

Présentation de quelques systèmes de sols observés au Brésil

François SOUBIÈS, Armand CHAUVEL

ORSTOM — UR 605 et Instituto de Geociencias, USP, Sao Paulo, Brésil

RÉSUMÉ

Des systèmes de sols ont été reconnus et étudiés au Brésil, par plusieurs auteurs, durant les dernières années. Ils sont localisés sous des climats très divers (tropical d'altitude, semi-aride, subéquatorial) et sur des roches mères variées (basaltes, gneiss, calcaires, formations détritiques diverses). Chacun de ces systèmes est caractérisé par un type d'organisation et une dynamique propre. Les différences ou ressemblances portent, en particulier, sur l'importance des transferts latéraux internes et sur l'état et la nature des produits transportés. Une grande partie des processus pédogénétiques connus se trouve impliquée dans l'évolution de ces systèmes.

MOTS-CLÉS : Brésil — Sols ferrallitiques — Systèmes de sols.

RESUMO

APRESENTAÇÃO DE ALGUNS SISTEMAS DE SOLOS OBSERVADOS NO BRASIL

Nesses últimos anos diferentes « sistemas » de solos foram reconhecidos e estudados no Brasil por diversos autores. Aham-se localizados sob diferentes tipos de clima (tropical de altitude, semi-árido, subequatorial) e desenvolvidos sobre vários tipos de materiais (basaltos, gnaisses, calcários, formações detríticas diversas). Cada um destes sistemas é caracterizado por um tipo de organização e uma dinâmica própria. As diferenças ou semelhanças referem-se em particular, a importância das transferências laterais internas e ao estado e a natureza dos produtos transportados. Uma grande parte dos processos pedogenéticos conhecidos estão relacionados à evolução destes sistemas.

PALAVRAS CHAVES : Brasil — Latossolos — Sistemas dos solos.

ABSTRACT

STUDY OF A FEW SYSTEMS OBSERVED IN BRAZIL.

Soil systems have been identified and studied by several authors in Brazil since the last years. They are situated under extremely various climatic conditions (high-altitude tropical, semiarid, subequatorial) and on diversified mother rocks (basalts, gneiss, limestones, various detrital formations). Each of these systems is characterized by a type of organization and a specific dynamic. The differences or similarities lie mainly on the importance of the internal lateral transfers and on the type of the products transported. A large amount of the pedogenetic processes known is involved in the evolution of these systems.

KEY WORDS : Brazil — Ferrallitic soils — Soil systems.

INTRODUCTION

Les travaux réalisés au Brésil, ces dix dernières années, par plusieurs équipes franco-brésiliennes auxquelles participent des pédologues de l'ORSTOM, ont permis d'identifier dans diverses régions de ce pays (Amazonie, Nordeste, Sud) différents systèmes de sols en cours d'activité. Par « système de sols » nous entendons : tout ensemble structuré de volumes pédologiques correspondant à des séquences d'organisations élémentaires, ordonnées dans l'espace et dans le temps. Lorsque ces organisations élémentaires se développent en discordance sur celles d'une couverture initiale et se propagent latéralement aux dépens de celle-ci, le système peut être qualifié de « système de transformation » (BOULET *et al.*, 1984). Partout où l'on a pu (ou su) identifier de tels systèmes et essayer d'analyser leur fonctionnement, on s'est aperçu qu'ils jouaient un rôle essentiel dans l'élaboration et l'évolution des couvertures pédologiques et des paysages de vastes régions. La recherche et la caractérisation de ces systèmes n'en est qu'à son début. On conçoit cependant que leur connaissance présente un grand intérêt, puisqu'elle nous informe sur les relations génétiques et fonctionnelles qui

existent entre les différents volumes constituant la couverture pédologique.

Nous avons regroupé ici, en les résumant, les résultats provisoires de différentes études de ce type, inégales quant à leur degré d'avancement, menées indépendamment les unes des autres, en différentes régions du Brésil (fig.1). Les systèmes que ces travaux ont permis d'identifier se développent sur des substrats et sous des climats très variés et mettent en jeu la plupart des processus pédogénétiques connus : l'hydrolyse sous de multiples formes (xérololyse, ferrololyse, acido-complexolyse, salinolyse), la dissolution, l'oxydoréduction alternante, la ferritisation des argiles, le lessivage, etc. (MELFI et PEDRO, 1977-78).

Nous décrivons tout d'abord deux systèmes incomplètement connus, observés dans la vallée du Paramirim à l'ouest de l'Etat de Bahia, systèmes qui, sous un climat tropical à longue saison sèche, transforment une couverture latosolique formée sur des gneiss. Nous évoquerons ensuite des systèmes de sols sur calcaire observés également dans l'ouest de l'Etat de Bahia (Irecê) mais fonctionnant sous un climat plus aride. Nous résumerons enfin les résultats d'études plus détaillées et déjà publiées concernant deux systèmes de sols du bassin

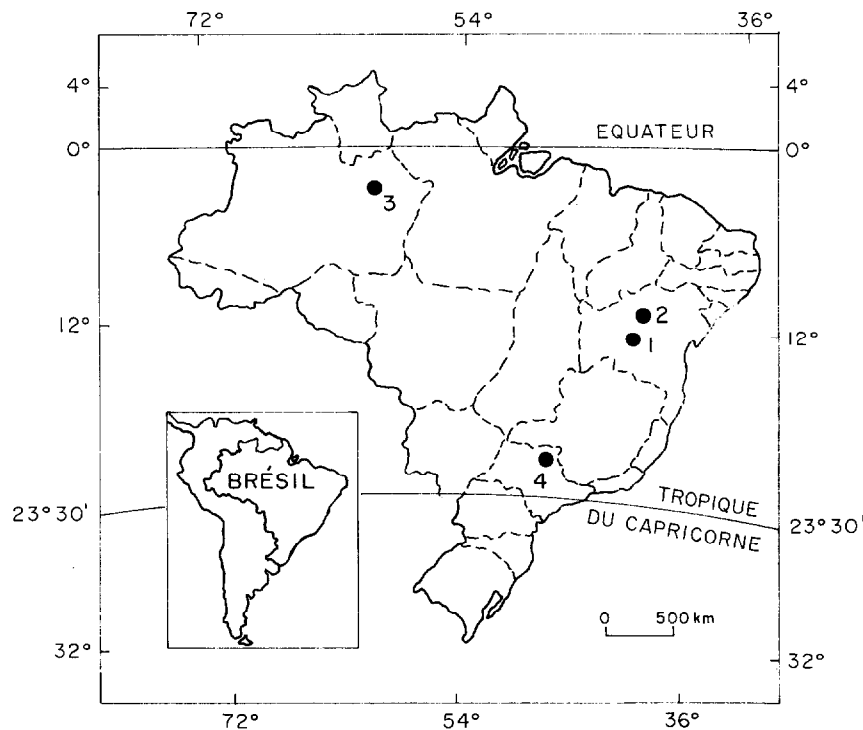


Fig. 1. — Localisation des systèmes de sols.

1 : Paramirim, 2 : Irecê, 3 : Manaus, 4 : Ribeirão Preto.

amazonien et de l'Etat de São Paulo, l'un (Manaus) sur sédiments meubles et sous climat subéquatorial, l'autre (Ribeirão Preto) sur basalte et sous climat tropical d'altitude.

Cette présentation est volontairement limitée aux seuls systèmes dont les auteurs ont eu une connaissance directe.

D'autres systèmes de sols, dont nous n'ignorons pas l'existence mais qui sont en cours d'étude (CASTRO, 1985 par exemple), ne seront donc pas traités ici.

1. SYSTÈMES « LATOSOLS — SOLS LESSIVÉS HYDROMORPHES » SUR GNEISS MIGMATITIQUES DANS LA VALLÉE DU PARAMIRIM, BAHIA (CHAUVÉL A. *et al.*, 1981 ; SOUBIÈS F. *et al.*, 1983 ; SOKOLONSKI H.H., 1985) (1)

Dans l'ouest de l'Etat de Bahia, à proximité du rio São Francisco, le « Vale do Paramirim » constitue un vaste alvéole d'érosion entaillant jusqu'au socle cristallin archéen des métasédiments plus récents. Des couvertures pédologiques complexes constituées, principalement, par une association de « latosols » et de divers sols lessivés hydromorphes peuvent y être observés (EMBRAPA, 1977-79).

