

уменьшению содержания органического вещества и осветлению окраски почв. Эти почвы поэтому должны быть рассмотрены как типы почв аридной зоны, эквивалентные обычным типам почв гумидной и субгумидной областей. Для четырех типов почв приведены описания профилей и результаты химических анализов: светлокаштановая (Calcic Castanozems), бурозем (Eutric Cambisols), светлый бурозем (Calcic Cambisols), рендзин (Rendzins).

10^e congrès international de la
science du sol. Moscou. 1974

LES COUVERTURES DE SOLS SOUDANO-SAHELIENNES DU TCHAD AU SENEGAL,
PRINCIPES SUCCESSIFS DE CARACTERISATION ET D'INTERPRETATION

M. Gavaud, R. Boulet, A. Leveque
Office de la Recherche scientifique et
Technique Outre-Mer, Paris,
France

I. Introduction

Les observations présentées s'appliquent à une partie de la zone soudano-sahélienne située entre le lac Tchad et le Cap Vert et comprenant tout ou partie des territoires du Tchad, du Niger, de la Haute-Volta, du Sénégal et accessoirement, du Cameroun, de la Nigeria et du Togo Septentrionaux. La zone climatique concernée est limitée par les isohyètes annuels moyens de 200 mm au Nord et 900 mm au Sud. On considèrera principalement les sols des régions très aplanies à tectonique calme, développés sur le socle cristallin et les sédiments mésozoïques à cénozoïques.

Les données pédologiques sont le fruit de trois étapes successives caractérisées chacune par des méthodes et hypothèses de travail particulières. La première étape comporta des reconnaissances extensives, la seconde des cartographies régulières, la dernière des études détaillées de sites.

II. Les reconnaissances extensives

Appuyées sur une classification génétique (Aubert, 1963), elles aboutirent à la description d'une répartition zonale matérialisée par la carte des sols d'Afrique au 1:5.000.000 (CCTA, 1964). Du Sud au Nord s'y succèdent la frange septentrionale des sols ferrallitiques, la zone des sols ferrugineux puis celle des sols subarides. A cette succession se surimposent des sols intrazonaux vertiques, hydromorphes ou halomorphes, dans les vallées et les dépressions.

O. R. S. I. O. M.

Collection de Référence

n° 8612

Pedo

5 AVR. 1977

III. Les inventaires cartographiques

Réalisés pour la plupart à des échelles moyennes ou petites (1:100.000 à 1:500.000) ces travaux ne permettent pas d'élucider directement la dynamique des sols et des paysages. Dans une première approximation, il a fallu utiliser des hypothèses associant aux concepts de zonalité des déductions empiriques tirées de données de la géographie des sols et de la géomorphologie. Ces hypothèses, élaborées puis nuancées à mesure qu'avait la cartographie systématique, aboutirent à un schéma général d'organisation des divers types de sol et de leur succession dans les paysages.

On dissocia ainsi plusieurs couvertures pédologiques d'âges décroissants:

- Les cuirasses ferrugineuses épaisses occupant les positions hautes du paysage et qui figent des formes ne paraissant plus évoluer de nos jours que par une lente destruction - Les sols évolués associés aux modelés fonctionnels - Les sols moins différenciés des accumulations sédimentaires récentes - Enfin, les sols jeunes associés aux sédimentations continentales subactuelles et actuelles.

Ces pédogenèses successives ont, soit développé leur propre écorce d'altération, soit hérité des altérations antérieures. C'est ainsi qu'une partie importante du socle de ces régions est couverte d'un manteau kaolinique, parfois gibbsitique, pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Les formations pédologiques les plus anciennes associées à ces altérites consistent en de rares lambeaux de cuirasses bauxitiques d'âge éocène ou plus ancien (Michel, 1959). C'est donc au commencement du Tertiaire et même au Secondaire que remonte le début de l'évolution de certains matériaux d'altération, qu'ils soient en place (manteau kaolinique) ou remaniés lors de la période rhexistatique qui marqua le milieu et la fin du Tertiaire, et mit en place les grès sidérolitiques du Continental Terminal.

Une synthèse cartographique de ces différents ensembles a été récemment réalisée à l'échelle du 1:5.000.000 (O.U.A.-I.F.A.N., 1972).

Les hautes cuirasses ferrugineuses. Elles se présentent soit en lambeaux découpés et perchés en buttes témoins couronnés d'horizons indurés, kaoliniques et ferrugineux, d'épaisseur supérieure ou égale au mètre, soit comme l'enveloppe des parties hautes des

versants actuels.

