

Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations

Boris VOLKOFF

UR 104 — Centre ORSTOM de Bondy — 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy-France

RÉSUMÉ

Les facteurs du milieu naturel, relief, géologie, climat, végétation, permettent de diviser le Brésil en 4 grandes régions. Dans chacune, des domaines distincts peuvent être caractérisés par des types pédologiques particuliers (latosols, sols latéritiques, sols fersiallitiques, cambisols).

Les domaines à latosols se rattachent à 2 surfaces d'aplanissement emboîtées à couvertures pédologiques anciennes. Ils s'opposent aux autres domaines qui correspondent à un modelé jeune à couverture pédologique récente. Toutes ces unités s'organisent en ensembles géographiques plus vastes dont les limites se superposent à celles des grandes régions naturelles elles-mêmes.

MOTS-CLÉS : Brésil — Milieu physique — Géographie des sols — Age des couvertures.

RESUMO

ORGANIZAÇÕES REGIONAIS DA COBERTURA PEDOLÓGICA DO BRASIL. CRONOLOGIA DAS DIFERENCIAÇÕES

Os fatores do meio natural, relevo, geologia, clima, vegetação, permitem dividir o Brasil em quatro grandes regiões. Em cada uma, áreas distintas podem ser caracterizadas por tipos pedológicos particulares (latossolos, solos lateríticos ou podzólico vermelho-amarelo, solos fersialíticos, cambissolos). As áreas com latossolos estão relacionadas com duas superfícies de aplainamento encaixadas e coberturas pedológicas antigas. Elas são muito diferentes das demais áreas que correspondem a um modelado, jovem com cobertura pedológica recente. Todas essas unidades se organizam em conjuntos geográficos maiores cuja extensão se confunde com a das grandes regiões naturais.

PALAVRAS CHAVES : Brasil — Meio físico — Geografia dos solos — Idade das coberturas.

ABSTRACT

THE REGIONAL ORGANIZATIONS OF THE SOIL MANTLE IN BRAZIL. THE CHRONOLOGICAL DIFFERENCIATIONS

The factors of the natural environment, relief, geology, climate, vegetation allow dividing Brazil into four main regions. In each region, distinct areas can be characterized by determined pedologic types (latosols, lateritic or red-yellow podzolic soils, fersiallitic soils, cambisols).

The latosol areas are related to two encased, pediplaned surfaces with old pedologic covers. They quite differ from other areas that show a young topography and recent pedologic cover. All these items are organized in larger geographic units which correspond to the main natural regions.

KEY WORDS : Brazil — Physical environment — Soil geography — Soil mantle ages.

1. INTRODUCTION

Les sols du Brésil sont variés mais deux types dominent sur les autres. Ce sont les « latosols » d'une part, les sols « podzolic vermelho amarelo » d'autre part. Les premiers sont les équivalents des oxisols de la Soil Taxonomy et des ferralsols de la légende FAO ; ils s'identifient par leur horizon B oxisque. Les seconds correspondent à un ensemble complexe dont la définition dérive de celle des « red yellow podzolic soils » (THORP et SMITH, 1949). Ce sont des sols à horizon B structuré, à structure polyédrique ou prismatique nette, plus argileux que le A, dit pour cela « textural » ou « argilique ». Certains sols de cette catégorie sont à B fortement désaturé, d'autres sont à B moyennement ou faiblement désaturé (BENNEMA, 1963). Cet ensemble « podzolic vermelho amarelo » regroupe donc les Ultisols et une partie des Alfisols de la Soil Taxonomy, les sols ferrugineux tropicaux et une partie des sols ferrallitiques de la classification française des sols (AUBERT et DUCHAUFOR, 1956).

Depuis BENNEMA *et al.* (1962), de nombreux auteurs ont vérifié qu'au Brésil, les latosols occupent le plus souvent des topographies planes ou faiblement ondulées appartenant aux restes d'anciennes surfaces d'érosion. Les latosols sont développés dans des matériaux détritiques de couverture qui, apparemment, sont sans relations avec le substrat. Les sols du complexe « podzolic vermelho amarelo » apparaissent entre les restes des surfaces anciennes, en association avec les lithosols, sur les formes jeunes du relief (Queiroz, 1982). Ils sont eux directement liés aux formations géologiques en place.

Au Brésil plusieurs surfaces d'érosion sont emboîtées (ALMEIDA, 1964 ; BIGARELLA *et al.*, 1965 ; AB'SABER, 1969). Deux surfaces reconnues par KING (1957) dans le Brésil Central sont importantes à l'échelle du pays.

La plus ancienne, élaborée au tertiaire (cycle sud-américain) est en position topographique dominante dans tout le pays : elle occupe l'ensemble du Brésil Central. La seconde date de la fin du tertiaire (cycle Velhas) : elle ne correspond pas à un aplanissement aussi généralisé que le premier mais on la trouve présente dans toutes les régions du Brésil.

La carte des sols du Brésil au 1/5 000 000 (Brésil-EMBRAPA, 1981) ne fait, elle, aucune distinction entre les sols appartenant aux différents niveaux géomorphologiques, pas plus que la carte géologique du Brésil au 1/2 500 000 (Brésil-DNPM, 1981) qui ne fait état que d'une couverture détritique indifférenciée commune à tous les aplanissements.

On peut supposer que la couverture pédologique du Brésil s'est mise en place après le dernier aplanissement

et que toutes les surfaces ont subi une évolution de même durée ; la structure actuelle de la couverture serait donc indépendante des aplanissements et uniquement déterminée par la lithologie et les facteurs climatiques (MELFI et PEDRO, 1977, 1978 ; MELFI *et al.*, 1979). Il n'est cependant pas exclu que les surfaces d'aplanissements aient conservé des reliques d'âge différent et que l'organisation actuelle des sols soit d'origine historique.

Cette hypothèse nous a paru intéressante à vérifier. Pour cela avons donc entrepris une étude des sols en fonction des ensembles géomorphologiques.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Nous avons d'abord procédé à une étude région par région. Le découpage du Brésil en grandes régions naturelles est appuyé sur les données cartographiques et bibliographiques concernant le relief, la géologie, le climat et la végétation.

L'essentiel des connaissances pédologiques provient aussi de la bibliographie. L'inventaire systématique des sols du Brésil est, en effet, en grande partie réalisé. Il a débuté en 1954 avec la création de la première Commission des sols (devenue depuis le Service des sols de l'EMBRAPA) au Centre National de l'Enseignement et de la Recherche Agronomique du Ministère de l'Agriculture du Brésil. Aux travaux de l'équipe du Ministère de l'Agriculture il faut ajouter ceux de l'Institut Agronomique de Campinas, ceux de diverses Universités et, depuis 1970, ceux du projet Radam-Brésil. La compilation des cartes publiées a cependant toujours été associée à un travail de terrain. Ce dernier a permis, d'une part, de situer les ensembles pédologiques cartographiés dans leur contexte paysagique et, d'autre part, de procéder à des prélèvements pour des caractérisations analytiques complémentaires, analyses minéralogiques notamment qui avaient été rarement faites au cours des travaux d'inventaire. Dans chaque région ont été définis des domaines caractérisés par des types pédologiques particuliers. Pour désigner ces types pédologiques on a utilisé une terminologie basée sur celle qui est en usage au Brésil. On a ainsi employé les termes latosol, cambisol, podzol, sol hydromorphe qui peuvent être aisément compris par la communauté des pédologues. Plutôt que de chercher à traduire, « podzolic vermelho amarelo », on a préféré revenir à la terminologie de BENNEMA (1963) et de parler de sols latéritiques podzolisés (lateritic podzolic soils) ou plus simplement de sols latéritiques lorsqu'il s'agissait de sols à caractéristiques ferrallitiques au sens français (AUBERT et DUCHAUFOR, 1956), mais non latosoliques (sans horizon B oxisque au sens de la Soil Taxonomy) et d'introduire le concept fersiallitique (MELFI et PEDRO, 1977-1978) dans le cas de bisialitisation caractérisée (PEDRO, 1966).

