blanc 8/0 à taches brun pâle 10YR6/3, S, gorgé d'eau
B_hq : brun 10YR5/3, S ou SL, gorgé d'eau
Gbc : gris brunâtre clair 10YR6/2, SL
Gl : blanc 8/0 à bleuté (GY, G, Y), SA, gorgé d'eau, odeur H₂S (gley).

Les termes de couleur sont conformes à la charte MUNSELL. Les abréviations utilisées pour la texture sont S pour sableux, SA pour sablo-argileux, AS pour argilo-sableux, A pour argileux, SL pour sablo-limoneux. S-SA signifie entre sableux et sablo-argileux.

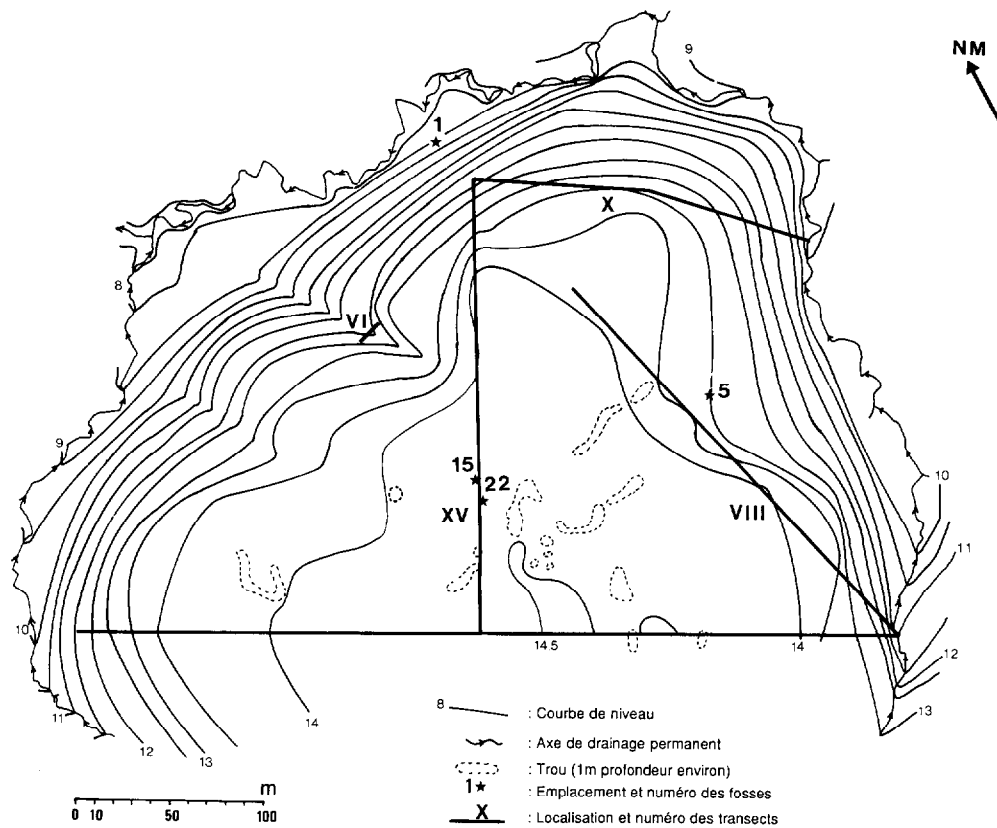


FIG. 3. — Géomorphologie de la première unité

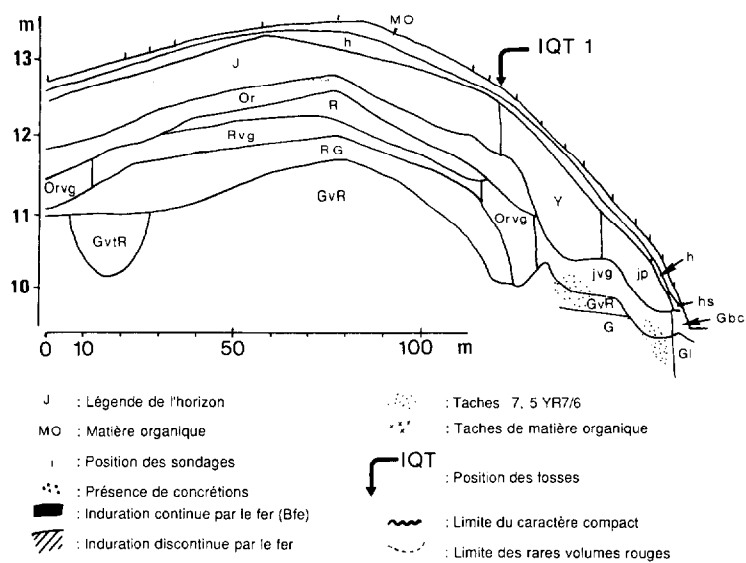


FIG. 4. — Coupe pédologique du transect X

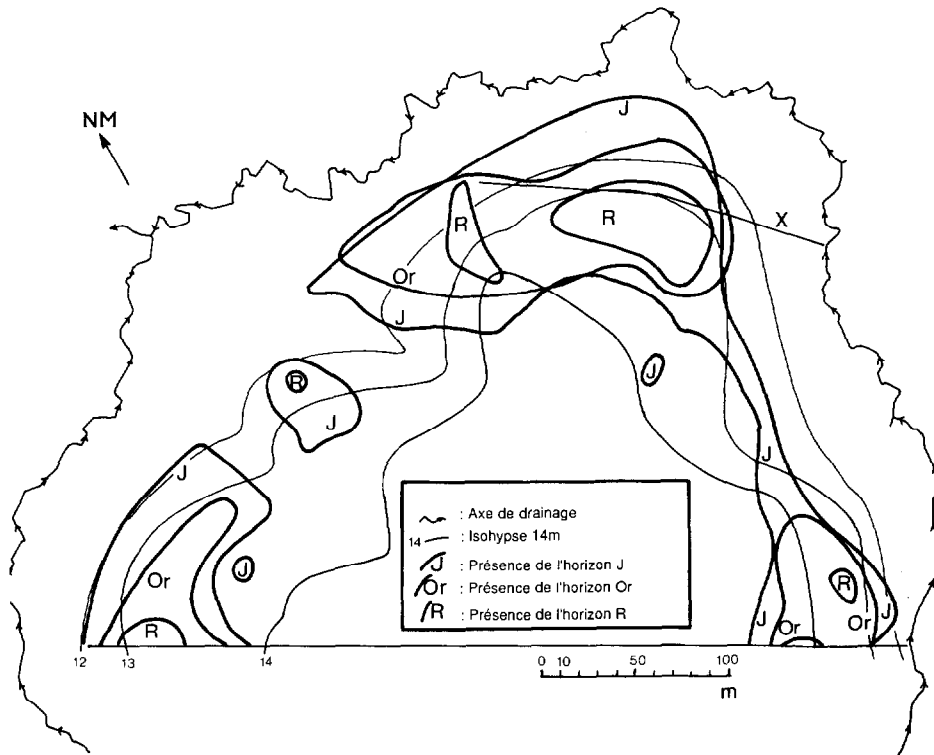


FIG. 5. — Vue en plan de la séquence d'horizons ferrallitiques

Or et R sont fermées et assez bien emboîtées les unes dans les autres. Elles sont regroupées en trois zones principales, deux petites sur la gauche de la figure (au nord) et une grande, très étirée, sur le haut et à droite de la figure (est et sud). Citons également deux minuscules surfaces contenant uniquement l'horizon jaune J, à l'ouest et à l'est de l'unité de modelé.