Les données relatives au milieu naturel de cette région sont regroupées dans le tableau I. Le climat de type tropical à longue saison sèche, est proche du pôle semi-aride. L'écoulement des axes de drainage est intermittent. La végétation est une steppe arbustive à épineux (« caatinga ») passant localement à la forêt sèche. Les roches mères des sols correspondent principalement à des gneiss, migmatites et granites. Par place, quelques lambeaux de métasédiments ayant échappé à la granitisation peuvent aussi être rencontrés : amphibolites, calcaires, dolomites, quartzites, itabirites, micaschistes, etc.

Deux grandes unités se partagent un paysage faiblement ondulé : d'une part des plateaux réguliers à pente douce (glacis) se raccordant çà et là à quelques reliefs résiduels de faible expression ; d'autre part des vallons ou de vastes dépressions à fond plat qui dissèquent ces glacis en une multitude de lambeaux. La dénivellée est généralement faible (5-10 m) entre les deux unités ; le passage de l'une à l'autre peut se faire soit de façon progressive, soit par une petite rupture de pente.

Les plateaux sont le domaine de sols rouges à jaune-rougeâtre, pulvérulents, relativement profonds, catalogués comme « latossolos » ou « solos podzolicos » par l'EMBRAPA. Ces sols sont proches des « oxisols » de la classification américaine (U.S.D.A., 1975) et, selon

leurs caractéristiques locales (teneur en illite, activité de l'argile, rapports Lf/A, Fe/F_e tot., ...), pourraient être classés soit comme « ferrugineux tropicaux peu lessivés », soit comme « ferrallitiques » dans la classification française (C.P.C.S., 1967). Une nappe de matériaux grossiers (nodules ferrugineux, lithoreliques) est très généralement présente en profondeur ; cette nappe est autochtone de même que, dans une large mesure, son recouvrement meuble (SOUBIÈS *et al.*, 1983). Les vallons et leurs abords immédiats sont occupés par différents types de sols lessivés profondément marqués par une hydromorphie temporaire : sols sableux nodulaires, voisins des « ferrugineux tropicaux lessivés » africains ; planosols, solonetz solodisés, accumulations sableuses résiduelles.

Le passage des latosols aux sols lessivés a pu être étudié, dans une première approche, dans deux séquences implantées en bordure d'axes de drainage. Ces deux séquences dénommées « Riacho Panasco » et « Morro do Calcário » sont représentées sur les figures 2 et 3. Dans l'un et l'autre cas, l'ensemble des données analytiques et les résultats des analyses macro et micromorphologiques montrent que le passage du latosol au planosol (« laterita hidromórfica » du Riacho Panasco) ou à une accumulation sableuse (« areia quartzosa » du Morro do Calcário) ne peut s'expliquer par de simples phénomènes de troncature par érosion suivis de dépôt : il résulte, principalement, de *processus de transformation interne* de la couverture pédologique commandés par des *conditions hydrodynamiques* particulières.

Séquence du « Riacho Panasco » (fig.2)

Dans cette séquence, un véritable « *front d'hydromorphie* » discordant sur l'ensemble des horizons du domaine latosolique amont, induit une transformation en masse des matériaux microagrégés.

Au niveau et en aval de ce front, une sursaturation hydrique temporaire associée à des processus d'oxydo-réduction alternante provoque vraisemblablement la disjonction et la mobilisation du fer et de l'argile étroitement associés, au départ, dans les microagrégats du latosol de l'amont.

De nouvelles structures et, en particulier, une nouvelle porosité, tubulaire, grossière, subhorizontale, se créent à ce niveau où le drainage interne devient oblique.

Une partie de l'argile mobilisée est exportée et, probablement, aussi détruite par des processus de « ferolyse » (BRINKMAN, 1970 ; CHAUSSIDON et PEDRO, 1979 ; MORRAS, 1979 ; ESPIAU et PEDRO, 1983) ; une autre partie vient se déposer (cutanes de colmatage) au niveau d'un Bt qui s'individualise rapidement.

(1) Etudes réalisées avec les concours de : CNPq, C^{ia} « Mineração Boquira S/A », Uf.B.A. et Instituto de Geociências da USP.

TABLEAU I

Principales données sur les milieux naturels correspondant aux différents systèmes étudiés.

SYSTEMES	PARAMIRIM	IRECE	MANAUS	RIBEIRO PRETO
LOCALISATION	42-43° ouest ; 12-14° sud 500 km Ouest Salvador et 100 km est Rio São Francisco	42° ouest ; 11° sud 450 km nord-ouest Salvador	60° ouest et 2°30' sud 60 km nord Manaus	48° ouest ; 21° sud 320 km nord-nord ouest São Paulo
ROCHES MERES	Gneiss du protérozoïque inférieur ou archéen dans les deux séquences. En amont de la séquence "Morro do Calcario" affleure un lambeau de métasédiments (amphibolites, calcaires, quartzites)	Calcaires épicontinentaux du protérozoïque supérieur : soit très plissés et feuilletés soit peu plissés	Formations détritiques continentales tertiaires ("grupo Barreira") subhorizontales : arénites, argilites et conglomérats, généralement mal classés et faiblement stratifiés	Nappe basaltique du crétacé inférieur. Basalte amygdaloïdal à forte teneur en produits vitreux
GEOMORPHOLOGIE	Alvéole d'érosion (50 x 150 km), drainé par un affluent rive droite du São Francisco. Paysage faiblement ondulé (Alt. moy. 500m) avec quelques reliefs résiduels. Bordure montagneuse (Alt. 900-1000 m)	Vaste plateau karstique (Alt. 700-800 m), parsemé de dolines et vallées sèches peu profondes	Plateau très régulier (Alt. 150 m) disséqué par des vallées à fond plat séparant des interfluves tabulaires	Grandes surfaces tabulaires et buttes témoins (Alt. 700-800 m) dominant un paysage mollement ondulé (500-600 m)
VEGETATION	Steppe arbustive à épineux ("caatinga hipoxerofila" dans la vallée du Paramirim et "hiperxerofila" sur le plateau d'Irecê), avec quelques taches de forêt sèche ("floresta estacional decidual"). Ensemble dégradé par l'occupation humaine (pâturages)		Forêt dense tropicale, non dégradée	Végétation primaire : forêt tropicale semi-décidue et savanes. Ce couvert végétal a presque entièrement été éliminé par l'homme (culture du café puis de la canne à sucre)
CLIMAT	<ul style="list-style-type: none"> - Climat de transition entre tropical sub-humide et semi-aride, la tendance semi-aride dominant - Temp. moy. annuelle = 23°C - Pluviosité moy. annuelle = 700 mm - Bilan hydrique (*): ETP = 1100 mm ; Déficit = 400 mm ; Drainage = 0 ; P < ETP : 7 mois (avril-octobre) - Sécheresse écologique : 5 à 6 mois (mai - sept/oct) - Extrême irrégularité des pluies (1100 mm à 400 mm) dont 50 % se trouvent en dessous de la moyenne sur 50 années de mesure 	<ul style="list-style-type: none"> - Franchement semi-aride - Temp. moy. annuelle = 23°C - Pluviosité moy. annuelle = 525 mm - Pluviosité très irrégulière comme dans le Paramirim 	<ul style="list-style-type: none"> - Subéquatorial (tropical humide avec petite saison sèche). Le vrai régime équatorial (pas de saison sèche) est très proche, au nord-ouest. - Temp. moy. annuelle = 26°C - Pluviosité moy. annuelle = 2186 mm - Bilan hydrique (*): ETP = 1664 mm ; Déficit = 285 mm ; Drainage = 807 mm ; P < ETP: 4-5 mois - Sécheresse écologique : 1 à 2 mois (août-sept.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tropical d'altitude - Temp. moy. annuelle = 21°6 C - Pluviosité moy. annuelle = 1416 mm - Bilan hydrique (*): ETP = 1065 mm ; Déficit = 108 mm ; Drainage = 459 mm ; P < ETP : 6 mois (avril-sept.) - Sécheresse écologique : 4 mois (juin-sept.)
SOLS (* *)	"Latossolos" ou "Solos podzolicos" principalement. Aussi : "planossolos" et "areias quartzosas"	"Cambissolos eutroficicos" de différentes textures, vertiques ou non, associés parfois à : vertisols, rendzines et sols lithiques	"Latossolos amarelos alicos" "Solos podzolicos" Podzols	"Latossolos roxos"

(*) Selon THORNTHWAITE et MATTER (1965).