3. LES GRANDES RÉGIONS NATURELLES DU BRÉSIL

Une rapide étude du milieu naturel, oro-hydrographie et géologie d'une part, climat et végétation d'autre part, justifiera la division en grandes régions qui a été adoptée.

zone et du rio Parana sont tout aussi imprécises que celles des bassins de l'Amazone et de l'Orenoque ; il y a, à chaque fois, communication directe entre les bassins. Ces basses plaines entourent et délimitent le plateau brésilien ; une dénivelée souvent assez forte sépare les plaines du plateau. L'altitude du plateau est de

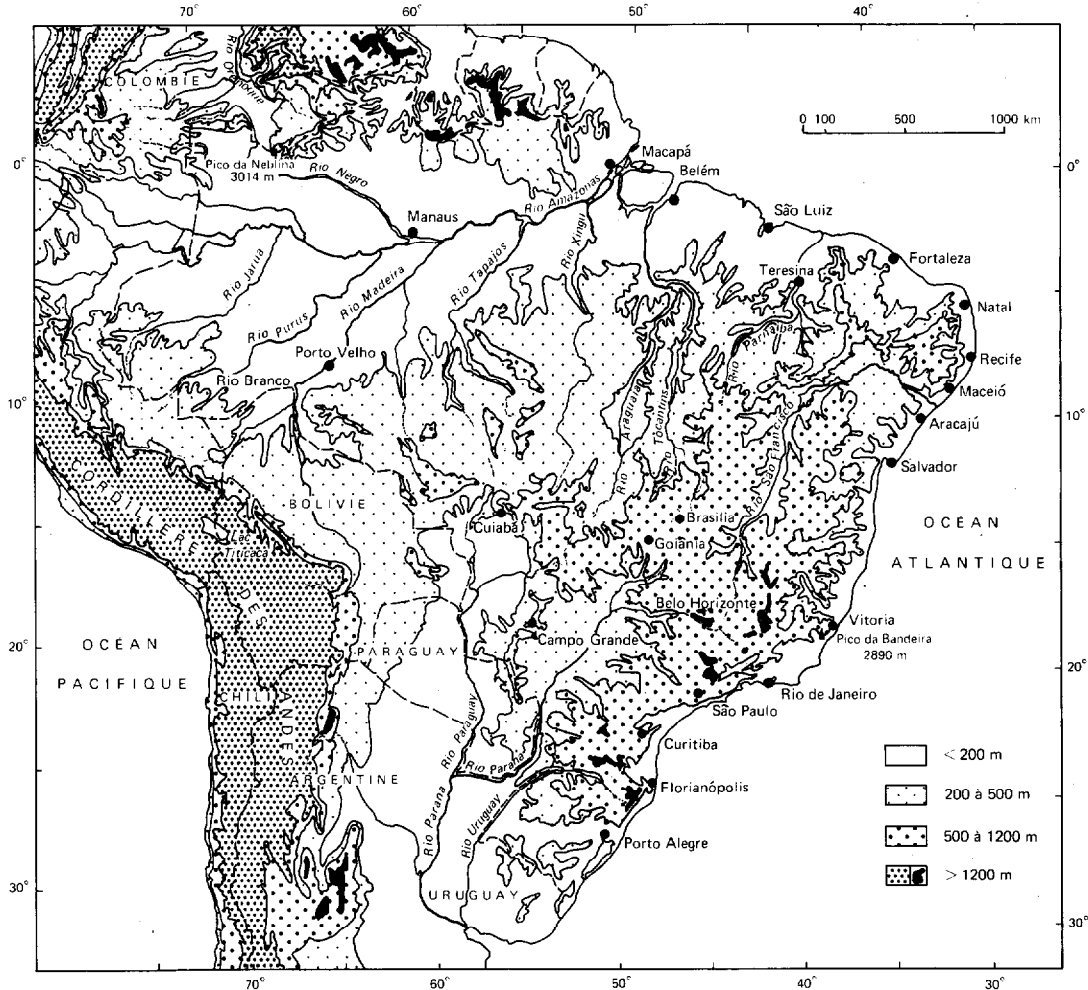


Fig. 1. — Oro-hydrographie du Brésil (d'après BRESIL-IBGE, 1978).

3.1. Oro-hydrographie

L'observation de la carte oro-hydrographique (fig. 1) permet de distinguer immédiatement deux grands ensembles géographiques : les terres basses du Nord et du Nord-Ouest et les plateaux du Centre et du Sud-est. Les terres basses correspondent à la plaine de l'Amazone qui dans sa partie sud-occidentale rejoint, à travers le Guaporé, la plaine du Chaco en Argentine et au Paraguay. Les limites entre les bassins de l'Amazone

500-800 m au Nord et au Nord-Ouest. Elle est plus élevée au Sud et au Sud-Est ; en bordure de l'océan Atlantique, entre Recife et Porto Alegre, l'altitude du plateau est rarement inférieure à 1.000 m. Le point le plus élevé du plateau brésilien se trouve dans le Sud-est, au nord de Rio de Janeiro (Pico da Bandeira, 2,890 m), le point culminant du Brésil étant le Pico da Neblina (3 014 m) dans le massif guyanais à la frontière du Venezuela. Ce grand plateau est drainé et découpé par les affluents de la rive droite de l'Amazone (Tapajós,

Xingu, Araguaia-Tocantins), les rios Parnaíba et São Francisco dans le Nordeste, le rio Parana dans le Sud.

Les systèmes hydrographiques régionaux révèlent les grandes structures géologiques du Brésil (fig.2). Le rio

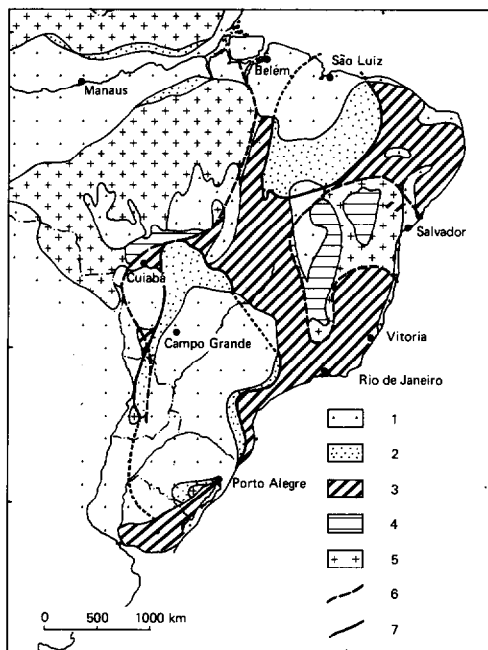


Fig.2. — Schéma structural du Brésil (d'après ALMEIDA, 1978 et TROMPETTE *et al.*, 1982) : 1, bassins méso-cénozoïques ; 2, bassins paléozoïques ; 3, chaînes brésiliennes et zones de craton reprises dans les chaînes brésiliennes ; 4, couvertures protérozoïques des zones cratoniques ; 5, cratons ; 6, limites des grandes zones cratoniques ; 7, limites des bassins paléozoïques.