L'horizon R est à l'intérieur de Or, lui-même compris dans J. En comparant cette carte avec celle de la topographie (fig.3), nous voyons que les trois zones principales de séquence ferrallitique sont séparées par des thalwegs (cf. isohypses 14, 13 et 12m).

Les horizons orange Or et rouge R n'apparaissent qu'à chacune des extrémités de la zone est-sud, le plus étirée. L'horizon jaune J est présent sur toute cette zone, qui est très rétrécie à l'endroit où il est le seul horizon présent de la séquence ferrallitique. Une amorce de thalweg secondaire correspond à ce rétrécissement.

3.2.2. INTERPRÉTATION

La discordance entre les horizons supérieurs J/Or et l'horizon rouge R (décrite au paragraphe 3.1.1.) se traduit en plan par le fait que les courbes des horizons supérieurs débordent largement sur celles de l'horizon rouge R. Le débordement général de la courbe J sur

la courbe Or nous montre qu'une autre discordance existe entre l'horizon jaune J et l'horizon orange Or. Cet emboîtement inverse des courbes R, Or et J nous permet de supposer que *J se développe aux dépens de Or, qui lui-même se développe aux dépens de R.*

Chaque horizon se forme plus rapidement que celui qu'il surmonte puisqu'il le fait disparaître de l'aval vers l'amont.

3.3. Etude morphologique et analytique de la fosse IQT 1 (localisée sur la fig.4 et détaillée fig.6)

3.3.1. DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

— Horizons h, J et Or : structure entre grumeleuse et polyédrique angulaire fine pour h et J, franchement polyédrique pour Or ; les transitions entre horizons se font par coloration progressive du fond.

— Horizon R : jaune rougeâtre 5YR6/6 avec quelques volumes blancs 8/0 et des taches plus rouges (2,5 YR ou 10R) de plus en plus abondants en profondeur. Structure polyédrique fine. La terre colle au couteau.

On passe à GvR en dix centimètres, par interpénétrations de volumes blancs et rouges.

— GvR : blanc à volumes rouges ; polyédrique fine ; nombreux sables et micas ; la terre est moins collante qu'en R.

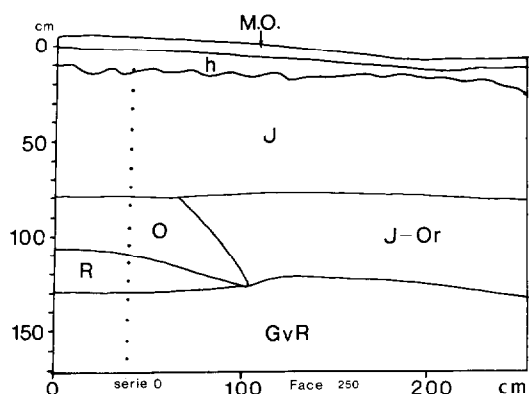


FIG. 6. — Fosse IQT 1

3.3.2. DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

Les horizons R et Or apparaissent très semblables en lumière transmise. Leur squelette est constitué essentiellement de quartz. Les sables fins sont abondants, les sables grossiers bien représentés. Tous les grains sont extrêmement corrodés (fractures, fissures, isthmes, presque nulle). Le plasma est beige orangé en lumière naturelle, et présente des séparations plasmiques autour des quartz et dans le fond matriciel lui-même. Les vides sont moyennement abondants, vacuolaires (centaine de microns de diamètre). On note la présence de grosses fissures, d'épaisseur demi-millimétrique. L'organisation générale est porphyrosquelique, à squelette abondant (BREWER 1964).

En lumière réfléchie, le fond matriciel de R apparaît plus coloré que celui de Or. Il y a légèrement plus de quartz grossier et présence de taches ferrugineuses rouges, infra-millimétriques, qui sont beaucoup moins abondantes en Or.

Le squelette de l'horizon J est identique en nature et en organisation à celui des horizons R et Or. Les grains sont très corrodés, même les plus petits. Par contre, le plasma est légèrement plus jaune, et le fond matriciel aggloméroplasmique (BREWER, 1964) : la porosité visible est beaucoup plus importante en J qu'en R et Or.

L'horizon profond GvR est assez différent : le squelette est principalement quartzueux, mais on note la présence de quelques muscovites, tourmalines et d'ilménites de 200 μm environ. Les quartz sont surtout grossiers : il y a peu de sable fin. Plusieurs grains, de forme arrondie, sont polycristallins : ils proviennent donc de filons, dont les fragments ont été émoussés lors du transport. La corrosion des grains est moins nette que dans les horizons supérieurs.

Le fond matriciel est porphyrosquelique. Le plasma

est hétérogène, beige pâle, silasépique (présence de quartz limoneux) et brun grisâtre, d'aspect lissé.

Des taches ferrugineuses ont un plasma orangé tout à fait semblable à celui des horizons R et Or. Ces taches auraient une organisation microscopique semblable à celle des horizons R et Or, si ce n'était leur pauvreté en sable fin.

De larges fissures (500 μm d'épaisseur) traversent le fond matriciel. Ces fissures sont identiques à celles qui recoupent les horizons R et Or.

3.3.3. RÉSULTATS ANALYTIQUES (fig.7) (correspondant à la ligne d'échantillons notée « série O » sur la figure 6)

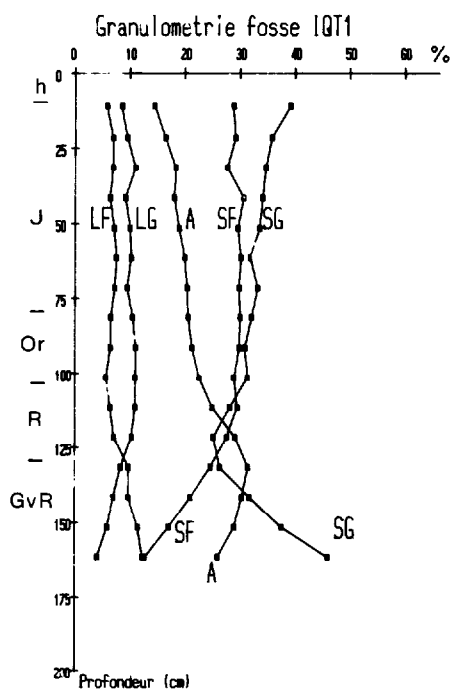


FIG. 7. — Profil granulométrique de la fosse IQT 1

Nous notons sur le profil granulométrique l'augmentation progressive de l'argile vers la profondeur jusqu'à la base des horizons colorés, pour atteindre plus de 30 % avant de décroître légèrement dans l'horizon profond GvR.