(**) Unités principales cartographiées dans les secteurs étudiés.

Références : RADAMBRASIL (1976, 78,82) ; EMBRAPA/SNLCS (1977, 79) ; OLIVEIRA et al. (1984).

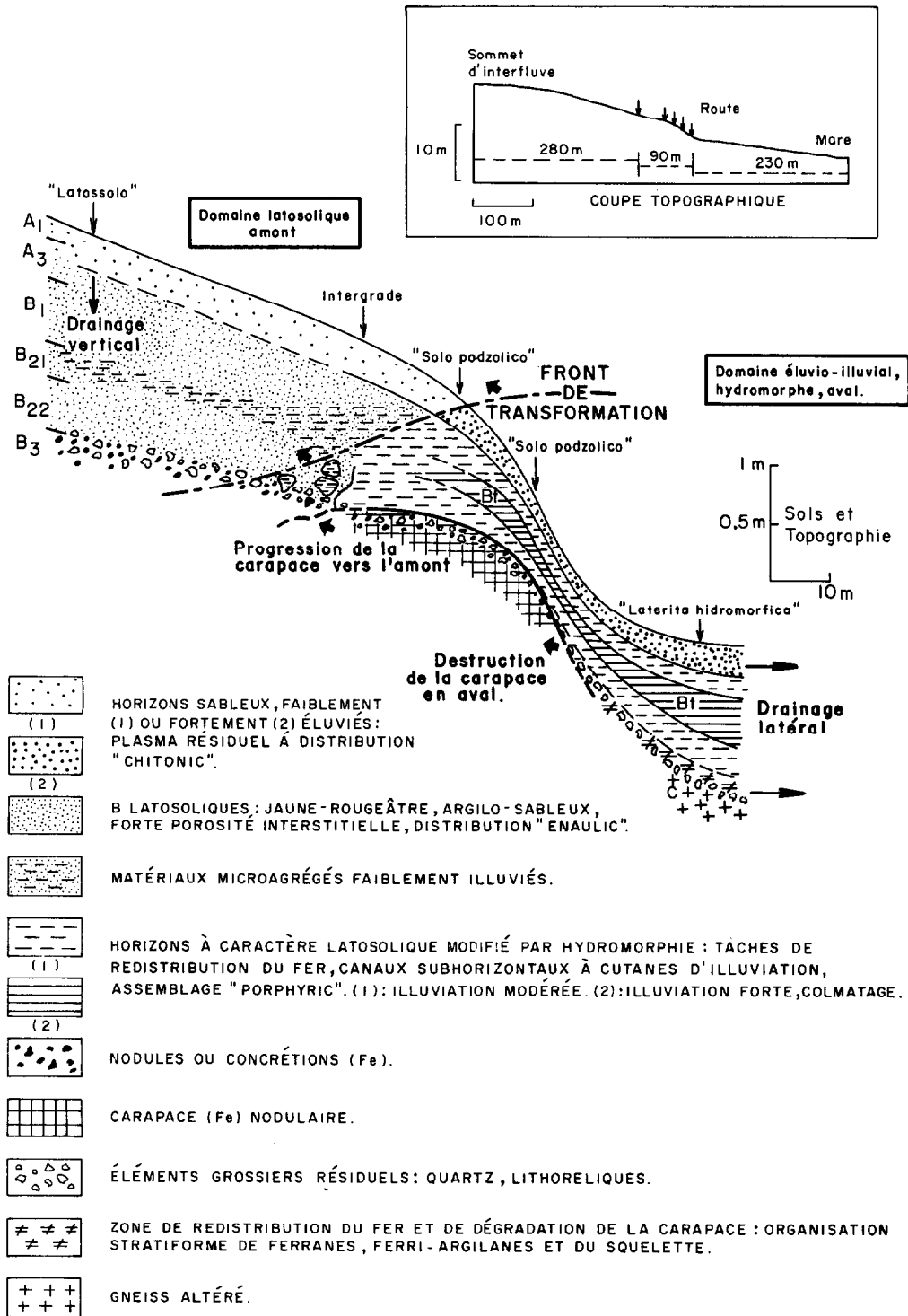


Fig. 2. — Toposéquence du « Riacho Panasco », vallée du Paramirim (Bahia) : organisation à différentes échelles et dynamique actuelle.

Quant au fer, une partie se redistribue par taches dans la masse des profils transformés, tandis qu'une autre vient se piéger dans les altérites sous-jacentes au sommet desquelles (*stone-line*) se développe une carapace nodulaire. A travers une évolution glébulaire complexe cette carapace a tendance à progresser vers l'amont et à se détruire en aval.

Une modification de la nature minéralogique des argiles accompagne l'ensemble de la transformation : kaolinite et traces d'illite en amont ; kaolinite et smectites en aval.

Cette transformation brutale du latosol sous l'emprise de processus d'hydromorphie est précédée en amont par une déstabilisation discrète des matériaux microagrégés ; une certaine illuviation, corrélée à un net appauvrissement superficiel et correspondant à une dégradation de la structure microagrégée, se manifeste en effet dans le B₂ du latosol. Il est probable que des processus de « xérolyse » (CHAUSSIDON et PEDRO, 1979), commandés par les conditions climatiques locales, agissent à ce niveau et sans doute aussi en aval. L'organisation globale de la séquence montre cependant que, contrairement à d'autres cas étudiés (CHAUVEL, 1976), ces processus ne peuvent être considérés ici comme les moteurs principaux de la transformation des sols. C'est une hydromorphie *primaire*, engendrée par une dynamique particulière de l'écoulement interne, qui semble être la cause première des transformations et non une hydromorphie *secondaire* liée à un colmatage de porosité par de l'argile mobilisée par « xérolyse ».

Séquence du « Morro do Calcario » (fig.3)

Les phénomènes que nous venons d'évoquer s'observent également à la partie supérieure des latosols situés à l'amont de cette séquence. Dégradation de la structure microagrégée et appauvrissement sont, ici, particulièrement nets sans, toutefois, être accompagnés d'une forte illuviation.

Vers l'aval, des taches d'hydromorphie et des nodules ferrugineux apparaissent en profondeur en même temps que s'accroissent brutalement la destruction des microagrégats et la mobilisation et l'élimination de l'argile. Contrairement au cas précédent, cependant, cette argile est en majeure partie exportée et/ou détruite : il n'y a pas d'accumulation transitoire dans un horizon B_t illuvial néoformé. En fin de transformation, au bas de la séquence, seul subsiste sous forme d'un horizon A₂ épais le squelette essentiellement quartzueux du latosol primitif.

Comme dans le cas précédent, le fer libéré dans le milieu hydromorphe aval, associé ici au manganèse, vient s'accumuler en carapace au niveau de la *stone-line*. Cette carapace est attaquée à sa base, vers l'aval,

où s'observent des poches sableuses autour de certains éléments grossiers ainsi que de grosses cavités.

Cette séquence est comparable à la précédente en ce sens qu'on y observe, sur une faible distance, une destruction complète des structures latosoliques sous l'influence prépondérante de phénomènes d'hydromorphie, ainsi qu'une accumulation transitoire du fer mobilisé par ces processus. Elle en diffère, cependant, par une exportation quasi totale de l'argile libérée. Ceci est probablement dû à une dynamique différente des flux hydriques internes, dynamique en partie réglée par la topographie des fronts d'altération. Il est possible, aussi, que les phénomènes de destruction d'argile soient ici plus intenses : l'acidolyse, engendrée par des processus de « xérolyse » ou de « ferrolyse » dans la partie amont, semble en effet pouvoir être relayée dans la partie aval, où s'observent des pH > 8, par une alcalinolyse.

On peut s'interroger sur les raisons de l'existence de ces systèmes de transformation de sols qui rappellent certains de ceux déjà décrits en Afrique (BOCQUIER, 1971 ; BOULET, 1974 ; CHAUVEL, 1976 ; BOULET *et al.*, 1982, 1984) et peuvent aussi s'observer en d'autres secteurs du Nordeste du Brésil (SOUBIÈS *et al.*, 1981). Nous pensons que pour la vallée du Paramirim la cause première est d'ordre tectonique plutôt que climatique. Un abaissement du niveau de base de la plaine, suite à des mouvements épirogéniques ou au rejeu de failles, aurait entraîné un encaissement relatif des drains. Ce phénomène, joint à l'existence de niveaux compacts à la base de la couverture pédologique (BC peu épais et souvent smectitiques), aurait renforcé une circulation latérale profonde et engendré des sursaturations hydriques temporaires en bordure des axes de drainage. Ce sont ces conditions hydriques qui seraient responsables des transformations observées.