Un seul niveau, le plus élevé régionalement, se distingue nettement par sa morphologie (intense nodulation hématitique rouge violacé) et la puissance de ses horizons. Il est estimé fin Pliocène (Michel, 1959). Les autres cuirasses ferrugineuses, que l'on peut ou non subdiviser, selon les régions et les roches mères, en deux niveaux distincts (Glacis supérieur et moyen glacis) fossilisent des formes étagées en contre-bas de la cuirasse pliocène et lui sont postérieures (Quaternaire). Elles présentent un aspect feuilleté ou au contraire massif et pseudopisolitique; leur ciment est à dominance brune ou noire avec toutefois des îlots nodulaires rouge violacé à faciès identique à celui de la cuirasse pliocène et que l'on interpréta, lors de cette première approche, comme hérités par remaniement mécanique de cette cuirasse plus ancienne.

L'étude micromorphologique de coupes isolées (Gavaud, 1973) montre pour le niveau supérieur (Pliocène) une organisation suggérant une trame de solum ferrallitique avec ferritisation noduleuse dissociée des mouvements de l'argile; les quartz et, partiellement, la kaolinite y sont altérés. Les cuirasses des niveaux inférieurs présentent des cutanes où le fer et l'argile sont associés tandis qu'à l'aval se manifestent des translocations tardives de manganèse; ce sont d'anciens horizons B de séquences à sols ferrugineux et hydromorphes lessivés.

L'extension latitudinale de ces témoins cuirassés est considérable, au moins en ce qui concerne les formations les plus épaisses (4° à 20° de latitude Nord). Elle est le reflet de régimes climatiques beaucoup plus uniformes que l'actuel et probablement de pluviosités plus fortes.

Les sols différenciés associés aux modelés fonctionnels. Les formes installées sur des matériaux meubles, exempts d'armature cuirassée ancienne, associent des glacis de type tropical à des dépressions plates. Les sols qui s'y développent sont sensibles à la fois aux héritages et au gradient pluviométrique latitudinal actuel.

La migration des hydroxydes de fer et de l'argile, la ferritisation et le colmatage des horizons B, l'hydromorphie secondaire, caractérisent les séquences à sols ferrugineux lessivés à concrétions et à sols hydromorphes acides. L'induration ferrugineuse ne s'y manifeste que localement, reste peu accentuée, et ne déborde pas vers le Nord l'isohyète 650mm. Ces séquences sont principale-

ment développées sur les matériaux kaoliniques hérités des écorces d'altération anciennes et les matériaux sédimentaires qui en dérivent (très continentaux).

Des caractères vertiques variablement accentués, la nodulation calcaire, l'hydromorphie, parfois associés à une certaine rubéfaction et à un appauvrissement superficiel en éléments fins caractérisent les séquences à sols bruns eutrophes ou à sols ferrallitiques et à vertisols. Les roches mères sont des argilites ou, plus souvent, des roches basiques ou granodioritiques. Lorsque la pluviométrie diminue et que l'on va vers la zone subaride septentrionale, l'épaisseur du sol décroît, l'individualisation du calcaire se généralise, les horizons humifères s'amincissent et leur teneur en matière organique diminue.

Le brunissement du solum, l'hydromorphie et l'halomorphie secondaires, également associés à la nodulation calcaire sont propres aux séquences à solonetz et à vertisols alcalisés des matériaux smectitiques sodiques issus de l'altération des roches feldspathiques. Des terres amont lessivées (sols ferrugineux, planosols) à argiles kaoliniques, n'y ont été que tardivement découverts (Bocquier, 1968) bien qu'ils soient fréquents sinon étendus.

Les sols des accumulations sédimentaires récentes. Ces accumulations sont représentées principalement par des ergs fixés qui s'étendent largement, du désert jusqu'à l'isohyète 900 cm. On y distingue deux formations majeures rapportées respectivement aux périodes arides anté-inchirienne (>40.000 B.P.) et ogolienne (18.000 B.P.) et qui matérialisent les fluctuations vers l'aride de deux oscillations climatiques importantes. Des remaniements de la couverture pédologique (mise en place de niveaux grossiers) et des dépôts alluviaux ou colluviaux précédèrent ou suivirent ces phases arides. Sur toutes ces formations se sont développés des sols à évolution semblable à celle des "sols des modèles fonctionnels" mais d'autant moins accentuée que la mise en place des matériaux est plus récente: sols régiques rubéfiés, vertiques ou solonetziques sur les matériaux argileux, sols ferrugineux peu lessivés sur les sables dunaires. La rubéfaction et la présence d'un maximum d'argile en B se prolongent toutefois uniformément sur l'erg le plus ancien jusqu'à la bordure du désert, ce qui suppose une évolution sous un climat plus humide que l'actuel, tandis que sur l'erg récent (ogolien), ces caractères sont très peu accentués.