Amazone, le rio Parana, le rio Parnaíba se sont installés dans les bassins paléozoïques qui portent leurs noms. Le bassin sédimentaire de l'Amazone est bien délimité par les formations paléozoïques qui affleurent sur ses bords ; sa partie centrale est recouverte d'une épaisse couche de sédiments récents, tertiaires pour la plupart (formation Barreiras), mais aussi quaternaires. Le bassin du Parana est caractérisé par sa couverture grésobasaltique mésozoïque. Dans le bassin du Parnaíba des séries gréseuses jurassiques et crétacé ont largement recouvert les formations plus anciennes qui affleurent sur les bordures. Des sédimentations sableuses crétacé et tertiaire ont d'ailleurs largement débordé les bassins paléozoïques et on les retrouve en couverture du socle, principalement dans les parties centrales du Brésil. Le protérozoïque est essentiellement cristallin. Géographiquement il se divise en deux parties, un bouclier guyanais au nord, un bouclier brésilien au sud. Le premier, fortement granitisé, est limité à la rive gauche de l'Amazone. Le second constitue l'assise du plateau brésilien.

Il est formé de plusieurs zones cratoniques anciennes séparées par des ensembles plissés, métamorphisés du protérozoïque supérieur (orogénèse brésilienne). Une partie des matériaux des bassins protérozoïques supérieurs a été conservée non plissée en couverture des zones cratoniques ; c'est le cas d'une importante formation marno-calcaire (formation Bambui) que l'on trouve à l'est de Brasília.

De cette analyse de l'oro-hydrographie et de la géologie se dégagent trois grandes unités naturelles : le bassin amazonien, la partie centrale du plateau brésilien avec son abondante couverture gréseuse, le rebord sud-oriental surélevé du plateau.

3.2. Climat et végétation

Les différenciations climatiques du Brésil sont déterminées par des influences équatoriales, polaires et atlantiques. Les régions les plus arrosées sont le Nord-Ouest amazonien (zone des masses d'air équatoriales continentales) et le Sud-Est (influences des remontées des masses d'air polaire) avec des pluviosités pouvant dépasser 3 000 mm (fig.3). Dans ces deux régions les pluies sont réparties tout au long de l'année, il n'y a pratiquement pas de saison sèche. Une saison sèche s'individualise de plus en plus nettement à mesure que l'on se dirige vers le centre du pays. A Brasília la saison sèche dure 4 à 5 mois. La pluviosité étant de 1 500 mm, le climat devient à saisons fortement contrastées. Le volume

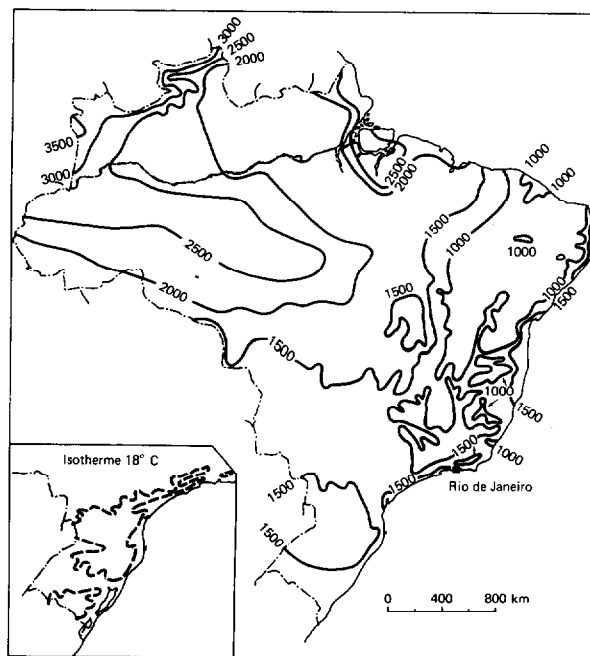


Fig.3. — Isohyètes annuelles et isotherme annuelle 18°C (d'après CAMARGO *et al.*, 1977).

annuel des pluies diminue et la durée de la saison sèche augmente lorsqu'on se déplace du Centre vers le Nordeste. Dans le Nordeste le climat est typiquement semi-aride. Par ailleurs, l'extension en latitude du pays induit des différenciations thermiques importantes dans le Sud et le Sudeste où elles sont amplifiées par l'altitude. Dans ces parties du Brésil et d'une manière générale au sud du 10° parallèle où l'altitude moyenne est de 1 000 m, on constate que les températures chutent considérablement chaque fois que l'on atteint ces altitudes. L'isotherme annuelle 18°C, qui coïncide avec l'isotherme 14°C de juillet, mois le plus froid de l'hiver austral, délimite assez bien dans ces régions un domaine sub-tropical d'altitude particulier au Brésil.

Du point de vue du climat, on distingue donc un Brésil Central tropical à saisons contrastées, un Nordeste tropical sec, une région amazonienne tropicale humide et un Sudeste subtropical.

La végétation naturelle se différencie parallèlement au climat. Le domaine de la forêt correspond aux zones de climat humide et à courte saison sèche. La savane ou la steppe apparaissent lorsque le volume annuel des pluies décroît. L'isohyète 1 800 mm délimite approximativement l'aire de la forêt amazonienne. C'est à peu près l'axe Cuiaba-Sao Luiz. Une forêt très semblable à la forêt amazonienne occupe aussi les zones de basse altitude dans le Brésil du Sudeste. Dans les parties hautes on rencontre une forêt à *Araucaria angustifolia* en association avec de la savane, cette dernière devient dominante au sud où elle se confond avec la prairie de la Pampa de l'Argentine et de l'Uruguay. Le Plateau Central, à climat à saisons contrastées, est occupé par une savane généralement arborée claire. Cette savane est progressivement remplacée par des formations steppiques lorsqu'on se dirige vers les zones sèches du Nordeste ou du Sud-Ouest. Le passage à la forêt sèche et à la steppe à épineux (« caatinga ») du Nordeste se fait approximativement à l'isohyète 1 000 mm. Vers le sud-ouest, les formations steppiques du Chaco n'apparaissent vraiment caractérisées qu'à l'intérieur de l'Argentine et du Paraguay.

3.3. Conclusions : découpage de l'espace brésilien

Cette division du Brésil basée sur le climat et la végétation rejoint et complète donc celle qui peut être faite à partir de l'orographie et de la géologie. Quatre grandes régions naturelles peuvent être distinguées : l'Amazonie ou bassin hydrographique de l'Amazone, domaine de la forêt et du climat tropical humide ; le Plateau Central d'où partent les principaux axes de drainage du Brésil, domaine des couvertures sédimentaires gréseuses, de la savane arborée et du climat tropical contrasté ; le Nordeste, bordure du plateau brésilien fortement déséqué, domaine de la steppe à épineux et du climat tropical sec ; le Sudeste enfin qui correspond aux terres

hautes du Brésil, bordure surélevée, également très déséquée du plateau brésilien, domaine de la forêt et du climat sub-tropical humide.

Une telle division a été depuis longtemps adoptée par les géographes et l'administration brésilienne qui la complètent en introduisant une cinquième région, le Brésil du Sud, distinct du Brésil du Sudeste.

4. CARACTÈRES DES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES DE CHAQUE RÉGION

4.1. Le Plateau Central et sa couverture latosolique

Entre le bassin du rio Parana et Sao Luiz du Maranhao, dans un paysage de plateaux généralisé, sous une végétation de savane arborée et sur des roches mères très variées, la couverture pédologique est peu diversifiée : le sol dominant est le latosol. Deux grands types de latosols sont représentés : un en position de plateau, l'autre dans les bas niveaux entre les plateaux.