Dans les horizons supérieurs, le sable fin est équivalent aux sables grossiers, mais cette proportion change totalement dans l'horizon profond où la fraction grossière domine de plus en plus. A l'inverse des limons, où après une dominance des limons grossiers, ce sont les limons fins qui augmentent dans le niveau de base.

Le spectre de répartition des sables par classes granulométriques (fig.8) montre un affaissement rapide du

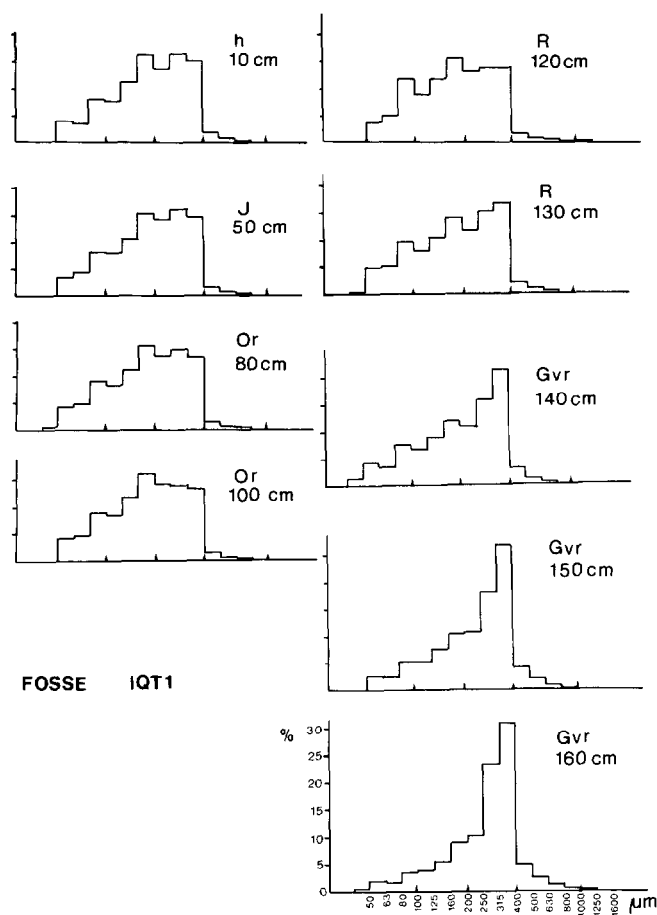


FIG. 8. — Spectre granulométrique des sables IQT 1

pic à 400 μm et le quasi-disparition des fractions supérieures à 800 μm de la profondeur vers la surface. Les fractions inférieures à 200 μm augmentent en proportion.

Le taux de fer est pratiquement constant (autour de 1 %) sur ce profil.

3.3.4. INTERPRÉTATION

L'horizon rouge R (5YR6/6) paraît se former à partir de l'horizon RvG par généralisation de la phase orangée, transformation qui s'accompagne d'un morcellement des quartz polycristallins et des autres minéraux hérités (développement de la fraction des sables fins au détriment des sables grossiers). La fraction argile augmente.

L'horizon Or se développe aux dépens de l'horizon R et l'horizon J aux dépens de Or avec emboîtement inverse des fronts : J déborde Or qui déborde R. Au total, la séquence J/Or gagne sur la séquence R/RvG/RG/GvR : il y a jaunissement. Ce phénomène s'accompagne d'un appauvrissement en argile et d'une augmentation de la porosité, en relation avec l'acquisition d'une structure micro-agrégée et une forte corrosion des sables quarteux.

Le jaunissement progresse à partir de la surface, la séquence MO/h/J est concordante avec la topographie. Latéralement, on constate qu'il est présent à l'amont en îlots (fig.6) mais n'apparaît pas dans les deux thalwegs secondaires (au nord). L'horizon jaune se rétrécit aussi dans l'esquisse de thalweg au sud. *Le jaunissement est donc pris de vitesse par d'autres évolutions qui s'expriment sur le plateau, ou en relation avec l'installation des thalwegs.*

4. TRANSITION VERS LE PODZOL

Le transect XV montre, sur 200 mètres de distance (fig.9), la différenciation suivante :