Les sols associés aux sédimentations et remaniements subactuels ou actuels. Les reprises éoliennes subactuelles des sables dunaires sont très localisées (bordure des grandes vallées). Aucune évolution autre que celle de la matière organique n'y peut être saisie. Les dépôts alluviaux fluviaux sont fréquemment réduits; seuls des processus rapides tels que la vertisolisation, l'hydromorphie, l'halomorphie, l'individualisation du calcaire s'y manifestent.

Tendances générales de la pédogénèse. Elle s'est affaiblie en permanence au cours des temps et par sauts. Les sols ferrallitiques disparaissent au cours du Quaternaire ancien, le cuirassement diminue fortement postérieurement au "moyen glaciaire" (Acheuléen moyen), disparaissant des zones à pluviosité inférieures à 650 mm. La rubéfaction n'affecte plus les sables plus récents que 5.000 B.P. Simultanément, les argiles 2/1 se substituent aux argiles 1/1 qui régressent vers les amonts de séquence puis disparaissent. Le lessivage, la vertisolisation, l'halomorphie persistent et l'individualisation du calcaire passe par un maximum. Tout ceci corrobore l'hypothèse d'un assèchement pluvial à long terme.

IV. Les études détaillées de sites

Le tableau brossé dans le § III reste actuellement pour la zone soudano-sahélienne, le seul schéma général qui soit appuyé sur un réseau dense d'observations. Cependant, s'il rend compte de la répartition des grands ensembles de sols, il tient trop peu compte des relations génériques possibles entre les sols associés dans un même paysage. Une nouvelle étape fut ouverte (Bocquier, 1968) par l'étude approfondie de toposéquences, comportant en particulier la recherche systématique du déterminisme des variations latérales entre les profils se succédant au long de la pente. Les résultats de ces travaux, dont plusieurs sont en cours à la date où ces lignes sont écrites, nous amènent à modifier et souvent à repenser le schéma précité dans sa formulation aussi bien que dans ses concepts (cf. communication présentée à ce même congrès par Bocquier et al.). Bon nombre de limites ou de discontinuités entre horizons ou entre sols, que l'on attribuait d'emblée à l'action du milieu externe apparaissent maintenant comme le résultat de la pédogénèse. Ainsi Leprun (1972) montre que les éléments à aspect conglomératique des

cuirasses ferrugineuses quaternaires, que l'on croyait hérités mécaniquement de la cuirasse pliocène, se néoforment sur place par différenciation; il montre également que le passage du dernier niveau cuirassé quaternaire au "modèle fonctionnel" peut résulter d'une évolution pédologique. Nahon (1971) découvre que certains faciès que l'on estimait spécifiques d'un niveau cuirassé déterminé, existent en fait, variablement développés, dans tous les niveaux et résultent d'une différenciation à la fois verticale et latérale, le temps jouant par ailleurs un rôle fondamental. Sur les "modèles fonctionnels", Leveque (1969) conclut à une évolution parallèle et simultanée des sols et du modèle sur les versants, à sols ferrugineux pratiquement exclusifs, qui relient les dépressions à sols smectitiques à la pédiplaine ferrallitique du Togo. Bocquier (1971) démontre dans des toposéquences du Tchad que la pédogenèse peut être latérale et remontante: en un point donné de ces toposéquences, le sol est ainsi passé ou passera du stade sol lessivé au stade planosol, solonetz puis vertisol par invasion remontante d'horizons B. A cette séquence dans le temps et dans l'espace, Boulet et Paquet (1972) ajoutent en Haute-Volta un stade initial ferrallitique ou fersiallitique dont les profils se lessivent à leur base, donnant ainsi provisoirement des biseaux; ce lessivage alimente les illuviations remontantes de l'aval; les mêmes auteurs insistent toutefois sur l'existence de deux voies différentes de la pédogenèse, l'une où les horizons B naissent essentiellement par argilification des minéraux primaires, l'autre où, après un premier stade d'argilification in situ, se déclenchent par autodéveloppement (Bocquier, 1971) des mécanismes de lessivage et illuviation qui balayent tout le versant de l'aval vers l'amont et en transforment successivement tous les profils.

L i t t é r a t u r e

- Aubert G. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 3, 1-8, 1963.
Bocquier G. 9th Intern. Cong. of Soil Sc., 4, 605-614, 1968.
Bocquier G. Mém. ORSTOM, Paris, à paraître, 1971.
Bocquier G., Ruellan A., Millot G. 10e Congr. Int. Sc. Sol Moscou, à paraître, 1974.
Boulet R., Paquet H. C.R. Acad. Sc. Paris, 275, sér. D., 12, 1203-1207, 1972.
CCTA D'HOORE J. La carte des sols d'Afrique à 1/5000000. Publ. CCTA, Lagos, 93, 1964.
Gavaud M. Mém. ORSTOM, Paris, à paraître, 1973.
Leprun J.C. C.R. Acad. Sc. Paris, 275, sér. D., 12, 1207-1210, 1972.