Le profil du latosol de plateau est à peu près toujours le même, que le substrat soit un grès, un quartzite, une marne, un gneiss, une amphibolite ou un basalte. Ce profil comporte :

- un horizon humifère peu épais et peu coloré, finement grumeleux,
- un horizon AB de transition, terne ou pâle, légèrement cohérent, de quelques dizaines de cm à 1 m d'épaisseur,
- un horizon B2 coloré, rouge, beige ou jaune, de texture variée, toujours très poreux et très friable, riche en pseudo-sables. Cet horizon a de 1 m à 1,5 m d'épaisseur. Il passe progressivement à :
- un horizon B3, un peu moins poreux et moins friable que le précédent.

L'altérite est rencontrée à 3 m, 4 m ou parfois à 5 m de profondeur. Elle présente souvent des plages de roche altérée encore reconnaissable. La partie supérieure de cette altérite ressemble beaucoup à l'horizon B3. On a l'impression de passer très progressivement de l'un à l'autre. Cependant une ligne festonnée d'éléments grossiers, la plupart du temps très tenue, constituée de sables des quartz grossier ou de nodules ferrugineux millimétriques les sépare de façon systématique. Cette ligne s'épaissit parfois et se transforme en nappe de gravats à quartz et gravillons ferrugineux. Très rarement le sommet de l'altérite est induré en cuirasse ferrugineuse. Les constituants minéraux de ce latosol de plateau sont le quartz, la kaolinite et les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium. Ces derniers sont sous forme de goethite, d'hématite et de gibbsite. L'importance relative de ces constituants est sous l'étroite dépendance de la lithologie.

Sur basalte on a le mélange kaolinite, hématite, gibbsite ; sur grès on a souvent : quartz, hématite, goethite ; le cas le plus général est l'association : quartz, kaolinite, goethite, hématite, gibbsite, avec des proportions importantes de gibbsite. La goethite est toujours fortement aluminisée. Le pH est voisin de 5 ; les taux de saturation en bases ne dépassent pas 20 %. Ce sont des oxisols typiques ou des sols ferrallitiques fortement désaturés en B, également typiques.

Dans l'intervalle des plateaux apparaissent d'autres latosols, ceux-ci sont associés à des sols latéritiques. Les sols latéritiques sont localisés dans les zones à modelé jeune des entailles où les affleurements de roche, socle cristallin, grès, schistes, sont nombreux. Ils ont une morphologie de sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ils présentent des horizons superficiels appauvris ou lessivés en argile et en fer ; leur couleur est brun-grisâtre ou beige grisâtre ; ils peuvent être très graveleux à gravillons ferrugineux. L'horizon B1 est beige, généralement peu épais ; il surmonte un horizon B2 ferrugineux différencié au sommet d'une altérite. Le matériau d'altération a une épaisseur variable, il est kaolinique et contient souvent de l'illite, parfois des traces de minéraux argileux 2/1. La structure de la roche mère y est rapidement reconnaissable. A sa partie supérieure, l'horizon B2 est soit rubéfié soit induré, à induration localisée ou continue sous forme de carapace ou de cuirasse ferrugineuse. Ces sols latéritiques sont bien caractérisés dans les grandes entailles du plateau : celle de la dépression du rio Tocantin-Araguaia, celle de la région de Cuiaba en bordure du Pantanal du Mato-Grosso, celle du cours inférieur du rio Parnaíba. Dans ces grandes entailles un relief intermédiaire en longs versants de faibles pentes et à couverture de latosols les isole des bordures des plateaux.

Ces latosols des entailles sont différents des latosols des plateaux : l'ensemble A, AB, B2 est moins épais, la texture en B2 est plus légère, l'appauvrissement en argile est accusé, la désaturation en bases est moindre, la micronodulation de l'horizon B2 est beaucoup moins développée. Les horizons de profondeur sont comparables à ceux des sols latéritiques situés à leur aval : l'altération n'est jamais très épaisse, elle est kaolinique (elle est, en règle générale, un peu plus épaisse et plus franchement kaolinique que celle des sols latéritiques) ; le sommet de l'altérite est gravillonnaire, ferruginisé, parfois cuirassé. La gibbsite est, en règle générale, absente : la goethite est seule présente dans les nodules ferrugineux et les cuirasses, les substitutions en aluminium y sont très faibles. Ces latosols restent des oxisols ; ce sont aussi des sols ferrallitiques moyennement désaturés en B, « remaniés ».

Dans cette région du Brésil Central il y a, par ail-

leurs, trois grandes zones de sols hydromorphes. Ce sont trois fossés tectoniques dans l'axe Cuiaba-Sao Luiz : la dépression du Pantanal du Mato-Grosso, la dépression de l'Araguaia et la baie de Sao Luiz du Maranhao. C'est sur cet axe que sont situées les seules cuirasses massives de plateau connues au Brésil.

4.2. Les différenciations ferrallitiques en Amazonie (fig.4)

En Amazonie ce sont les sols latéritiques qui, par leur extension, sont les sols les plus représentés. Mais on trouve aussi des latosols. Il y a deux domaines à latosol comme dans le Brésil central.

Les sols latéritiques sont les sols des formations sédimentaires, principalement des formations quaternaires du centre de la cuvette amazonienne et les sols des paysages à modelé rajeuni du socle cristallin. Sur les formations sédimentaires du centre de la cuvette se développent des sols latéritiques hydromorphes qui sont des sols ferrallitiques à hydromorphie de profondeur. Ces sols sont de couleur beige ou brun-rouge. Ils deviennent rapidement tachetés en profondeur. Ils sont argileux, essentiellement kaoliniques. L'horizon B2 friable n'apparaît que rarement : lorsqu'il existe, il est peu épais. Sur socle cristallin on trouve les sols latéritiques à l'amont des paysages, dans les hauts et moyens bassins des affluents de l'Amazone où les roches non altérées affleurent en abondance. Les sols sont développés sur des altérations kaoliniques profondes bien drainées. Les minéraux de la roche, incomplètement altérés se maintiennent dans tout le profil d'altération (CERRI, 1979). Il s'agit de sols ferrallitiques fortement désaturés rajeunis. Plus bas dans les bassins le sol s'épaissit ; en même temps le modelé se modifie, les affleurements de roche disparaissent et les versants prennent des formes convexes. Cette évolution est particulièrement sensible dans l'état du Para où l'on passe d'un paysage à modelé rajeuni et sols peu épais à un modelé multi-convexe en demi-oranges bien caractérisées à sols ferrallitiques épais à horizon B friable et poreux. De tels sols ferrallitiques se distinguent assez mal des latosols. Le concrétionnement et l'induration ferrugineuse y sont extrêmement rares au sud de l'Amazone, ils seraient, par contre, relativement fréquents au nord sur le bouclier guyanais.