2. SYSTÈMES DE SOLS SUR CALCAIRE DE LA RÉGION D'IRECÊ, BAHIA (RICHE G. *et al.*, 1981, 1982 ; PERRAUD A. *et al.*, 1981)

Sur le vaste plateau calcaire d'Irecê, sous climat tropical semi-aride et végétation steppique (tabl.I), divers systèmes de transformation ont été reconnus. Ils se regroupent en deux grands ensembles : systèmes « encroûtés » et systèmes « décarbonatés ».

Systèmes « encroûtés »

Ces systèmes ne s'observent que sur des calcaires feuilletés, très plissés, à pendage subvertical, qui forment le soubassement de zones ondulées en bordure de plateau (fig.4). Des encroûtements épais, subaffleureurs, nourris par une importante altération « isovolume » du calcaire, occupent le sommet des ondulations. Ces croûtes calcaires disparaissent progressivement en direction des

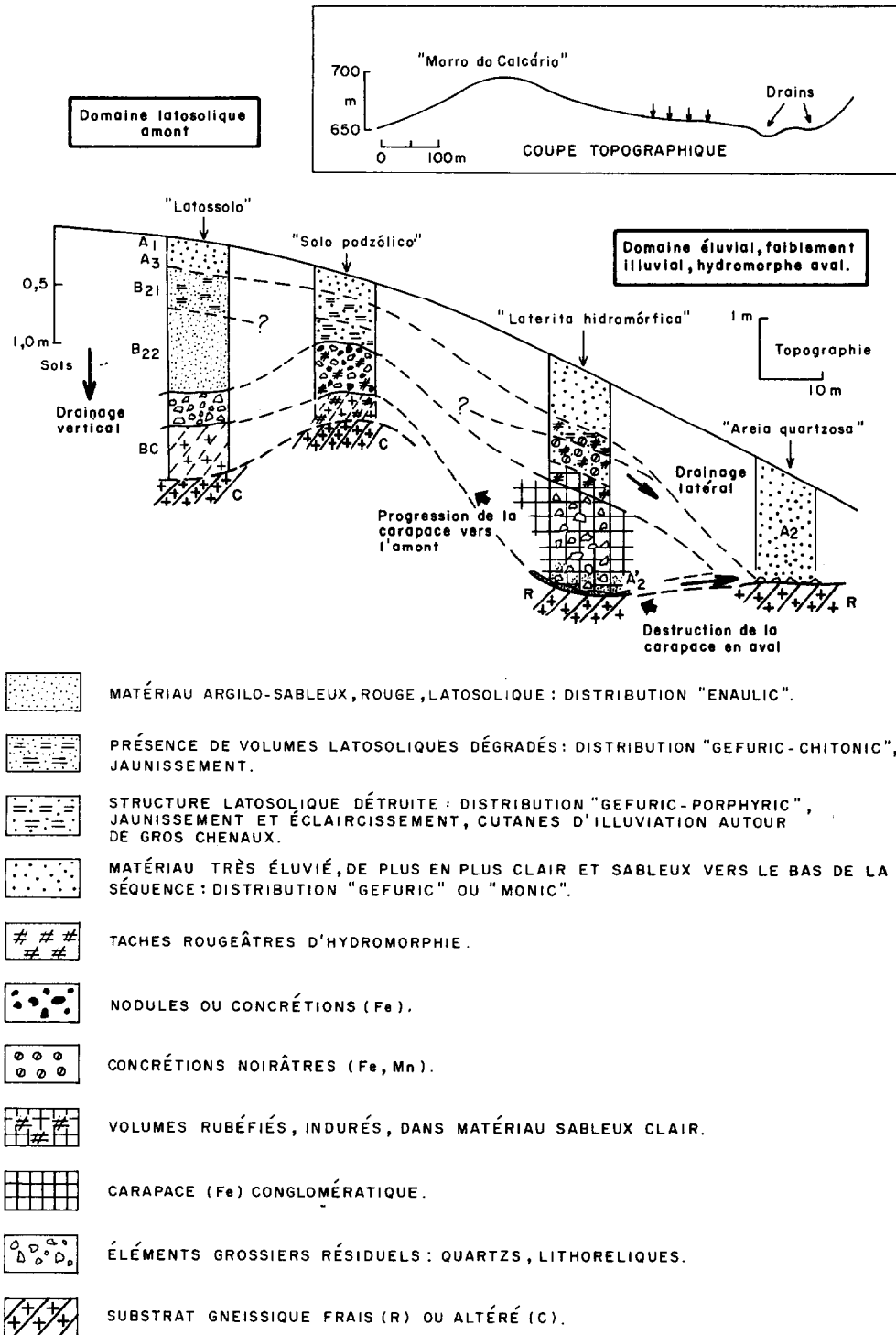


Fig. 3. — Toposéquence du « Morro do calcário », vallée du Paramirim (Bahia) : organisation à différentes échelles et dynamique actuelle.

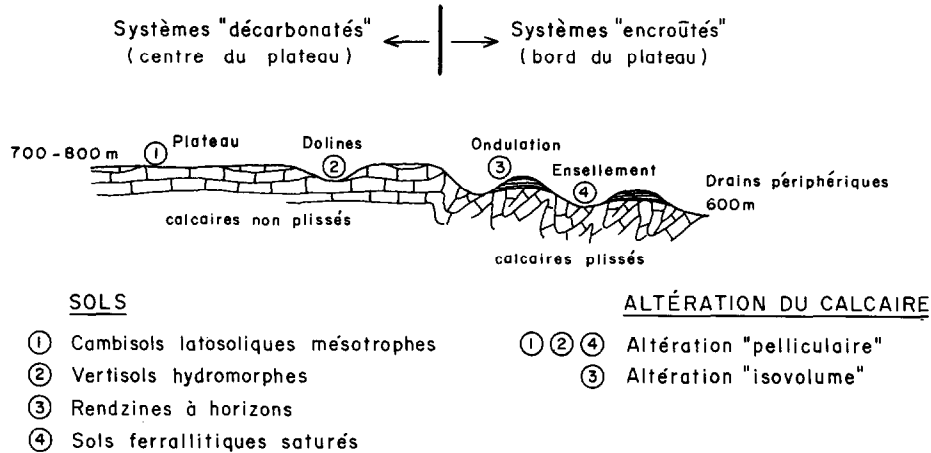


Fig. 4. — Schéma de distribution des systèmes de sols sur le plateau d'Irecê (Bahia)

ensellements où les sols dérivent directement du calcaire par une altération « pelliculaire », différente de la précédente. Des rendzines à horizons occupent les élévations et des sols ferrallitiques saturés, les parties basses. Les mécanismes de la transformation latérale, progressive, de la couverture initiale à argile de type « 2/1 » en une couverture de type « 1/1 » ne sont pas élucidés. Des changements climatiques (sec → humide) seraient peut-être à l'origine de cette transformation.

Systèmes « décarbonatés »

Ils sont prédominants et s'observent avec le plus de netteté dans la partie centrale du plateau qui correspond à une surface structurale peu plissée (fig.4). En fait, ce sont plutôt diverses associations de sols profonds, déconnectés de leur base calcaire à altération « pelliculaire », qui ont été reconnus jusqu'ici. De même que dans les systèmes précédents, l'évolution au cours du temps s'y caractérise d'abord par une décarbonatation, puis par une décalcification qu'accompagnent une désilicification (genèse de minéraux « 1/1 » mal cristallisés) et une individualisation du fer et du manganèse. Une dégradation physicochimique des horizons de surface (xérolyse ?) peut aussi se manifester. Dans les séquences observées jusqu'ici il est cependant difficile de faire la part de ce qui est dû à des variations dans la lithologie (porosité, teneur en silice, ...) et de ce qui correspond à des transformations latérales au sein de systèmes pédologiques. Les recherches en cours, faisant intervenir des études minéralogiquement très détaillées

ainsi qu'une étude des rapports isotopiques $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ et $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ des substrats, solutions et néoformations, contribueront sans doute à apporter des réponses à ces problèmes.