- Leveque A. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. VII, 2, 203-224, 1969.
Michel P. Rev. Géomorph. dyn., X, 5-12, 117-143, 1959.
Nahon D. Dép. Géol. Fac. Sc. DAKAR, Rapp., 31, 81, 1971.
O.U.A. - I.F.A.N. Atlas de l'Ouest Africain - 2e livraison, 1972.

Résumé

Les toposéquences les plus complètes de cette zone montrent une suite ordonnée de couvertures de sols et relient des sols ferrugineux fortement indurés à des vertisols ou à des sols planiques. Elles ont été successivement décrites et interprétées en termes zonaux puis géomorphologiques et finalement dans une optique de dynamique interne de chaînes de sols. Cette dernière démontre ou pressent, selon le cas, une continuité dans le temps et dans l'espace entre des termes amont lessivés variablement ferritisés et des termes aval illuviaux variablement smectitiques. Les contrastes pédologiques et topographiques majeurs restent cependant attribués à des oscillations climatiques générales de grande ampleur.

Summary

The most complete toposquences of the region show a regular succession in soil mantle and a connection between strongly indurated ferruginous soils, vertisols and planosolic soils. These toposquences have been successively described and interpreted first in terms of zonality, then geomorphology and finally internal dynamics of soil catenas. This last viewpoint demonstrates or suggests a continuity existing in time and space between leached and variably ferritized upslope soils and illuviated variably smectitic downslope ones. The main pedologic and topographic contrasts, however, must be attributed to general and extensive climatic fluctuations.

Zusammenfassung

Die vollständigsten Toposequenzen im Tschad Gebiet zeigen eine regelmässige Abfolge der Bodeneinheiten und stellen eine Verbindung zwischen den stark verdichteten eisenhaltigen Böden und Vertisols oder Planosols dar. Diese Toposequenzen sind wiederholt beschrieben und gedeutet worden: zuerst nach klimatischer Zonalität, dann nach geomorphologischen Gesichtspunkten und schliesslich unter Berücksich

tigung der inneren Dynamik des Catenas. Die letzte Deutung beweist oder lässt vermuten, dass je nach der Lage, eine Kontinuität über Zeit und Raum besteht zwischen den höherliegenden ausgelaugten Böden, in denen Eisenoxyd unterschiedlich angereichert ist, und den tiefliegenden illuvialen, mehr oder minder smektitischen Böden. Die grössten pedologischen und topographischen Gegensätze hängen jedoch mit weitausgedehnten allgemeinen Klimaschwankungen zusammen.

Резюме

Наиболее полные почвенные катаны в этой зоне обнаруживают закономерную последовательность в почвенном покрове. Эта последовательность выражается в связи между железистыми сильно сцементированными почвами, вертисолями и планосолями.

Дано описание и интерпретация в зональном и геоморфологическом аспектах, а в заключении интерпретация в свете внутренней динамики катан

Этот аспект изучения показывает и дает основание предполагать непрерывность связи во времени и в пространстве между вышерасположенными выщелоченными, различно ожелезненными почвами и почвами ниже расположенными, в разной степени смектитовыми. Главные почвенные и топографические контрасты следует однако приписывать влиянию общих, климатических колебаний широкого значения.

SOILS OF THE PACIFIC

R.B. Miller

Soil Bureau

Department of Scientific and Industrial Research,
New Zealand

Introduction

The Pacific Basin covers 175 million km² or approximately one third of the surface area of the earth. It stretches 18,000 km from the islands of south-east Asia to the coast of South America and 14,000 km from the Aleutian Islands of Alaska to the ice-bound coasts of Antarctica.

The total land area of 860,000 km² is relatively small, being only one tenth that of neighbouring Australia or one twentieth that of the USSR. Of this total land area 54% is occupied by New Guinea and Papua, 30% by New Zealand, 13% by the large island groups of the Solomon Islands, New Caledonia, Fiji, the Aleutians, Hawaii, and the New Hebrides, and the remaining 3% by innumerable small islands ranging in size from 4000 km² to less than a hectare.

Making soil maps of this kind of surface raises peculiar problems. To show the Pacific Basin at a scale of 1:5,000,000 a sheet some 11 m² in area would be required to show a land area totalling about 350 cm². Clearly this is not practicable. However, sheet X2 of the Soil Map of the World contains about 95% of the total land area so no further maps were designed. It was decided to show the other areas as text maps.

Using the scale of 1:5,000,000 it was clear that little soil detail could be shown for most islands. As a great deal of soil survey information was available, it was considered desirable to use