

Les étapes de l'évolution des sols dans les alluvions de la Bénoué (Nord-Cameroun)

Michel GAVAUD,
Jean-Pierre MULLER, Michel FROMAGET

*Pédologues de l'ORSTOM**

RÉSUMÉ

Les alluvions du lit majeur et de la terrasse de la Bénoué (datée vers 11000 BP), dans le Nord-Cameroun, évoluent dans une ambiance confinée héritée de la pédogenèse des parties aval du bassin et du mode de mise en place. La toposéquence du système de débordement du lit majeur est formée de sols molliques sur levées, de sols hydromorphes planiques en bas de pente, de sols hydromorphes à pseudogley bruns dans les plaines, de sols vertiques puis à gley dans les cuvettes. Leurs caractéristiques résultent d'héritages sédimentaires, des effets de l'alcalinisation, de la carbonatation, de la maturation structurale, de l'hydromorphose par redistribution des hydroxydes de fer, du lessivage et de la planosolisation, de l'élaboration de matières organiques particulières. Il n'y a guère de transports latéraux mais, du fait d'une variation topographique continue des facteurs externes et d'une relative indépendance des processus internes, les horizons s'enchaînent bien le long de la pente. Ils se ramènent à la suite: A1, A2 (siège de redistributions plasmique), B1, B2 (siège des structures de gonflement), B3, C. Chaque unité verticale est définie par un complexe de processus, mécanismes, groupés et exprimés de façon précise, étendus à un volume de type gégon correspondant à un segment topographique particulier. Selon la stabilité d'organisation de la suite verticale des horizons

(profils) les gégons sont dits soit à profil variable, soit à profil constant. Des superpositions de caractères ont déduit un ordre d'apparition des processus dans le temps : phase d'orthogley, c'est-à-dire d'accumulation de nappe (Fe,Ca,Na), phase de maturation structurale, phase néoéluviale et de pseudogley lors de laquelle sont détruites les structures pré-existantes au niveau des contacts principaux (A/B, B/C). La comparaison avec les sols de terrasse montre que la dernière phase, capable d'auto-accélération, combinée à un régime de nappes perchées et l'amplifiant, finit par devenir quasi exclusive et généralise les sols planiques, au détriment des possibilités d'utilisation.

ABSTRACT

In Northern Cameroon, Benue River deposits, in the flood plain and in the 11000 years old terrace, undergo evolution in confined medium inherited from lower parts of drainage basin and from depositional pattern. Overflowing forms toposequence consists of mollic soils on the embankment, of hydromorphic planosolic soils downslope, of brown hydromorphic pseudogley soils in the plains, of vertic and gley soils in sgloughs and swamps. Their pedologic features result from sedimentary inheritances, from alcalinisation, carbonatation, structural ripening, hydromorphic ferric hydroxides removal, leaching and planosolization effects, from peculiar organic matter forming. There are hardly lateral migrations but horizons proceed fairly well downslope owing to

(*) ONAREST. Institut de Recherches Agricoles et Forestières, BP 2067, Yaoundé, République Unie du Cameroun.

continuous topographic variation of external factors and to relative independence of internal process. They form a single succession: A1, A2 (plasmic translocation locus), B1, B2 (swelling structures locus), B3, C. Vertical units are defined, everyone, by a complex of mechanisms and process, with precise arrangement and materialization, extended to a genon type volume (polypedon) corresponding to a particular topographic sector. A distinction is made between genons with stable vertical horizons sequence (profile) and others with unstable one. A chronological process sequence is deduced from pedological features superpositions, that is: an orthogley phase with, Fe,Ca,Na groundwater accumulations, then a structural ripening phase, lastly a neo-eluviation and pseudogley phase which destroys structures along main pedological contacts such as A/B, B/C limits. The comparison with terrace soils points out that last phase, prone to self acceleration, becomes almost exclusive together with an extension of perched water tables and planosols, so reducing farming capabilities.

SOMMAIRE

1. LES FACTEURS DE L'ÉVOLUTION PÉDOLOGIQUE.

- 1.1. La vallée et son bassin.
- 1.2. Le lit majeur

2. L'ANALYSE DES PROCESSUS PÉDOLOGIQUES

- 2.1. La toposéquence
- 2.2. Caractères sédimentologiques d'apparence pédologique
- 2.3. Alcalinisation, carbonatation, nodules ferrugineux
- 2.4. Maturation structurale
- 2.5. Hydromorphose par redistribution des hydroxydes de fer
- 2.6. Lessivage, planosolisation
- 2.7. Variations de quelques paramètres

3. LA SYNTHÈSE DES MACRO-ORGANISATIONS ET DES PHASES D'ÉVOLUTION

- 3.1. Les horizons le long de la toposéquence
- 3.2. Les unités verticales
- 3.3. Les phases d'évolution

4. COMPARAISON AVEC LES SOLS DE LA TERRASSE

5. CONCLUSIONS

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 4, 1976 : 321-335.