Plus près de l'Amazone ces sols succèdent à des latosols vrais. En Amazonie centrale et orientale l'enveloppe des collines en demi-orange tend à se fondre au bas plateau amazonien qui n'est bien conservé que sur les formations sédimentaires. Au centre du bassin amazonien un bas plateau à couverture de latosols est parfaitement reconnaissable même en zones de bouclier cristallin. Sur sédiments ces latosols du bas plateau sont jaunes, fortement appauvris en argile, de texture moyenne (30-50 % d'argile en B), pauvres en fer,

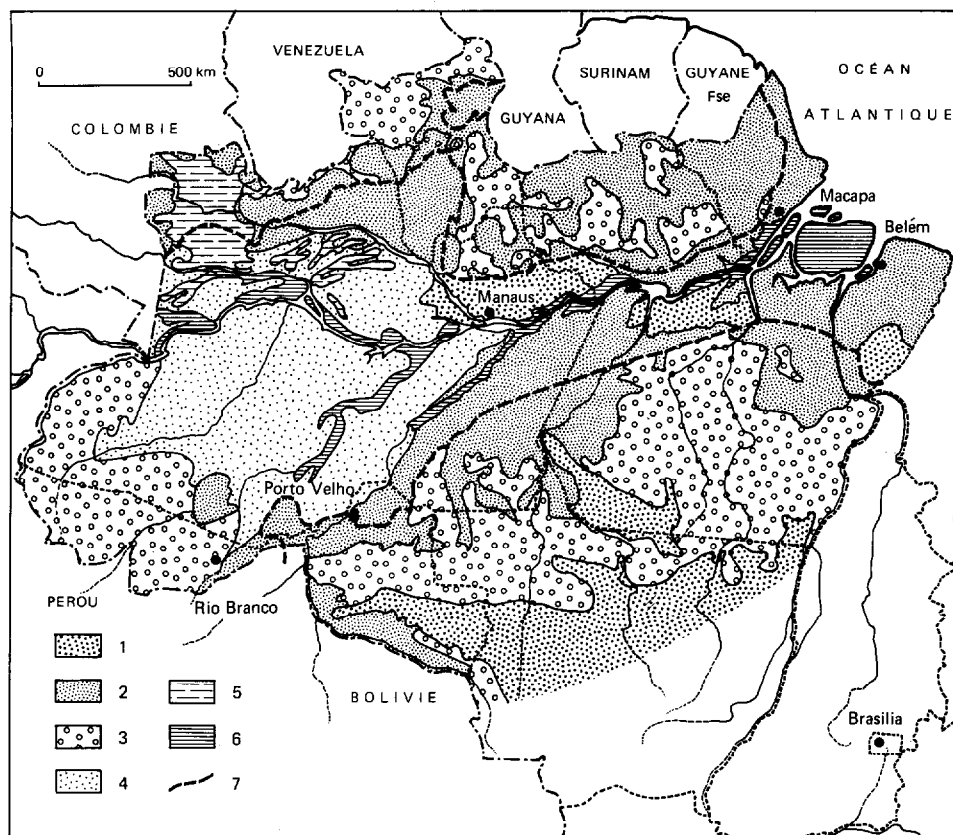


Fig. 4. — Organisation de la couverture pédologique de la région amazonienne : 1, domaine des latosols typiques ; 2, domaine des autres latosols (latosols du bas plateau amazonien) ; 3, domaine des sols latéritiques non hydromorphes (sols ferrallitiques) ; 4, domaine des sols latéritiques hydromorphes (sols ferrallitiques à hydromorphie de profondeur) ; 5, domaine des podzols ; 6, zones hydromorphes inondables ; 7, limite des formations sédimentaires.

acides, sans gibbsite ; la goethite est le seul oxyde de fer présent. Ils sont bien caractérisés dans la région de Bélem et sont identiques aux sols de la frange des plateaux côtiers sur formation Barreiras entre Recife et Rio de Janeiro. Sur socle cristallin, dans le nord de l'état de Rondonia (région de Porto-Velho) ou dans le bassin du haut rio Negro, les latosols du bas plateau amazonien peuvent être légèrement colorés par un peu d'hématite mais leur couleur la plus générale reste jaune. Ils sont argileux, fortement désaturés en bases, kaoliniques avec des proportions variables, mais souvent faibles de gibbsite. Dans le bassin du haut rio Negro ce niveau est mal différencié. Au centre de ce bassin, les latosols ne constituent que d'étroites auréoles autour des affleurements rocheux et des inselbergs, l'essentiel du bas plateau est occupé par des podzols humiques. La forêt dense est alors remplacée par une végétation ouverte à arbres de plus petite taille et larges plaques de sable nu. En bordure du bassin, où le modelé est

légèrement ondulé, les latosols occupent les hauts versants et les podzols le bas des versants. Ces latosols sont développés sur de très épaisses arènes d'altération gibbsitiques.

Le bas plateau est dominé par un autre plateau lui aussi couvert de latosols. Le plateau supérieur n'est qu'à quelques dizaines de mètres au-dessus du bas plateau en Amazonie Centrale entre Manaus et Belem. Au sud, en limites de la région amazonienne, il est par contre beaucoup plus élevé, son altitude est de 500-800 m. On retrouve là le Plateau Central brésilien. Ce dernier s'avance en effet dans le domaine de la forêt amazonienne. Il est légèrement incliné vers le nord et disparaît par endroits de façon brutale en formant un relief escarpé comme en Rondonia, ailleurs il s'affaisse progressivement. Il est toujours fortement disséqué et on en observe que des témoins isolés ; ceux-ci n'ont une certaine importance que dans les zones des couvertures gréseuses du bouclier cristallin. Les latosols sont pro-

fonds, presque tous de couleur jaune, à horizon humifère très mal différencié. Ils sont parfois sableux ; le plus souvent ils sont très argileux (jusqu'à 80 % d'argile) tout en restant très poreux et friables dans l'horizon B ; ils sont pauvres en fer et rarement gibbsitiques bien que par endroits on puisse trouver des accumulations de gibbsite en profondeur, accumulations suffisantes pour constituer des gisements exploitables de bauxite. Le complexe échangeable est très désaturé. Ces sols sont acides, riches en aluminium échangeable comme les latosols du Plateau Central.

4.3. La couverture du Nordeste à reliques ferrallitiques (fig.5)

Le Plateau Central du Brésil pénètre profondément dans le Nordeste semi-aride où il forme une série de hauts reliefs : Chapada Diamantina, Serra de Araripe, par exemple, dont les altitudes avoisinent 1 000 m. La végétation de ces plateaux est généralement une savane arbustive claire. Ces hauts niveaux topographiques sont couverts de latosols typiques à morphologie identique à celle des latosols du Plateau Central. Ils sont le plus souvent jaunes, rarement rouges ou beiges. L'oxyde de fer dominant est la goethite, goethite fortement substituée en aluminium (VOLKOFF, 1983) ; la gibbsite est exceptionnelle. Comme les sols du Plateau Central ils sont fortement désaturés en bases et acides.

Ce sont cependant les basses pénéplaines intérieures et littorales qui, plus que les plateaux caractérisent le Nordeste. Ces pénéplaines portent une couverture discontinue de latosols, de latosols très différents des latosols des plateaux. Leur texture est plus légère, ils sont plus nettement appauvris en argile. L'altération au contact de la roche saine sous-jacente est typiquement bisiallitique alors que le sommet de l'altérite est kaolinique ferruginisé, à petits volumes et nodules ferruginisés indurés ; l'induration est d'ailleurs souvent continue en carapace ferrugineuse. Le contact entre le matériau superficiel du sol proprement dit et l'altérite ferruginisée est brutal, la limite est soulignée par une concentration de gravillons ferrugineux et de graviers de quartz. La fraction fine du sol comporte de la kaolinite, parfois des traces de smectites. La goethite présente est très faiblement substituée en aluminium ; il n'y a jamais de gibbsite. Le sol est faiblement désaturé en bases ; le pH est légèrement acide. Ces latosols occupent de longs versants à très faibles pentes, qui prennent une allure de glaciers lorsqu'ils entourent des inselbergs. Ils sont associés à des planosols et des solonetz solodisés qui se placent à leur aval. Le passage est marqué par un talus qui correspond à une rapide réduction de l'épaisseur des horizons meubles supérieurs et la disparition des niveaux ferruginisés qui surmontent l'altération smectitique.