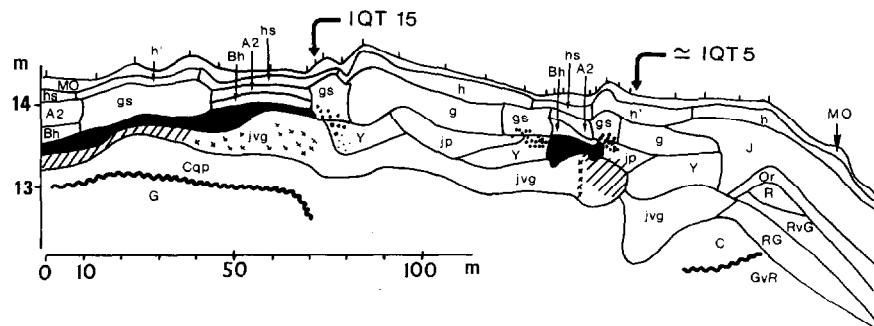


FIG. 9. — Transect XV

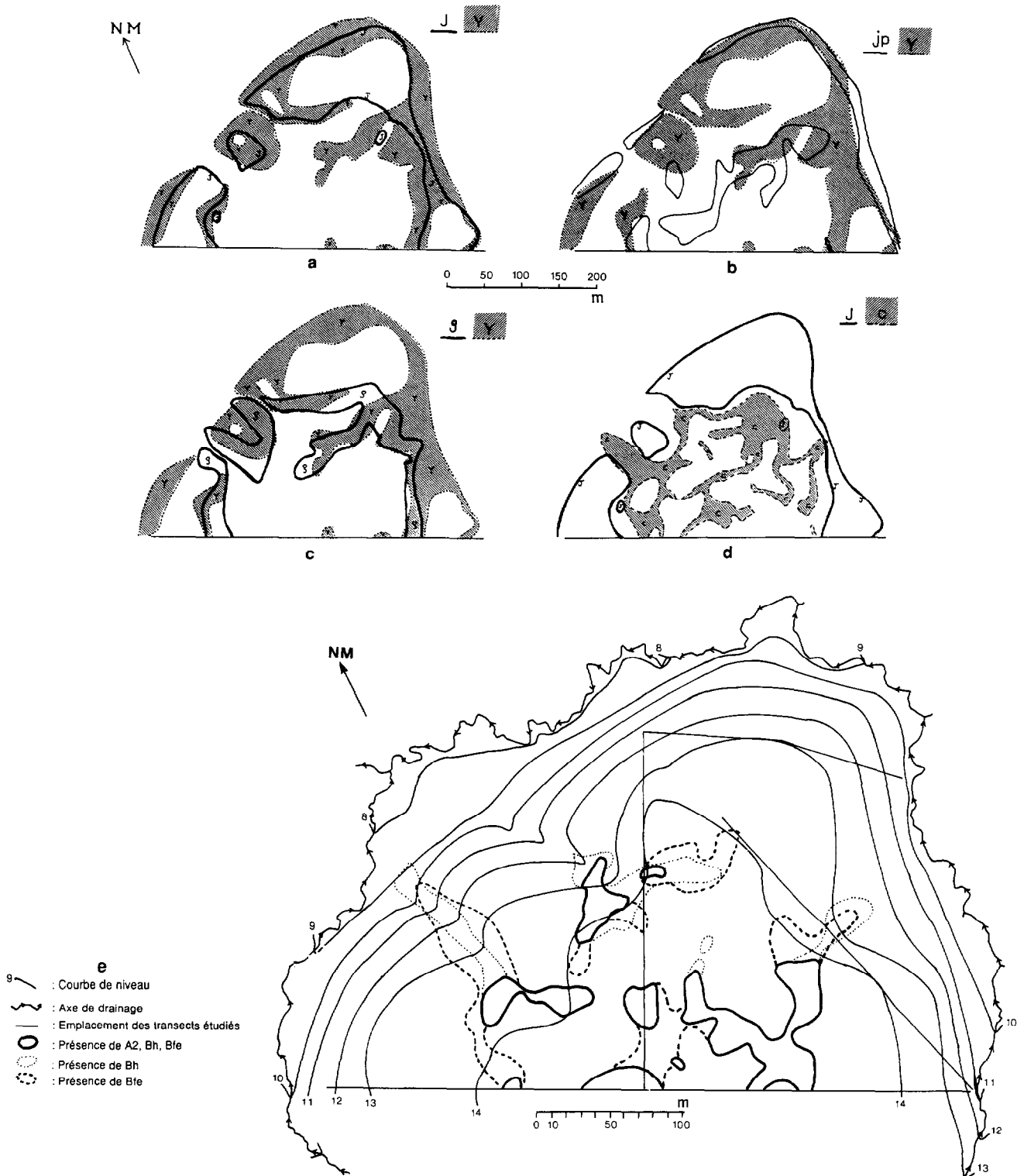


FIG. 10a. — Vue en plan des horizons Y et J. 10b. — Vue en plan des horizons Y et jp. — 10c. — Vue en plan des horizons g et Y. — 10d. — Vue en plan des horizons YJ et concrétions. — 10e. — Vue en plan des horizons du podzol

— sur le bord du plateau (à droite) la séquence verticale d'horizons h/J/Or/R, caractéristique du domaine ferrallitique (cf. paragraphe 3) ;
 — latéralement (vers le plateau, à gauche), la séquence h/J fait place à une séquence à caractère hydromorphe h/(g ou gs) (Y ou jp), qu'on appellera séquence intermédiaire, puis à hs/A2/B_h qui caractérise un podzol ;
 — plus loin, la séquence intermédiaire réapparaît (symétriquement), puis de nouveau la séquence podzolique, en deux endroits entre lesquels seule la paire A2/B_h est remplacée par l'horizon gs ;
 — en profondeur, la succession Or/R/RvG/RG fait place à l'horizon jvg. Simultanément l'horizon GvR passe à un horizon entièrement gris et nettement cohérent : c'est l'horizon C (« Compact »).

Ce transect met ainsi en évidence l'existence d'une **séquence intermédiaire** entre la séquence ferrallitique et la séquence podzolique.

4.1. Transformation de l'horizon jaune J par hydromorphie

Nous avons vu (fig.4) que l'horizon J(10YR7/6), témoin de la couverture ferrallitique en rebord de plateau, est relayé à l'aval par un horizon noté Y, jaune verdâtre 2,5Y8/6 argilo-sableux. Il en est de même à l'amont où apparaît un horizon Y surmonté d'un horizon g, brun olive-clair 2,5Y5/4. La figure 10a montre que Y déborde bien J à la fois à l'aval et à l'amont (double auréole), et que la disparition totale de J n'a lieu qu'au nord, sur le passage des deux thalwegs secondaires.

Ces relations spatiales sont en faveur d'une transformation de J en Y, progressant à la fois par voie centripète (depuis l'axe de drainage) et par voie centrifuge (depuis le centre du plateau) et se rencontrant parfois (les deux auréoles de Y sont par endroits coalescentes). La présence de Y en langue radiale en direction du centre du plateau, ainsi que de petites reliques de J (et de Y) témoignent de l'extension antérieure de J (et de Y) sur le sommet.

Plateau	Rebord	Aval
10% Arg. g 2,5Y5/4	---J-----> Y -----> jp 10YR7/6 2,5Y8/6 2,5Y7/4	
35% Arg. 2,5Y8/6 Y		

L'horizon g contient à sa base des concrétions centimétriques jaunes 2,5Y8/6 ou 10YR7/6, finement veinées de rouge (ferruginisation des fissures et des pores). Ces concrétions ont un aspect analogue (bien qu'étant beaucoup plus dures) à l'horizon Y.

La fosse 5 (localisée figure 3 et détaillée fig.11) est située sur un emplacement comparable du transect VIII. Son étude microscopique nous montre les caractères suivants :

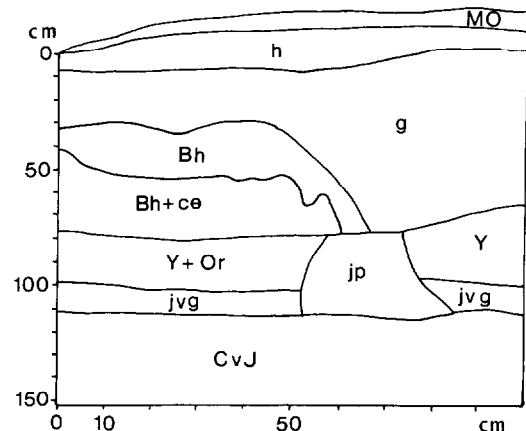


FIG. 11. — Fosse IQT 5

— L'horizon g a un squelette essentiellement quartzeux, constitué de sables fins nombreux et de sables grossiers plus disséminés. Le plasma est assez homogène, jaune. Le fond matriciel a une organisation très aérée (Euaulchitonic, selon STOOPS 1975) : le plasma entoure les grains de quartz ou se regroupe en boulettes d'une trentaine de microns de diamètre. Par endroits, le plasma a disparu et les grains sont empilés les uns sur les autres.
 — L'horizon sous-jacent (Y, dans le cas de la fosse 5) apparaît beaucoup plus hétérogène. Le squelette est quartzeux, avec quelques rares muscovites. Il y a moins de sables fins que dans g et à peu près autant de sables grossiers. Le plasma est jaune (comme celui de g) ou brun sombre dans des volumes millimétriques. Il y a des fissures larges, parfois bouchées par des domaines d'argile riches en limons quartzeux. On retrouve les traces d'anciennes racines, dont le conduit est obturé par ces domaines. Le fond matriciel est porphyrosquelique (BREWER, 1964).