3. SYSTÈME « SOL FERRALLITIQUE — PODZOL » SUR ALTÉRATION DE SÉDIMENTS CONTINENTAUX DÉTRITIQUES (FORMACAO « BARREIRAS ») EN AMAZONIE (KLINGE H., 1965 ; BOULET *et al.* 1984 ; LUCAS Y. *et al.*, 1984) (1)

Sur les formations détritiques, continentales, tertiaires, d'Amazonie centrale, sont observées des couvertures pédologiques constituées par des sols ferrallitiques et par des podzols de plusieurs mètres d'épaisseur. Les données relatives au milieu naturel sont regroupées dans le tableau I. On note que le climat est subéquatorial avec une petite saison sèche. La végétation est une forêt dense tropicale. Les matériaux originels sont constitués par les produits d'altération de sédiments mal classés et irrégulièrement stratifiés du groupe « Barreiras ». Le modelé est celui d'un plateau disséqué par des vallées à fond plat. Les cartes pédologiques (RADAMBRASIL, 1976, 1978 ; EMBRAPA, 1979) indiquent la dominance des « latossolos amarelos distroficicos argilosos », correspondant à des sols ferrallitiques fortement désaturés dans l'horizon B, typiques, jaunes, selon la classification française (CPCS, 1967).

L'interprétation des photographies aériennes montre que, entre les plateaux et les fonds de vallées existent

(1) Etude réalisée avec le concours de l'INPA (Manaus) et du CNPq.

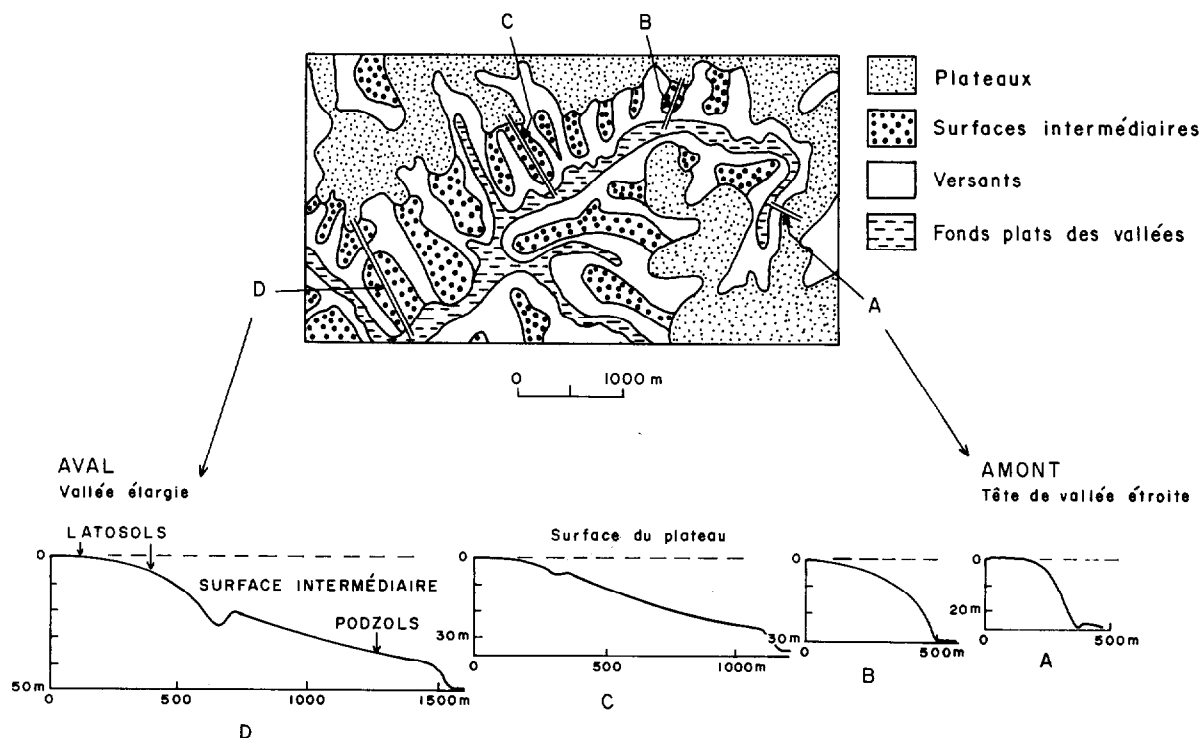


Fig. 5. — Formations « Barreiras » de la région de Manaus (Amazonas) : morphologie d'un petit bassin versant et profil topographique des surfaces.

habituellement des « surfaces intermédiaires » faiblement inclinées vers les axes de drainage, se terminant par un versant court à pente forte. Lorsqu'on se déplace de l'amont vers l'aval à partir d'une tête de vallée, on constate que ces « surfaces intermédiaires » se développent progressivement comme cela est indiqué sur la figure 5. Là où les surfaces intermédiaires sont très développées, on observe un affaissement de leur partie aval correspondant à l'apparition des podzols.

L'étude des transects correspondant à ces divers stades de développement des surfaces intermédiaires a été faite selon la méthode exposée par BOULET *et al.* (1982). On est ainsi parvenu à dessiner, en coupe, les différents horizons de la transition latosol-podzol et à compléter ce dessin par une représentation graphique des teneurs en argile (courbes isovaleur) et en matière organique (profils verticaux). L'ensemble des données ainsi obtenues (LUCAS *et al.*, 1984) montre que la différenciation de la couverture pédologique est *continue* et qu'elle *accompagne l'évolution du modelé*, c'est-à-dire le développement des surfaces intermédiaires : les surfaces amont, les plus réduites (fig.5, coupe A), ne comportent que les premiers stades de la différenciation ; les surfaces aval les plus étendues (fig.5, coupe D) mettent en évidence une séquence de différenciation

complète, à partir des sols ferrallitiques jusqu'aux podzols.

On se limitera ici à une représentation simplifiée de cette séquence complète (fig.6a et b). En allant des sols ferrallitiques argileux vers les podzols, on observe successivement les variations suivantes : début de la diminution progressive du taux d'argile ; apparition de nodules ferrugineux ; développement d'une couleur plus foncée dans les horizons de surface et formation d'un crochet dans le profil vertical de la teneur en matière organique ; disparition des nodules ferrugineux ; accumulation en surface de matière organique mal liée à la matière minérale (mor) et de sables ; différenciation d'un horizon Bh à faible profondeur ; diminution plus rapide du taux d'argile ; différenciation d'horizons Bh superposés ; transition latérale rapide (centimétrique à décimétrique) avec l'horizon sableux blanc (A₂) du podzol.

On constate que le premier crochet dans la distribution de la matière organique apparaît dans le tiers supérieur du versant alors que le sol, encore très argileux, ne présente aucun indice d'une évolution vers les podzols. On constate aussi que l'appauvrissement en argile s'effectue à la fois à la partie supérieure et à la partie inférieure des profils donnant aux domaines structuraux une géométrie « en langue ». Les causes de ces appau-