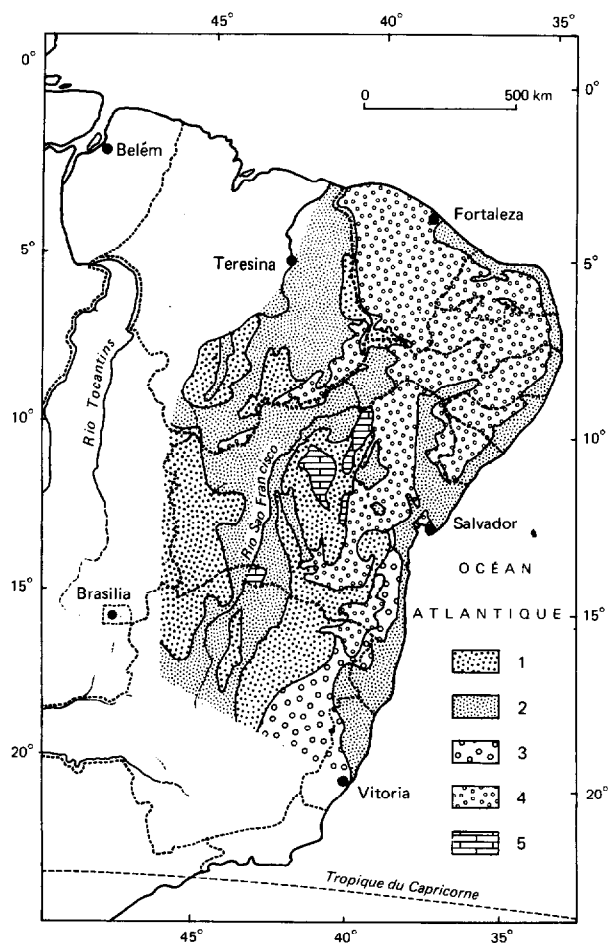


Fig. 5. — Organisation de la couverture pédologique du Nordeste : 1, domaine des latosols typiques (latosols des plateaux) ; 2, domaine des autres latosols (latosols des pénéplaines et des bas plateaux côtiers) ; 3, domaine des sols latéritiques non hydromorphes (sols ferrallitiques) ; 4, domaine des sols ferrallitiques ; 5, complexe calcaire.

Ces latosols, sols ferrallitiques faiblement désaturés, sont les sols le plus largement représentés dans la moyenne vallée du São Francisco. En dehors de cette vallée ils n'apparaissent que dans l'Est de l'état de Bahia où ils viennent se confondre avec les sols des bas plateaux côtiers (« tabuleiros ») ; ils deviennent alors nettement désaturés et perdent leurs altérations smectitiques.

Dans les zones du Nordeste à latosols rares les affleurements de roches saines sont très nombreux et les sols sont des sols ferrallitiques développés à partir d'altérites peu épaisses constituées de kaolinite, illite, smectites et de minéraux de la roche non altérés. Au sommet de l'altérite se différencie un horizon B gris, brun ou brun-rouge, polyédrique à prismatique, n'ayant pas plus

de 50 cm d'épaisseur. Les horizons A correspondent à quelques dizaines de centimètres de matériau meuble, sableux ou sablo-argileux, souvent caillouteux, sans accumulation humifère très apparente. Ces sols fersiallitiques occupent des pénéplaines parsemées d'inselbergs. Le modelé, dans le détail, est relativement accidenté, ce qui, joint à l'hétérogénéité du substrat, détermine une très grande diversification, à courte distance, des sols. La couverture pédologique fersiallitique associe ainsi des sols bruns eutrophes, sols bruns eutrophes ferruginisés, sols fersiallitiques appauvris, sols du type ferrugineux tropical appauvris, vertisols, planosols, solonetz et solonetz solodisés. Tous ces types de sols sont à complexe d'échange peu désaturé.

4.4. Le Sudeste et le Sud subtropical (fig.6)

Le Plateau Central brésilien est relevé, et fortement disséqué, vers le Sudeste. A proximité de l'Atlantique il n'est plus représenté que par un alignement de dômes et de croupes rocheuses. Dans un tel modelé il n'y a plus de latosols de plateau. Sur les points hauts du paysage, en altitude donc, on rencontre seulement des sols peu épais présentant des caractéristiques particulières (SILVA, 1985). Ces sols sont développés sur des altérites très épaisses. Elles sont à kaolinite, gibbsite abondante et interstratifié mica-vermiculite et sont riches en minéraux de la roche incomplètement altérée. Le sol proprement dit a environ 1 m d'épaisseur ; il est jaune,

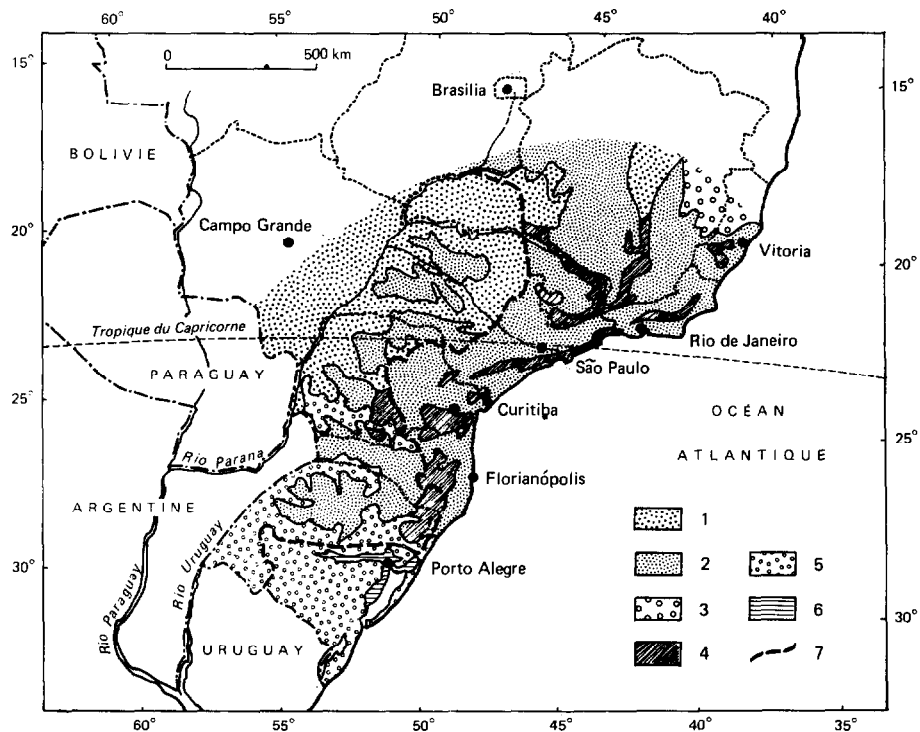


Fig.6. — Organisation de la couverture pédologique de la région Sud-Sudeste : 1, domaine des latosols typiques ; 2, domaine des autres latosols (latosols intergrades) ; 3, domaine des sols latéritiques non hydromorphes (sols ferrallitiques) ; 4, domaine des cambisols ; 5, domaine des sols fersiallitiques ; 6, zones hydromorphes ; 7, limites du plateau gréso-basaltique.