— Les concrétions présentes à la base de g ont la même organisation que l'horizon Y. Mais leurs fissures sont entièrement remplies d'argile limoneuse (de même que les conduits racinaires), et les petits vides sont tapissés de cutanes rouge-orangé (ferruginisés).

Les concrétions apparaissent comme des reliques de l'horizon Y : l'horizon g, gris imprégné de matière organique (3 %), pauvre en argile (10 %) et en fer (moins de 1 %) transforme donc Y per descensum, par un double processus d'appauvrissement en argile et en fer. Ceci

montre l'existence de conditions hydromorphes à moyenne profondeur.

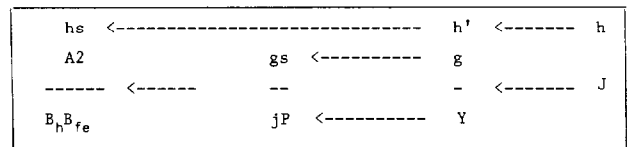
Nous voyons sur la figure 10b que g est associé à l'auréole interne de Y, qu'il déborde vers l'intérieur du plateau : on a alors la superposition g/jp. En effet, l'horizon jp, qui présente des caractères hydromorphes plus accentués, apparaît en relais de Y, aussi bien à l'aval que vers le centre du plateau (fig.10c). Il est remplacé par un horizon de gley à l'aval. Sur le plateau, il occupe la même langue radiale que Y, qu'il déborde par voie centripète.

La figure 10d montre que la zone où des concrétions s'individualisent à moyenne profondeur est inscrite sur le plateau dans l'auréole J, sans la pénétrer. Elle s'insère entre et autour des îlots de podzol (cf. paragraphe 42), d'où sa forme contournée. Ainsi, la distribution des concrétions, entre les reliques de sol ferrallitique et les îlots de podzol, identifie clairement l'hydromorphie comme une étape distincte de la transformation du sol ferrallitique en podzol.

4.2. Apparition de la séquence podzolique

Le transect de la figure 9 permet d'observer, en rebord de plateau, la transition de la séquence ferrallitique h/J/Or/R à une première différenciation podzo-

lique en îlot, passant par la séquence précédente g/Y :



Il apparaît ensuite d'autres îlots podzoliques séparés par la séquence de transition (g ou gs) / (Y ou jp)/jvg.

Le passage de g à gs est progressif et correspond à un assombrissement de la teinte, lié à une teneur plus élevée de matière organique (fig.12) ainsi qu'à une diminution du taux d'argile. g et gs contiennent des reliques de l'horizon Y sous-jacent, et en dérivent donc per descensum.

Le passage de gs à A2, qui a été étudié dans la fosse IQT 15 (fig.13), se fait en quelques décimètres par l'intermédiaire d'un horizon gc brun pâle (10YR6/3) et sableux. De plus :

- gs contient des volumes centimétriques plus clairs, analogues à gc (en macro et microscopie)
- gc contient des volumes décimétriques plus clairs, analogues à A2 (en macro et microscopie).

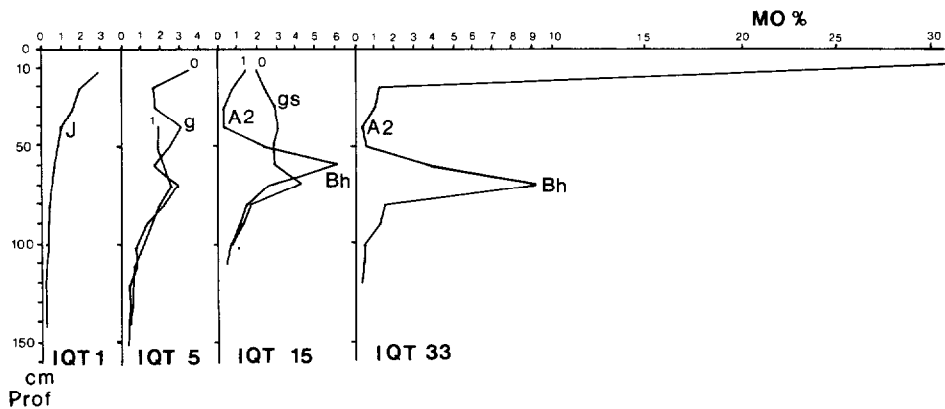


FIG. 12. — Taux de matière organique

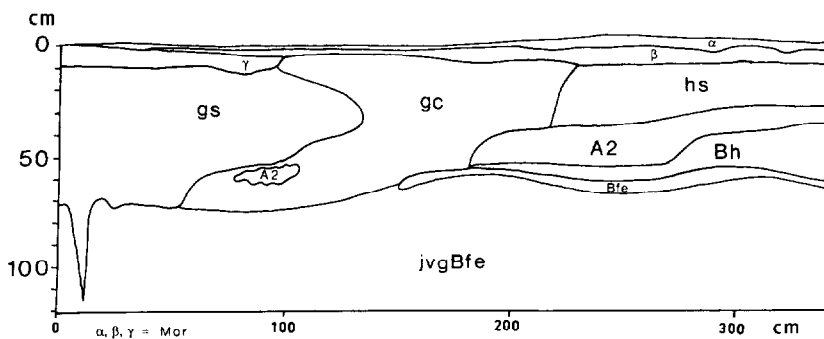


FIG. 13. — Fosse IQT 15

Cette séquence évoque donc un *processus de dégradation croissante des argiles, jusqu'à la podzolisation*. Parallèlement, le squelette résiduel se réorganise : les grains se resserrent les uns sur les autres.

Le transect de la figure 9 montre que les horizons A2 et B_h apparaissent simultanément (à l'échelle de la fosse IQT 15, sur la figure 13, on voit que A2 apparaît en biseau sous gc). Par contre, l'horizon B_{fe} débute plusieurs décimètres avant le couple A2/B_h du premier îlot podzologique, et il relie complètement les deux îlots suivants. La figure 10e présente en plan l'extension des îlots de podzol (séquence A2/B_h/B_{fe}) et séparément celle des horizons B_h et B_{fe}. On constate que les îlots de podzol sont de plus en plus coalescents vers le centre du plateau et qu'ils y sont reliés par leur horizon basal B_{fe}. De plus, les contours de l'horizon B_h débordent aussi les îlots de podzol, suivant des langues qui diffèrent souvent de celles de l'horizon B_{fe}. Par contre, le développement de l'horizon A2 est toujours lié à la présence, au-dessous, des horizons B_h et B_{fe} (à quelques décimètres près, comme nous l'avons vu dans la fosse (IQT 15).

Ainsi, les horizons de la séquence podzologique se forment dans l'ordre B_{fe}, B_h, A2 : B_h apparaît dans les mêmes sites que B_{fe}, mais s'étend latéralement d'une manière indépendante ; A2 est subordonné au développement des horizons B.