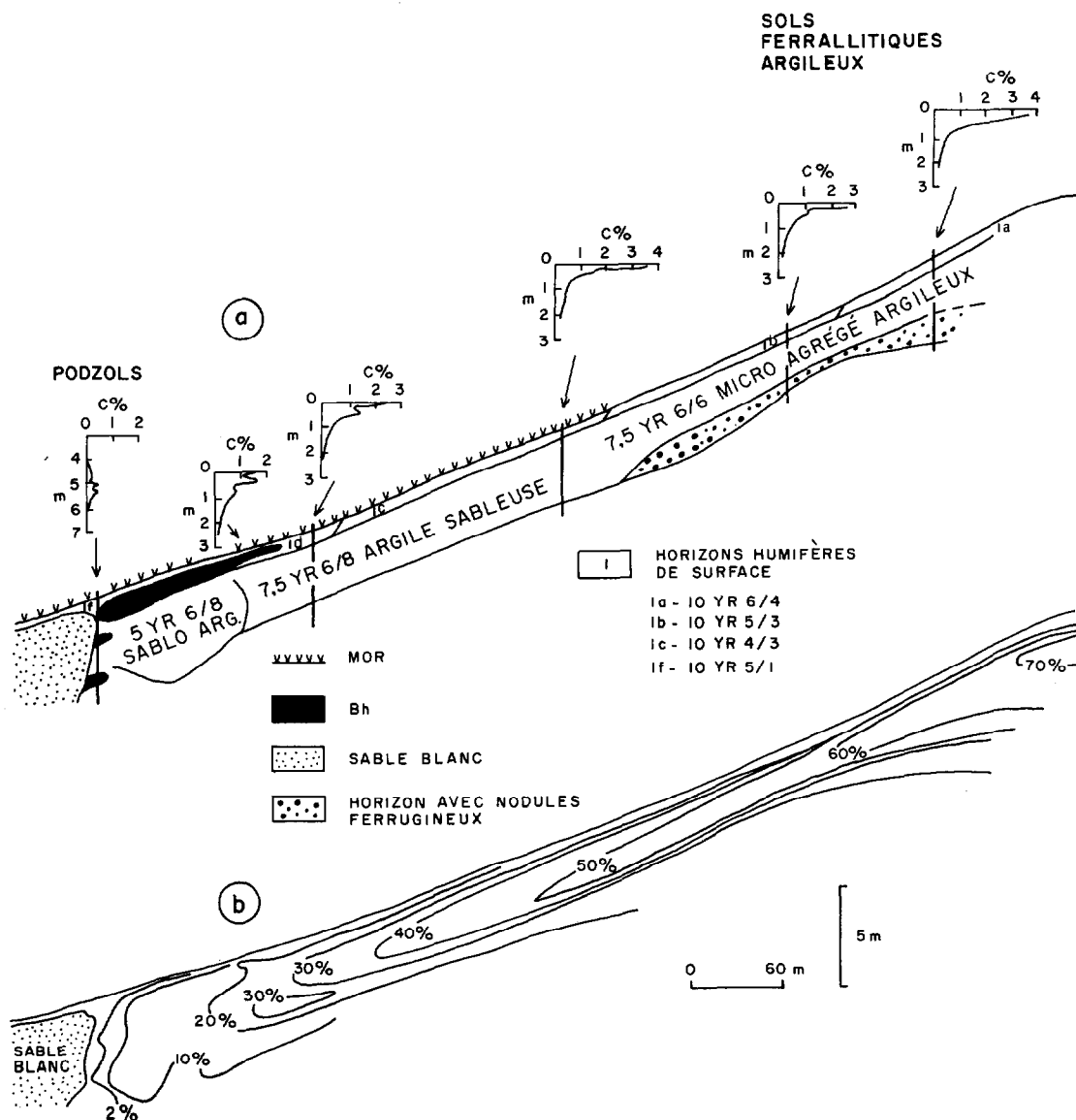


Fig. 6. — Représentation simplifiée de la toposéquence « latosol-podzol » sur formations « Barreiras » de la région de Manaus.
a : organisation des horizons et distribution verticale de la matière organique, b : courbes d'isovaleur d'argile.

vrissements sont diverses : elles relèvent du processus de podzolisation (acidocomplexolyse) étudié dans un domaine climatique analogue par TURENNE (1975) en Guyane française mais aussi de la dynamique des couvertures ferrallitiques des plateaux qui fera l'objet de publications ultérieures.

Dès à présent, il apparaît toutefois que toutes les différenciations observées dans cette séquence sont de nature *pédologique*. Le bassin versant considéré apparaît ainsi comme un système de transformation ne présentant

aucun indice de transport sous forme figurée mais caractérisé par la conservation du seul squelette quartzéux dans les horizons transformés (LUCAS *et al.*, 1984). Ce type de transformation aboutit au remplacement des plateaux ferrallitiques par des couvertures podzoliques sableuses présentant un modelé aplani. On constate que, dans ce cas, une évolution essentiellement commandée par des processus *physico-chimiques*, et non *mécaniques*, d'attaque des matériaux conduit à la formation de versants à pente forte et de vallées à fond plat pouvant

évoquer le modelé de certaines régions soumises à une érosion mécanique importante (régions semi-arides par exemple).

4. SYSTÈME DE SOLS FERRALLITIQUES (« TERRA ROXA ESTRUTURADA » et « TERRA ROXA LEGITIMA ») SUR BASALTES DE LA NAPPE DU PARANA (GONÇALVES, 1978 ; CARVALHO *et al.*, 1983).

La région de Ribeirão Preto se situe au N.N.E. de l'Etat de São Paulo sur la bordure orientale du bassin du Parana. Le soubassement est essentiellement basaltique et la topographie caractérisée par l'existence de grandes surfaces tabulaires et de buttes-témoins (700-800 m) qui dominent un paysage mollement ondulé (500-600 m). Le climat est tropical d'altitude et la végétation naturelle, presque entièrement détruite par l'homme (culture du café puis de la canne à sucre, etc.), est une forêt tropicale semi-décidue (tabl.I).

Les couvertures pédologiques développées sur ces

basaltes sont principalement constituées par deux types de sols ferrallitiques et par les transitions qui les séparent : il s'agit des « terra roxa estruturada » (TRE) et « terra roxa legitima » (TRL). Les différences entre ces sols sont d'abord morphologiques : tandis que les premiers ont une structure polyédrique à cubique, de taille centimétrique dont les éléments sont délimités par des faces planes d'aspect argileux et lissé, les seconds sont constitués par un assemblage continu de micro-agrégats dont le diamètre est de l'ordre de la centaine de μm , plus ou moins nettement individualisés. Les différences sont également de nature minéralogique : tandis que les « TRE » contiennent surtout des minéraux argileux de la famille de la kaolinite associés à des hydrates ferriques secondaires mal cristallisés, les « TRL » sont caractérisés par leur nature plus allitique (la teneur en gibbsite peut y être élevée) et par la meilleure cristallinité des oxydes de fer (hématite).

Une étude régionale, puis locale, détaillée, de la distribution de ces deux grands types de sols a montré que

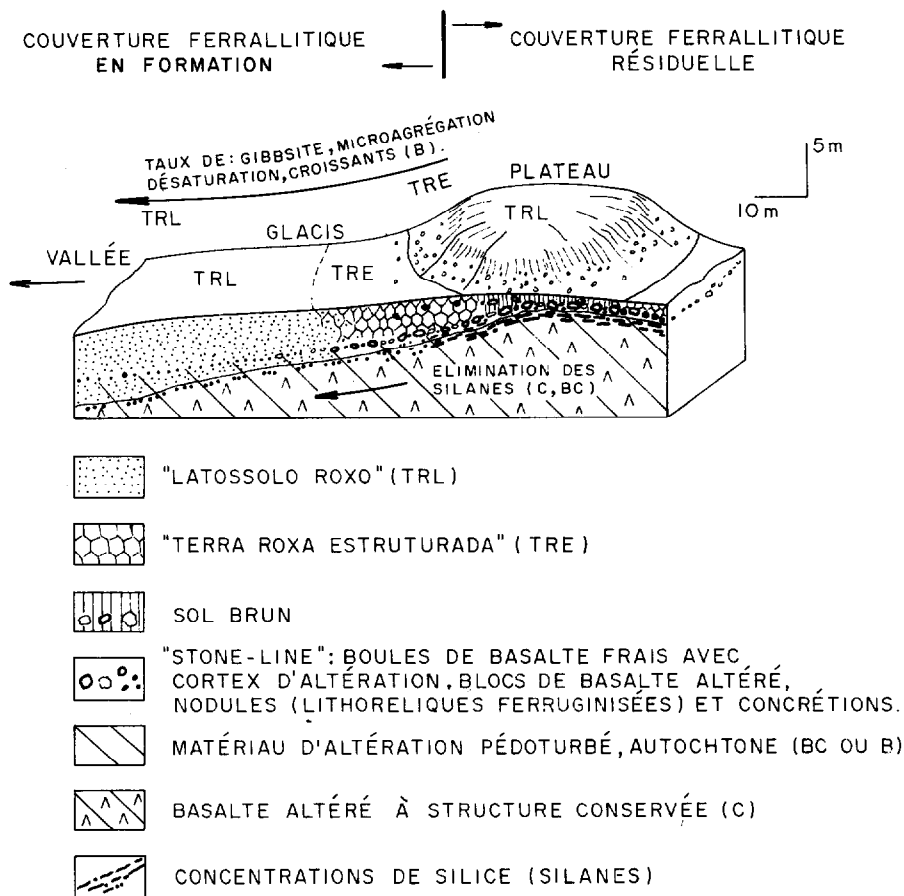


Fig. 7. — Toposéquences de Ribeirão Preto (São Paulo) : organisation et évolution des couvertures ferrallitiques successives.

cette distribution n'était pas quelconque, mais qu'au contraire, existait très généralement une relation étroite entre pente et type de sol (GONÇALVES, 1978). Cette relation évoque l'existence d'un système de sol en fonctionnement. Elle apparaît clairement dans la séquence type représentée sur la figure 7, séquence dont nous évoquerons rapidement les principaux traits.