Une importante partie du Nordeste, enfin, est occupée par des roches mères calcaires, calcaire dolomitique précambrien (formation Bambui) sur lesquelles se développe une couverture pédologique complexe à latosols rouges (faiblement désaturés), sols fersiallitiques rouges à accumulations carbonatées diffuses, sols bruns à croûte calcaire et vertisols. Cet ensemble s'individualise nettement dans le Nordeste par sa complexité et la spécificité de ses sols.

très argileux, à faible gradient textural ; l'horizon B est massif à tendance prismatique tout en étant relativement friable ; il est très acide, fortement désaturé en bases, très riche en aluminium échangeable. Contrairement au niveau d'altération, le sol contient peu de minéraux altérables ; la fraction fine est constituée de kaolinite, de vermiculite alumineuse, de gibbsite, goethite à forte substitution d'aluminium. Il s'agit de cambisols acides ou, dans le système français de classification, de

sols ferrallitiques fortement désaturés rajeunis (ou pénévoués).

Les dômes et croupes rocheuses, reliques d'un haut plateau, émergent d'un paysage mollement ondulé en collines à versants convexes, par endroits en demi-oranges très typiques. La tectonique mouvementée de cette partie du Brésil (MELO, 1984) a créé une succession de compartiments étagés entre le niveau de la mer et 1 000 m d'altitude. Sur ces collines le sol caractéristique est un latosol à horizon A humifère foncé de 20-30 cm d'épaisseur, horizon B1 jaune massif, horizon B2 beige ou rouge, grossièrement polyédrique ou prismatique, poreux et friable, et horizon B3 massif, très poreux et très friable. Sur socle cristallin une altérite meuble apparaît à 3-4 m de profondeur ; elle est extrêmement épaisse ; elle s'enrichit très vite en éléments de roche très altérés. Ces latosols sont plus nettement kaolinique que les cambisols qui les dominent ; comme ces derniers ils présentent, mais en quantité moindre, de la gibbsite et de la vermiculite alumineuse. Par rapport à tous les autres latosols décrits jusqu'alors, ces latosols du Sudeste ont la particularité d'être légèrement structurés en B2. Ce caractère paraît lié à l'abaissement de la température. Dans le Sudeste son intensité varie avec l'altitude et la latitude. Il disparaît au nord de Vitoria.

Dans le bassin sédimentaire du Parana, on constate que le Plateau Central se maintient pratiquement intact jusqu'au tropique du Capricorne. Sur les substrats gréseux et basaltiques il conserve sa couverture de latosols typiques. Sur basalte le latosol de plateau est appelé « terra roxa legitima », terra roxa vraie. C'est un sol à kaolinite, gibbsite et hématite, à structure micronodulaire particulièrement bien développée. Il s'oppose à la « terra roxa estruturada » (MELFI, 1968) terra roxa structurée à structure prismatique ou polyédrique grossière dans le B2. Au nord du tropique ce type structuré apparaît en aval des terra roxa vraies ; au sud, dans l'état du Parana et plus vers le sud encore, il envahit l'ensemble du paysage. La morphologie du plateau se modifie ; on passe à d'amples croupes très largement convexes. Les sols associés à ce paysage rappellent les latosols du socle cristallin du Brésil du Sudeste : ils ont un horizon B2 prismatique ou polyédrique grossier, poreux et friable, ce B2 surmonte un horizon B3 massif mais très poreux et très friable ; ils sont acides, présentent des traces de vermiculite alumineuse, la gibbsite est, par contre, tout à fait exceptionnelle. Comme sur socle on retrouve les cambisols sur les points élevés du plateau gréso-basaltique ; ils sont formés à partir des roches effusives acides qui coiffent les épanchements basaltiques. Quelles que soient les roches mères les cambisols du Sudeste ont tous des caractéristiques très voisines (VOLKOFF *et al.*, 1984).

A l'extrême sud du Brésil, au sud de la latitude de Porto Alegre, en dehors donc des limites du domaine tropical proprement dit, se développent, sur basaltes des vertisols (ROSSIGNOL, 1981), sur roches cristallines des sols lessivés acides et des brunizem (VOLKOFF *et al.*, 1979). Cet ensemble de sols a été regroupé ici (fig.6) dans un même domaine fersiallitique avec les sols rouges peu épais, à minéraux argileux 2/1, moyennement ou faiblement désaturés en bases, des entailles du plateau gréso-basaltique.

5. CONCLUSIONS

Toutes les grandes régions naturelles du Brésil sont donc constituées de domaines pédologiques différenciés à caractéristiques distinctes.

Dans chaque région on observe deux domaines à latosols :

— *dans le Brésil Central* : un plateau supérieur à latosols typiques et un niveau inférieur à autres latosols emboîté dans le premier. Les latosols typiques sont, suivant le système français de classification, des sols ferrallitiques fortement désaturés typiques ; les autres latosols sont des sols ferrallitiques moyennement désaturés remaniés ;

— *en Amazonie* : un plateau supérieur à latosols typiques et un bas plateau à autres latosols (sols ferrallitiques fortement désaturés appauvris) à l'intérieur desquels se différencient un domaine latéritique hydromorphe et un domaine à podzols ;

— *dans le Nordeste* : des restes d'un plateau très fragmenté à latosols typiques et des basses plaines à autres latosols (sols ferrallitiques faiblement désaturés remaniés) ;

— *dans le Sud et le Sudeste* : un plateau à latosols typiques en grande partie substitué par des reliefs à cambisols acides et un niveau généralisé à latosols structurés en B, intergrades latosols, qui dans le système français de classification seraient comme les latosols typiques classés comme sols ferrallitiques fortement désaturés typiques.

La plupart des domaines ont leur homologues dans chacune des régions. Ils sont parfois très semblables, parfois notablement différents. Si l'on considère l'ensemble du pays, les plateaux à latosols typiques constituent, par exemple, une seule et même unité sol-paysage qui s'étend de l'Amazonie au tropique du Capricorne. Les sols y ont en commun un extrême développement de l'assemblage du plasma ferro-kaolinique en micronodules (BENNEMA *et al.*, 1970 ; PEDRO *et al.*, 1976) ; ils ont tous une structure « aliatique »

(CHATELIN et MARTIN, 1972) ou en poudre de café suivant la terminologie brésilienne. Les plateaux paraissent tous dériver d'une même surface d'aplanissement généralisée sud-américaine (KING, 1957 ; BRAUN, 1971) élaborée au cours du tertiaire. Le second niveau à latosols, en contrebas du premier, ne forme pas une unité aussi homogène. Les latosols ne présentent pas une organisation structurale micronodulaire aussi poussée et des différences apparaissent d'une région à l'autre : appauvrissement en argile, voire même transformation en podzols en Amazonie, faible désaturation du complexe et apparition d'une altération smectitique des roches sous-jacentes dans le Nordeste, accumulation ferrugineuse marquée dans le Brésil Central, structuration de l'horizon B dans le Sud et le Sudeste. Il y a donc des caractères spécifiques à chaque région et ceux-ci sont à mettre en relation avec les facteurs climatiques actuels. Ce second niveau s'identifie à un aplanissement postérieur au cycle sud-américain. Il n'en a pas eu l'ampleur et ne semble pas avoir joué partout avec la même intensité, ni avoir été synchrone dans toutes les parties du Brésil. Selon les régions, il serait d'âge fin tertiaire (KING, 1957) ou début quaternaire (BARBOSA *et al.*, 1973 ; NASCIMENTO et PRATES, 1976).

Dans l'intervalle des zones aplanées à couverture de latosols, les modelés rajeunis portent des sols très variés. Ces sols dérivent, soit par transformation soit par éro-

sion des deux générations de latosols. Ils en conservent certains caractères relictuels ; mais ceux-ci ne masquent jamais les manifestations d'une pédogénèse récente des roches dans les conditions correspondant à celles du climat actuel. Ainsi sous climat tropical humide se forment des sols ferrallitiques, sous climat tropical sec des sols fersiallitiques, sous climat subtropical d'altitude des cambisols.