Trois des langues de B_h et B_{fe} suivent les thalwegs secondaires : ces axes de drainage ne fonctionnent qu'après des pluies importantes. Ils servent donc à l'évacuation de l'excès d'eau du plateau. En effet, nous avons pu observer une nappe perchée au-dessus des horizons B_{fe} et B_h. Cette nappe se maintient de quelques heures à quelques jours dans l'horizon blanchi du podzol. Une partie du fer et de la matière organique s'écoule par ces axes de drainage et se dépose plus à l'aval : la podzolisation s'étend ainsi le long de ces axes par voie centrifuge plus rapidement qu'ailleurs.

4.3. Hydromorphie à moyenne profondeur

Toujours sur le transect XV, en allant du bord du plateau vers le centre, la séquence d'horizons médiane du sol ferrallitique, à savoir Or/R/RvG/RG passe latéralement à un horizon bicolore jvg, brun très pâle 10YR8/4 à volumes centimétriques plus colorés 7,5YR (et à volumes plus sombres), légèrement induré et de teneur en argile croissante vers le bas. Cet horizon se maintient à la base du podzol, sous l'horizon B_{fe}. Il y est induré par des produits ferrugineux formant un réseau de veines (faces d'agrégats).

Le développement à moyenne profondeur de l'horizon jvg est associé à la présence, au-dessus, des horizons (g ou gs) / (Y ou jp). Nous avons vu que ces horizons

témoignent de conditions hydromorphes. Une partie du fer exporté de g et gs se retrouve en jvg.

4.4. Compacité et redistribution d'argile en profondeur

Un horizon compact (noté C) est présent à la base du podzol et du sol hydromorphe du plateau. Il est gris homogène 5Y8/2 à blanc 8/0, de texture argileuse (avec plus de sables grossiers que de sables fins), de structure polyédrique à sur-structure prismatique. La porosité visible y est faible et il n'y a pas de racines. Il est dur à sonder.

On l'observe en profondeur, apparaissant dès le bord du plateau et accompagnant toutes les transformations décrites plus haut.

L'étude micromorphologique montre qu'il a les mêmes caractères que l'horizon GvR observé dans la fosse IQT 1 : squelette de quartz grossiers et de muscovites, plasma hétérogène beige pâle et brun lissé, organisation porphyroscelique, fissures assez larges. La différence principale avec GvR vient des fissures, dont une majorité est obstruée par un fond matriciel à plasma beige pâle et riche en quartz limoneux ou fin.

Nous pouvons déduire de cette observation que l'horizon C, qui prend la suite de GvR (ou G) sur le plateau, en dérive par obstruction de la porosité. La descente d'un plasma argileux mélangé à des quartz très fins montre qu'il existe une redistribution notable de la phase solide sur le plateau.

4.5. La séquence latérale des horizons humifères (h/h'/hs)

En parallèle aux variations latérales des horizons médians et profonds, les horizons humifères se différencient : l'horizon h, brun jaunâtre (10YR5/4) sablo-argileux et à structure polyédrique fine du sol ferrallitique devient progressivement brun plus sombre et plus sableux (h') puis nettement sombre et sableux (hs) au-dessus du podzol. Il est alors surmonté de matière organique brute (MO).

Cette évolution des humus accompagne la transformation des horizons médians et de profondeur par hydromorphie puis podzolisation.

4.6. Conclusion

Les structures mises en évidence, du rebord vers le centre du plateau, conduisent d'une séquence verticale d'horizons à caractères ferrallitiques à une séquence podzologique. Cette dernière est présente en plusieurs îlots, de plus en plus coalescents vers le centre du plateau. Tous ces îlots sont entourés par la séquence intermédiaire, caractérisée en particulier par la présence d'un horizon compact profond, qui se maintient ensuite sous le pod-

zol. La séquence ferrallitique subsiste sur une couronne entourant le plateau, mais elle est recoupée par les thalwegs. Ces thalwegs permettent l'évacuation de l'eau du plateau, et constituent des axes par lesquels s'étend la podzolisation.

La différenciation latérale résulte d'une succession de transformations qui mettent en œuvre les processus suivants :

- jaunissement des horizons ferrallitiques rouges ;
- redistribution de fer s'exprimant par un bariolage de gris et de rouge-rouille, lié à des conditions rythmées d'oxydo-réduction (pseudo-gleification) ;
- induration localisée des parties enrichies en fer, impliquant des phases de dessiccation (concrétionnement) ;
- évolution concomitante des humus, qui fournissent les produits réducteurs et acides (acido-complexolyse) ;
- réduction généralisée en profondeur (gleification) ;
- redistribution verticale d'argile au profit de l'horizon compact prismatique basal (lessivage).

5. GÉNÉRALISATION DU PODZOL SUR LE PLATEAU

L'unité de modelé dont nous venons d'étudier la couverture pédologique représente une portion d'un grand plateau de quelques kilomètres, entaillé par plusieurs thalwegs (dont deux d'entre eux bordent l'unité de modelé). En s'avancant vers le cœur de ce plateau, on observe une généralisation du podzol : il n'y a plus de séquence intermédiaire et de séquence ferrallitique.

La végétation du plateau ayant été très perturbée dans l'axe de la première unité de modelé, nous avons dû choisir une seconde unité (localisée fig.2) pour analyser en détail la généralisation du podzol.

5.1. Vue en coupe : le transect II

Partant du thalweg (fig.14a), on rencontre successivement :

- un podzol de bas-fond, à A2 gorgé d'eau, sableux, blanc ;
- puis une succession d'organisations très sableuses et grises (gc, gs), et de podzols.

La topographie monte irrégulièrement à 14 m : à cet endroit, le podzol repose encore sur des horizons jaune pâle, indurés, jvg. En continuant vers le centre du plateau (fig.14b), l'altitude baisse et se stabilise à 13,80 m. le podzol repose alors directement sur l'horizon compact C. La nappe permanente, liée à l'axe de drainage, n'apparaît qu'à trois mètres de profondeur, un mètre sous la disparition du caractère compact.

Le Bfe est extrêmement dur à percer, comparé à celui des volumes de podzol précédents.

Enfin, le podzol se développe sur une distance beaucoup plus considérable que tout ce qui a été observé auparavant.

Une nappe perchée s'établit sur l'horizon compact C, envahissant le Bfe, le Bh et éventuellement A2 et hs. En saison sèche, cette nappe disparaît.

5.2. Etude en plan

Une bande de cinquante mètres de large a été cartographiée en courbes d'isodifférenciation (fig.15).

Nous y voyons la proportion importante de podzol. L'apparition de l'horizon blanchi A2 est ici toujours postérieure à la différenciation d'un Bh et d'un Bfe. Ces derniers sont parfois indépendants, sans doute pour des raisons de vitesses de migration conduisant selon la dynamique de l'eau à des déplacements différents du fer et de la matière organique.