Le matériau parental est une épaisse couche de basalte complètement kaolinisée et à structure conservée (isaltérite kaolinique), renfermant çà et là des blocs de forme arrondie d'un basalte relativement frais. Il semble que ces blocs ou boules résiduelles puissent correspondre à un basalte de texture ou/et composition légèrement différente de celui ayant donné l'ensemble kaolinisé. Dégagés par érosion sur les flancs de l'escarpement (pente $\approx 50\%$), ces blocs s'accumulent en bas de pente en un tapis discontinu subaffleurant. Vers l'aval, elles tendent à s'organiser en une *stone-line* qui se trouve de plus en plus profondément enfouie dans le glacis à pente douce accroché à la butte résiduelle. Cet enfoncement s'accompagne d'une évolution latérale. De l'amont, domaine des « TRE » (pente $\approx 10\%$), vers l'aval, domaine des « TRL » (pente $\approx 2\%$), de ce glacis, la taille de ces blocs va diminuant, le degré d'altération augmente et l'altération, en écailles isovolumiques, initialement kaolinique, devient gibbsitique (plagioclases gibbsitisés). Finalement, ne subsiste plus à l'aval qu'une mince couche de nodules ou concrétions lithorelictuelles, hématitico-gibbsitiques. Quelles que soient les raisons de la présence et les mécanismes de genèse de cette *stone-line* (on ne peut encore conclure), il est important de noter qu'elle n'introduit pas de discontinuité dans les évolutions structurales et minéralogiques, verticales et latérales, menant de façon continue des « TRE » aux « TRL ».

D'amont en aval, un front de pédoturbation, accompagné de toute une série de transformations, s'enfonce progressivement dans l'altérite kaolinique sous-jacente. On constate en amont (domaine des « TRE ») que les pores de l'altérite sont remplis de dépôts secondaires siliceux (K_i altérite = 3,8). Ces silanes se maintiennent partiellement dans le BC (ou B) qui fait suite et dont la microstructure est essentiellement continue : plasma argilasépique rouge (kaolinite et hydroxydes de fer mal cristallisés), porosité peu développée et fissurale, séparations plasmiques rares, squelette peu abondant. Plus haut dans le profil (horizon B), des plages de plasma plus jaune et riches en séparations plasmiques se développent ; elles entourent des volumes sphéroïdaux (100-200 μ) de plasma rouge sombre argilaseptique qui préfigurent les micropeds caractéristiques des « TRL » de l'aval. Par place, au-dessus de la *stone-line* et de plus en plus vers l'aval, ces volumes tendent à s'isoler par multiplication des fissures et/ou élimination du

plasma jaunâtre plus mobile. Cette évolution qui tend à la production de microagrégats s'accompagne de l'apparition d'un peu de gibbsite, de la cristallisation d'hématite (qui ferritise les kaolinites), de la désaturation du complexe et de l'élimination des silanes et d'un peu de fer (PEDRO *et al.*, 1976).

Les silanes de l'isaltérite kaolinique n'ont plus à l'aval la continuité qu'ils présentaient en amont. Leur distribution et leur forme révèlent qu'une dissolution de la silice s'opère d'amont en aval, accompagnée de genèse de kaolinite. On note aussi que des micropeds s'individualisent très vite à ce niveau, en quelques millimètres, à partir d'un plasma argilasépique rouge sombre, hématitique, produit au niveau du front de pédoturbation. Cette individualisation est accompagnée par une forte désilicification (K_i passant de 2,5 dans l'altérite à 1,4 dans les micropeds), et par la néoformation d'une quantité importante (20 %) de gibbsite très fine (invisible au microscope). Les micro-nodules (100 μ) entassés (distribution « agglutinic » caractéristique des latosols (BUOL *et al.*, 1978) constituent l'essentiel des matériaux à très forte porosité interstitielle caractéristique de la « terra roxa legitima ».

De l'amont vers l'aval de cette séquence, toute une série de transformations structurales et minéralogiques conduisent donc, finalement, de façon continue, des « TRE » aux « TRL ». Des « TRE » sont *d'abord* formées au pied de la butte où les apports latéraux de silice et bases par les boules de basalte frais retardent le développement de la micro-agrégation. La diminution de ces apports au fur et à mesure du recul de l'escarpement autorise *ensuite* la genèse quasi directe de micropeds à partir de l'altérite, *en même temps* que, la durée du lessivage augmentant, les matériaux de type « TRE », se transforment peu à peu en « TRL ». La genèse des couvertures latosoliques de la région de Ribeirão Preto semble étroitement liée au fonctionnement de systèmes tels que celui présenté ici. Ces systèmes ne sont pas « transformants » puisqu'ils engendrent des couvertures latosoliques très analogues aux couvertures ferrallitiques initiales situées sur les surfaces tabulaires supérieures, tronquées par l'érosion.

INTERPRÉTATIONS ET CONCLUSION

Au stade où en sont les recherches que nous venons de présenter, il convient de considérer les interprétations comme des hypothèses de travail. En se référant à l'Afrique de l'Ouest et à la Guyane française où des études du même type, mais plus poussées, ont pu être menées, un certain nombre de ressemblances et différences apparaissent cependant quant aux effets et, surtout, aux causes des transformations observées.

Les systèmes de transformation rencontrés dans la vallée du Paramirim rappellent les systèmes « éluviaux — illuviaux » décrits par R. BOULET dans les régions de Diebiga ou de Garango en Burkina Faso (BOULET, 1974). Cependant, le déterminisme des phénomènes est sans doute ici différent. Les latosols du Paramirim, qui ne sont pas franchement ferrallitiques, ne sont pas vraiment en déséquilibre avec le climat actuel où l'on voit alterner, de façon très irrégulière mais en parts égales, des années relativement humides (900-1000 mm), qui influencent les sols, et des années sèches responsables du caractère steppique de la végétation de cette région. Dans ce continent brésilien soumis depuis le tertiaire à des déformations importantes (surrection des Andes), on pense alors à une cause première *tectonique* et non climatique pour expliquer les mises en déséquilibre observées. Sans minimiser le rôle qu'aurait pu jouer un changement du régime climatique, il semble ainsi possible qu'un simple encaissement des drains pour des raisons tectoniques, joint à l'existence en profondeur d'altérites peu épaisses et assez compactes, ait entraîné en aval des couvertures latosoliques les flux et les sursaturations hydriques responsables de leur transformation (disjonction plasma-squelette, etc.).

Le système « latosol — podzol » observé dans la région de Manaus, système caractérisé par l'absence de transport sous forme figurée et le maintien du squelette dans les horizons transformés, est voisin des systèmes de transformation de couvertures ferrallitiques en podzols déjà observés en Guyane (TURENNE, 1975 ; BOULET *et al.*, 1982). Des volumes plus considérables de matériaux sont cependant affectés. Si une des causes de la transformation observée est aujourd'hui bien connue, puisque différentes études ont montré que, sous la forêt amazonienne, se produisait une minéralisation intense de la matière organique entraînant la libération massive d'acides fulviques, il est certain qu'elle n'est pas la seule. Il semble probable que des modifications de régime hydrique, pouvant être reliées, ici aussi, à un abaissement du niveau de base pour des raisons tectoniques ou même, dans ce cas particulier, eustatiques, ont dû jouer un rôle dans le déclenchement des phénomènes. On peut noter que de tels systèmes aboutissent,

tout comme en zone aride, à la genèse d'importantes couvertures sableuses et qu'il serait donc intéressant de vérifier si les vastes « paleo-playas » cartographiées sur formations « Barreiras » en différentes régions d'Amazonie par le RADAM (RADAMBRASIL, vol. 7, Tapa-jos : 144-145) ne correspondraient pas plutôt au produit du « travail » de systèmes de transformation du type « Manaus » qu'à des épandages de zone aride.