La couverture pédologique repose donc sur 2 éléments : 1) les latosols très évolués, probablement très anciens occupant une surface d'aplanissement tertiaire en position haute dans le paysage ; 2) des latosols moins évolués, probablement plus jeunes sur un niveau d'aplanissement postérieur. Les premiers paraissent très stables ; ils coiffent, souvent seuls, des reliefs résiduels. Les seconds sont beaucoup plus sensibles aux processus de dégradation ; ils sont associés à des sols plus jeunes qui en dérivent, soit par transformation, soit par érosion. Sur ces bases une chronologie des différenciations s'établit aisément (PEDRO et VOLKOFF, 1984). On constate aussi que la compartimentation de la couverture pédologique à l'échelle du pays n'est pas, comme on aurait pu le croire étant donnée la dimension continentale du Brésil, uniquement d'origine climatique. Dans la différenciation des grands ensembles de sols, le facteur historique, avec ses composantes géologiques et géomorphologiques, semble tout à fait prépondérant.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 17 janvier 1986

BIBLIOGRAPHIE

- AB'SABER (A.B.), 1969. — Participação das superfícies aplanadas nas paisagens do Nordeste brasileiro. USP. Instituto de geografia. Geomorfologia n° 19, 38 p.
- ALMEIDA (F.F.M.) de, 1964. — Fundamentos geológicos do relêvo paulista. USP-IGEOG, série teses e monografias n° 14, São Paulo, 99 p.
- AUBERT (G.) et DUCHAUFOUR (Ph.), 1956. — Projet de classification des sols. Congrès intern. Sc. sols, 6, Paris E : 597-604.
- AUBERT (G.) et SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.* IV(4) : 97-112.
- BARBOSA (G.V.), BOAVENTURA (R.S.) et PINTO (M.N.), 1973. — Geomorfologia. In BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projet RADAM. Parte das folhas SC.23 rio São Francisco e SC.24 Aracajú. Rio de Janeiro.
- BENNEMA (J.), CAMARGO (M.) et WRIGHT (A.C.S.), 1962. — Regional contrasts in South American soil formation in relation to soil classification and soil fertility. Intern. Soil Conf., New Zeland : 2-15.
- BENNEMA (J.), JONGERIUS (A.) et LEMOS (R.C.), 1970. — Micromorphology of some oxic and argillic horizons in South Brazil in relation to weathering sequences. *Geoderma*, 4 : 333-355.
- BIGARELLA (J.J.), MOUSINHO (M.R.) et SILVA (J.X.) de, 1965. — Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia* (16-17) : 117-151, Curitiba.
- BRESIL-DNPM, 1981. — Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais à escala 1/2 500 000. Departamento Nacional da produção mineral. Ministério das Minas e Energia Brasília.

- BRESIL-IBGE, 1978. — Carte physique du Brésil au 1/5 000 000. Rio de Janeiro.
- BRAUN (O.P.G.), 1971. — Contribução a geomorfologia do Brasil Central. *Rev. bras. de Geogr.* Rio de Janeiro 33(1) : 3-37.
- CAMARGO (A.P.) de, ALFONSI (R.R.), PINTO (H.S.) et CHIARINI (J.V.), 1977. — Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de Cerrado. In IV Simposio sobre o Cerrado, Brasília 1976. M.G. Ferri coordenador. USP (Reconquista do Brasil, v.38) São Paulo : 89-105.
- CERRI (C.C.), 1979. — Alteração e pedogênese em áreas graníticas situadas em diferentes condições bioclimáticas do Brasil. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, U.S.P. Brasil, 248 p.
- CHATELIN (Y.) et MARTIN (D.), 1971. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.* X(1) : 25-44.
- COSTA (R.C.R.) da et MELO (D.P.) de, 1975. — Geomorfologia. In BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM BRASIL. Folha NA.21 Tumucumaque e parte da folha NB.21. Rio de Janeiro, 370 p.
- KING (I.C.), 1957. — A geomorfologia do Brasil oriental. *Rev. bras. de Geogr.* Rio de Janeiro 18(2) : 147-263.
- MELFI (A.J.), 1968. — Contribution à l'étude des « terras roxas legítimas » du Brésil. Caractéristiques géochimiques et minéralogiques des formations de Campinas. *Bull. A.F.E.S.* n° 6 : 31-39.
- MELFI (A.J.) et PEDRO (G.), 1977. — Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 — Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogequímica. *Rev. bras. Geoc.* 7 : 271-286.
- MELFI (A.J.) et PEDRO (G.), 1978. — Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2 — Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. *Rev. bras. Geoc.* 8 : 11-21.
- MELFI (A.J.), PEDRO (G.) et VOLKOFF (B.), 1979. — Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. *Rev. bras. Sci. do solo*, 3 : 47-54.
- MELO (M.S.) de, 1984. — La tectonique méso-cénozoïque et le paysage du S-E brésilien. In C.R. du séminaire du lab. de géologie du Quaternaire : genèse des paysages brésiliens ; 25 juin 1984. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XIV (2) : 173-174.
- PEDRO (G.), 1966. — Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle aluminosilicique). *C.R.Ac. Sc. Paris*, 262 : 1828-1831.
- PEDRO (G.) et VOLKOFF (B.), 1984. — Grandes provinces pédologiques du Brésil. Cadre général de l'évolution pédologique. In C.R. du séminaire du lab. de géologie *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XII (2) : 165-169.
- du Quaternaire : genèse des paysages brésiliens ; 25 juin 1984. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, XIV(2) : 171-172.
- PEDRO (G.), CHAUVEL (A.) et MELFI (A.J.), 1976. — Recherches sur la constitution et la genèse des Terra Roxa Estruturada du Brésil. Introduction à une étude de la pédogénese ferrallitiques. *Ann. Agron.* 27(3) : 265-294.
- QUEIROZ NETO (J.P.), 1982. — Solos da região dos cerrados e suas interpretações. *Rev. bras. Sci. do solo*, 6(1) : 1-12.
- ROSSIGNOL (J.P.), 1981. — Etude de quelques sols développés sur basalte dans le Nord de l'Uruguay : essai de caractérisation du lessivage en milieu vertique. Thèse, Univ. de Rennes, 255 p.
- SILVA (F.B.) da, 1985. — Os cambissolos da porção central da província estrutural da Mantiqueira e suas relações com as latossolos : alteração e pedogênese. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, U.S.P. Brasil, 261 p.
- THORP (J.) et SMITH (G.D.), 1949. — Higher categories of soil classification, order, suborder and great soil groups. *Soil Sc.* 67 : 117-126.
- TROMPETTE (R.), DELVIGNE (J.) et PARISOT (J.C.), 1982. — La documentation de base sur la géologie du Brésil. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XII (2) : 165-169.
- VOLKOFF (B.), 1983. — Iron constituents of the latosolic cover in Northern Brazil. In Lateritisation processes ; Proceeding of the IInd International Seminar on Lateritisation processes. Ed. A.J. Melfi & A. Carvalho. São Paulo, 1983 : 527-540.
- VOLKOFF (B.), CERRI (C.C.) et MELFI (A.J.), 1984. — Humus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *Rev. bras. Sci. do solo*, 8 : 277-283.
- VOLKOFF (B.), MELFI (A.J.) et CERRI (C.C.), 1979. — Les sols sur roches cristallines formées sous climat subtropical humide au Brésil. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.* 17(3) : 163-183.