Mais l'observation la plus intéressante réside dans la forme que prend le volume de podzol : on distingue assez nettement un réseau hiérarchisé qui sépare les îlots de podzol. Après les pluies, ce réseau, occupé par les horizons gs et gc de la coupe T II, est rempli d'eau, qui finit par s'évacuer latéralement vers les thalwegs principaux.

Vers l'aval, on distingue encore deux petits volumes d'horizon jaune pâle jp, ultimes reliques de la couverture ferrallitique initiale.

La podzolisation aboutit donc ici à son terme, avec le développement maximum d'îlots de podzol, tout juste séparés par le réseau d'évacuation de la nappe perchée. La topographie est alors presque rigoureusement plane.

Après les fortes pluies, l'extension de la nappe perchée est maximum. L'eau s'évacue en quelques jours dans les thalwegs. En saison sèche, le régime pluvial n'est plus suffisant pour alimenter cette nappe.

Les seules espèces qui subsistent sur ce milieu sont xérophytes. C'est ce paysage qu'on appelle localement le « chamizal ».

Il n'y a donc pas suffisamment d'eau retenue par le sable des horizons hs et A2 en saison sèche, lorsque la nappe perchée a disparu. Le Bh reste humide un peu plus longtemps mais n'est pas assez épais pour subvenir aux besoins des plantes. Les racines ne traversent pas l'horizon compact et ne peuvent donc pas utiliser l'eau de la nappe profonde.

6. INTERPRÉTATION - DISCUSSION

Selon les hypothèses avancées dans les paragraphes précédents, nous avons sur ce site un exemple d'évolution pédologique influençant la forêt et sa régénération. Cette évolution est expliquée sur les figures 16 et 17.