Sur la région d'Irecê, les informations disponibles sont encore incomplètes. Le passage latéral d'une rendzine à horizons à un latosol, observé nulle part ailleurs, méritait cependant d'être signalé. A propos des latosols des plateaux de cette région on peut aussi noter que, bien qu'un encaissement des drains par suite de mouvements épigéniques puisse être aussi envisagé dans ce secteur, nulle part n'ont encore été trouvés des systèmes de transformation du type « Paramirim ». Les mêmes causes ne produisent donc pas toujours les mêmes effets et la raison serait ici l'existence d'un drainage vertical illimité (fissures du karst).

C'est sans doute aussi pour cette même raison que dans la région de Ribeirão Preto la troncature par érosion régressive, due à un encaissement des drains, d'une vieille couverture latosolique n'a pas entraîné sa destabilisation : le gradient vertical de compacité était trop faible pour que le drainage latéral se trouve accéléré. On peut aussi penser que les variations climatiques quaternaires qui ont certainement affecté cette région n'ont pas induit un régime hydrique plus contrasté pour ces sols. L'intérêt est ici l'existence *en amont* et non plus en aval d'un système *non transformant* de sols reproduisant peu à peu la couverture initiale.

Finalement, dans tous les cas qui ont été présentés, quels que soient les milieux ou les mécanismes mis en cause, la cause première du développement de systèmes semble bien être un enfoncement ménagé du réseau hydrographique, les autres causes : caractères hydrodynamiques des couvertures initiales, contraintes bioclimatiques, ... étant subordonnées.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 17 janvier 1986

BIBLIOGRAPHIE

- BOCQUIER (G.), 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci. Strasbourg et Mém. ORSTOM, n° 62, 1973, 350 p.
- BOULET (R.), 1974. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédoclimatique. Thèse Sci. Strasbourg et Mém. ORSTOM, n° 85, 1978, 272 p.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. 1 — 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.), 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. 2 — Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XII, n° 4 : 323-339.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), LUCAS (Y.), 1984. — Les systèmes de transformation en pédologie. Livre jubilaire du cinquantenaire AFES : 167-179.
- BRINKEMAN (R.), 1970. — Ferrolysis a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3 : 199-206.
- BUOL (S.W.), ESWARAN (H.), 1978. — The micromorphology of oxisols. Proc. Sth Int. Work. Meet. on Soil Micro-morph., Granda, Spain.
- CARVALHO (A.), CHAUVEL (A.), GONÇALVES (N.M.M.), 1983. — Altération de basalt and formation of kaolinic and gibbsitic material in the regio of Ribeirão Preto (SP), Brazil. Lateritisation processes. Proc. II Intern. Sem. on Later. Proc., São Paulo, 1982 : 477-489.
- CASTRO (S.S.), 1985. (à paraître) — Genese e dinâmica de solos : estudo de volumes pedologicos em Marilia, SP. Têse de dontoramento. Departamento de Geografia, USP.
- CHAUSSIDON (J.), PEDRO (G.), 1979. — Rôle de l'état hydrique du système poreux sur l'évolution du milieu. Réalité de l'altération dans les systèmes à faible teneur en eau. *Sci. du sol*, 2-3 : 223-237.
- CHAUVEL (A.), 1976. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Thèse Sci. Strasbourg. *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 62, 1977, 532 p.
- CHAUVEL (A.), VOLKOFF (B.), OLIVEIRA (J.J.), 1981. — Latossols do Nordeste brasileiro semi-arido (equilibrio e desequilibrio bioclimatico). Guia da excursão pré-congresso. XVIII^e Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador, Bahia, Brasil, 37 p.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols. ENSA, Grignon, *multigr.*, 87 p.
- EMBRAPA/SNLCS, 1977-79 — Levantamento exploratorio. Reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia. *Bol. Tec.* n° 52, Recife, 1296 p., (2 vol.).
- EMBRAPA/SNLCS, 1979. — Guia de Excursão do XVII^e Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Manaus, 71 p.
- ESPIAU (P.), PEDRO (G.), 1983. — Etude du phénomène de ferrolyse par voie expérimentale. Production d'acidité d'échange et mise en évidence du rôle catalytique des minéraux argileux. *Sci. du Sol*, 3-4 : 173-184.
- GONÇALVES (N.N.M.), 1978. — Estudo dos materiais superficiais da região de Ribeirão Preto (SP) e suas relações com elementos da paisagem. Tese de Mestrado, IG/USP, 177 p.
- KLINGE (H.), 1965. — Podzol soils in the Amazon Basin. *Journal of Soil Science*, vol. 16, n° 1 : 95-103.
- LUCAS (Y.), CHAUVEL (A.), BOULET (R.), RANZANI (G.), SCATOLINI (F.), 1984. — Transição Latossolos — Podzolis sobre a formação Bareiras na região de Manaus, Amazônia. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, V.8, 3 : 325-335.
- MELFI (A.J.), PEDRO (G.), 1977. — Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 : Caracterização e reparticao dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. *Rev. Bras. Géoc.*, vol.7 : 271-286.
- MELFI (A.J.), PEDRO (G.), 1978. — Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2 : considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração e sua reparticao no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, vol.8 : 11-22.
- MORRAS (H.J.M.), 1979. — Quelques éléments de discussion sur les mécanismes de pédogênese des planosols et d'autres sols apparentés. *Sci. du Sol*, 1 : 57-66.
- OLIVEIRA (J.B. de), MENK (J.R.F.), 1984. — Latossolos roxos do estado de São Paulo. *Bol. Tecn. Inst. Agron. Campinas S.P.*, 82, 132 p.
- PEDRO (G.), CHAUVEL (A.), MELFI (A.J.), 1976. — Recherches sur la constitution et la genèse des « Terra Roxa Estruturada » du Brésil. *Ann. Agron.*, 27, 3 : 265-294.
- PERRAUD (A.), LOPES (N.A.S.), RICHE (G.), 1981. — Levantamento semi detalhado de solos, escala : 1 : 100 000, referente a folha de Irecê. Painei, XVIII^e Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador, Bahia, Brasil.
- RADAMBRASIL, 1976. — Levantamento de recursos naturais. Vol.10, Folha SA.21, Santarém, DNPM, MME, Rio de Janeiro, 510 p., 5 cartes h.t.
- RADAMBRASIL, 1978. — Levantamento de recursos naturais. Vol.18, Folha SA.20, Manaus. DNPM, MME, Rio de Janeiro, 623 p., 5 cartes h.t.

- RADAMBRASIL, 1982. — Levantamento de recursos naturais. Vol.29, Folha SD.23, Brasília. DNPM, MME, Rio de Janeiro, 653 p., 5 cartes h.t.
- RICHE (G.), RAMBAUD (D.), RIERA (M.), 1982. — Etude morphologique d'un encroûtement calcaire. Région d'Irecê, Bahia, Brésil. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol.XIX, n° 3 : 257-270.
- RICHE (G.), RAMBAUD (D.), RIERA (M.), 1981. — Estudo morfológico de um encrostamento calcário, região de Irecê, Bahia, Brasil. Painel, XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador, Bahia, Brasil.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. — Soil Taxonomy. Soil Conservation Service, USDA, Washington, 754 p.
- SOKOLONSKI (H.H.), 1985 (à paraître). — Caracterização e evolução pedogenética de alguns latossolos do vale do Paramirim (Bahia). Dissertação de Mestrado, UfBA.
- SOUBIÈS (F.), PINHEIRO (H.A.), LEAL (R.M.P.), RIBEIRO (L.P.), MARTIN (D.), PERRAUD (A.), 1981. — Avaliação da pedogênese de duas toposequências de solos na região de Itaberaba. Evolução de latossolos sob clima semi-árido. Com. XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador, Bahia, Brasil.
- SOUBIÈS (F.), SOKOLONSKI (H.), AUDRY (P.), 1983. — Evolução pedológica e geoquímica das formações superficiais do Vale do Paramirim, Bahia, Rel. CNPq, Brasília, 16 p.
- STOOPS (G.), JONGERIUS (A.), 1975. — Proposal for a micro-morphological classification of soil materials. I Classification of the related distribution of fine and coarse particles. *Geoderma*, 13, 189-199.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposequências guyanaises. Thèse Univ. Nancy et *Mém. ORSTOM*, n° 84, 173 p.