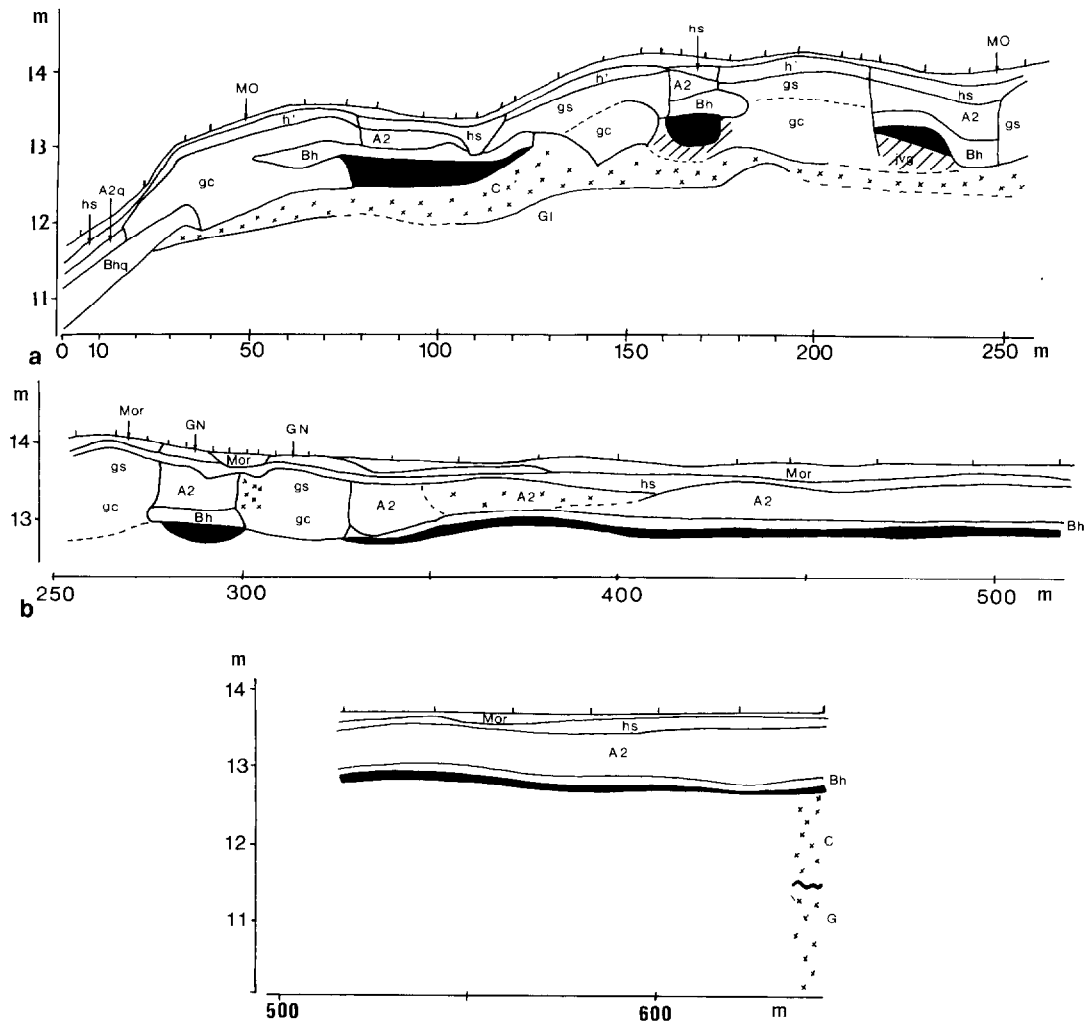


FIG. 14. — Transect II. b. — Transect II suite

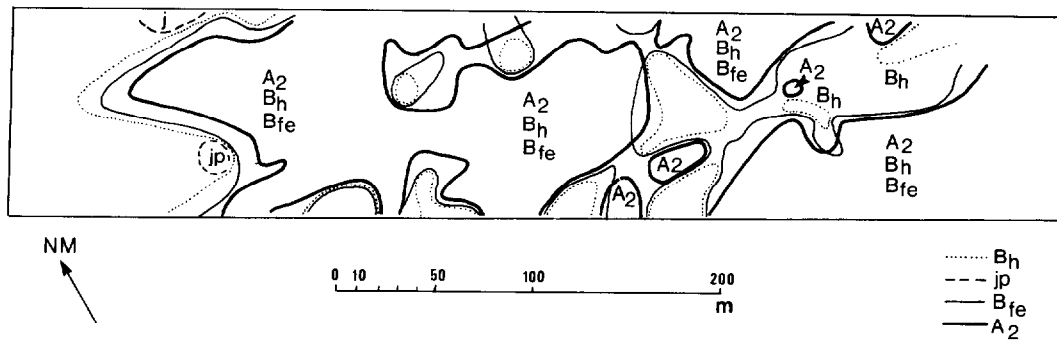


FIG. 15. — Vue en plan du podzol sur la seconde unité

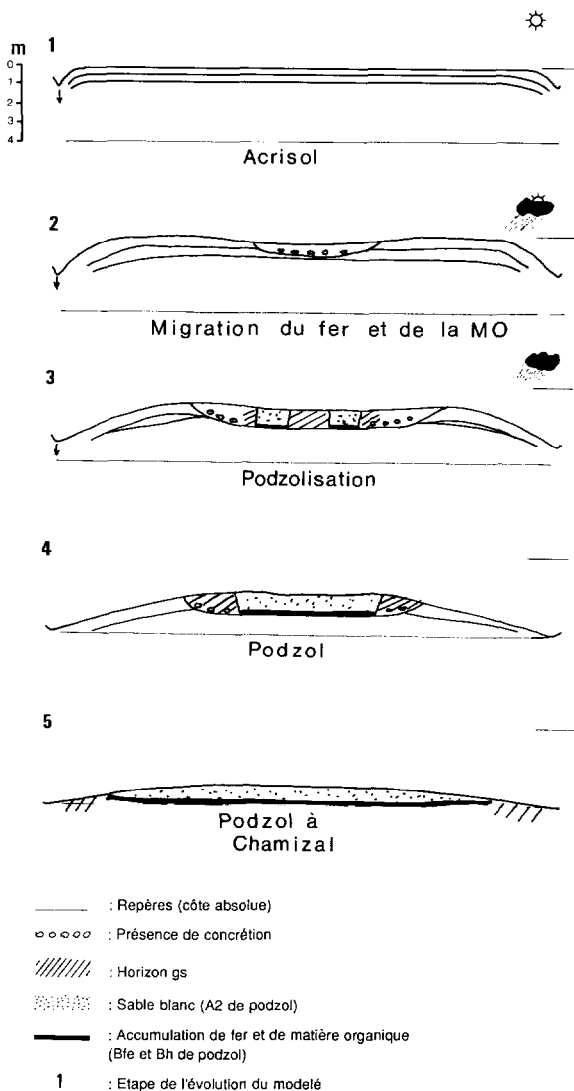


FIG. 17. — Evolution de l'unité de modelé au cours du temps

Le retrait du fleuve a découvert des sédiments d'âge de plus en plus récent en s'approchant de son lit actuel. La ferrallitisation étant le premier processus pédologique mis en œuvre sur ces sédiments, nous pouvons supposer qu'elle a été beaucoup plus développée sur les zones éloignées du fleuve. D'autre part, le réseau hydrographique a eu le temps de se mettre en place sur ces mêmes zones.

Si le climat devient plus humide, seules les zones à réseau hydrographique dense et à sols bien structurés permettent d'écouler l'augmentation des précipitations.

L'eau est rapidement drainée, et nous n'avons pas observé d'hydromorphie sur les quelques profils ferrallitiques que nous avons pu étudier à l'est du CIJH. Les conditions ne sont donc pas réunies pour voir le profil évoluer vers le podzol.

Par contre, plus près du fleuve, le réseau hydrographique est insuffisant : l'hydromorphie peut apparaître. Les horizons ferrallitiques Y sont mal structurés : l'argile et les limons migrent dans les fissures, obturent l'horizon profond et accentuent l'hydromorphie. La podzolisation peut commencer.

CONCLUSION

La répartition spatiale très étalée des organisations pédologiques jalonnant l'évolution podzolique du plateau permet de bénéficier d'un terrain idéal pour l'étude des relations sol-végétation. L'observation rapide de la végétation nous a montré une corrélation nette entre le pôle ultime de la différenciation pédologique (le podzol reposant directement sur l'horizon compact C) et la présence d'espèces xérophytes.

Il faut maintenant étudier plus précisément comment apparaissent ces espèces xérophytes, quels stades intermédiaires marquent éventuellement cette évolution.

L'influence de la podzolisation sur la morphologie mérite aussi d'être approfondie. Nous avons vu comment les axes de drainage secondaire participaient à l'extension latérale de la podzolisation. D'autres phénomènes de dissolution qui n'ont pas été décrits dans cet article ont également lieu sur le plateau. Des calculs de bilan de matière pourraient donner des indications sur le temps qu'il a fallu pour développer le podzol sur son périmètre actuel et sur la topographie initiale du plateau.

Le CIJH étant installé sur un sédiment d'âge relativement récent et n'ayant subi, semble-t-il, qu'un seul cycle de transformation pédologique, nous disposons là d'un système assez simple, permettant d'appréhender la formation d'un écosystème (sol-végétation) à partir du couple roche-mère-climat.

REMERCIEMENTS

La préparation de cet article doit énormément aux conseils de F.X. HUMBEL. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 16 février 1989

BIBLIOGRAPHIE

- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982a. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4 : 309-321.
- BOULET (R.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982b. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4 : 323-339.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), LUCAS (Y.), 1984. — Les systèmes de transformation en Pédologie. Livre Jubilaire du cinquantenaire 1934-1984. AFES ed. : 167-180.
- BRABANT (P.), 1986. — La répartition des podzols à Kalimantan (Ile de Bornéo). *Podzols et podzolisation*. Ed. Righi et A. Chauvel. C.R. de la table ronde internationale des 10 et 11 avril 1986. AFES et INRA, Plaisir et Paris, 1987 : 13-24.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. New York : John Wiley and sons. 470 p.
- GAVAUD (M.), BLANCANEUX (P.), DUBROEUCQ (D.), POUYLIAU (M.), 1986. — Les paysages pédologiques de l'Amazonie vénésoélienne. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXII, n° 3, 1986 : 265-284.
- DUBROEUCQ (D.), BLANCANEUX (P.), 1986. — Les podzols du haut Rio Negro, région de Maroa, Venezuela. Environnement et relations lithologiques. *Podzols et podzolisation*. Ed. D. Righi et A. Chauvel. C.R. de la table ronde internationale des 10 et 11 avril 1986. AFES et INRA, Plaisir et Paris, 1987 : 37-52.
- KAHN (F.), VEILLON (L.), MELIZ (K.), 1987. — Les palmiers en Amazonie Péruvienne. A paraître.
- KLINGE (H.), 1965. — Podzol Soils in the Amazon Basin. *J. of soil sc.*, 16 : 95-103.
- LUCAS (Y.), CHAUVEL (A.), BOULET (R.), RANZANI (G.), SCATOLINI (F.), 1984. — Transição latossolos-podzols sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 8 : 325-335.
- LUCAS (Y.), BOULET (R.), CHAUVEL (A.), VEILLON (L.), 1986. — Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. *Podzols et podzolisation*. Ed. D. Righi et A. Chauvel. C.R. de la table ronde internationale des 10 et 11 avril 1986. AFES et INRA, Plaisir et Paris, 1987 : 53-65.
- ONERN, 1975. — Inventario, evaluacion e integracion de los recursos naturales de la zona Iquitos, Nauta, Requena y Colonia Angamos. Ministerio de la agricultura y de los recursos naturales. Lima, Peru.
- STOPPS (G.), JONGERTUS (A.), 1975. — Proposal for a micro-morphological classification of soil material. I. A classification of the related distribution of fine and coarse particles. *Geoderma*. Vol. 13, n° 3 : 189-200.
- TURENNE (J.F.), 1977. — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Mémoire ORSTOM*, n° 84.