1. LES FACTEURS DE L'ÉVOLUTION PÉDOLOGIQUE

1.1. La vallée et son bassin

Les alluvions de la Bénoué sont transformées par la même pédogenèse de milieu confiné qui affecte les avals des séquences de sols du bassin. Cette évolution commune en sols hydromorphes, lessivés, planiques, faiblement alcalisés, vertiques provient d'une convergence d'effets de facteurs climatiques, topographiques, hydrologiques et d'héritages minéralogiques. Située à la hauteur du neuvième parallèle (Garoua : 13° 24' E, 9° 17' N), la vallée subit une

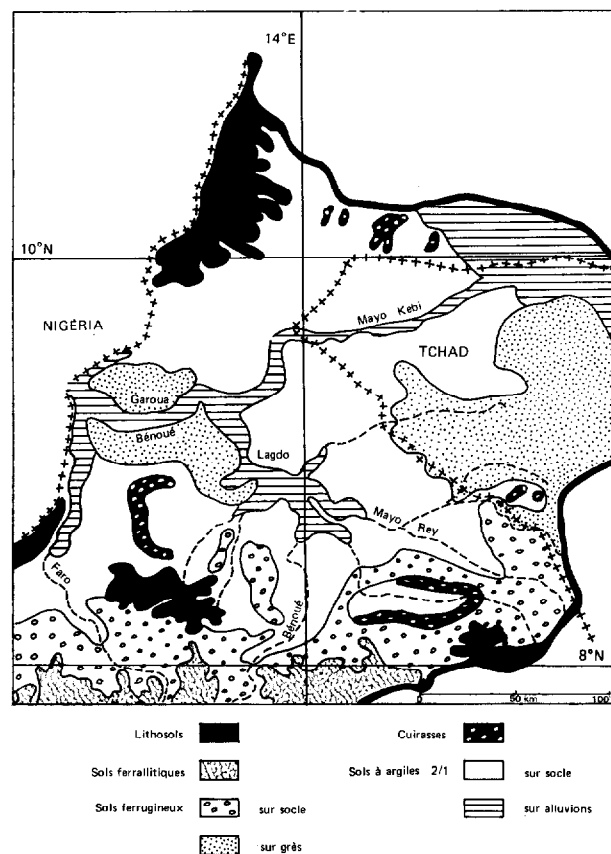


FIG 1. — Carte de situation
(d'après P. BRABANT, 1974)

variété assez humide mais très chaude et évaporante du climat sahélo-soudanais, avec des valeurs annuelles moyennes de 1 000 mm pour la pluviosité, 28,2 °C pour la température, 2 000 mm pour l'ETP. Les sols

des amonts du bassin, éluviaux, kaoliniques, ferrugineux pour la plupart, sont trop éloignés, ou peu susceptibles de fournir des débris abondants, ou en proportion trop faible de par la nature des roches-mères, granito-gneissiques en général, et de celle de l'évolution pédologique générale, pour avoir alimenté largement les alluvions de la vallée. La richesse en minéraux altérables, en argiles gonflantes de ces dernières est celle des avals d'accumulation à néogène smectitique. Leur mode de mise en place a renforcé la tendance au confinement car la vallée, autrefois creusée de 30 m à 40 m dans la roche, a été complètement remblayée par étapes. Si les dépôts les plus anciens, cailloutis rouges attribués au « Douroumien » (Hervieu, 1969), ne sont guère visibles, un second remblai affleure latéralement partout, parfois sur 4 km de large. Il est lui-même formé de trois séries emboîtées : des argiles sableuses à planosols à la base, des argiles à vertisols, dont le plancher est daté de 9000 à 11000 BP (GIF 3081 et 3359), au centre, des limons calcaires et des sables ferrugineux au sommet. Le lit majeur a assez profondément incisé cette terrasse puis s'est entièrement colmaté à son tour, au point que sa levée a presque atteint, à +7 m au-dessus du thalweg du lit mineur, la même cote relative, +8 m, que le sommet du remblai ancien. De granulométries variées mais minéralogiquement homogènes, les alluvions sont ou ont été baignées par des nappes faiblement minéralisées mais toujours basiques, bicarbonatées calciques ou plus rarement carbonatées sodiques ou sulfatées. Une alcalisation soit faible et étendue, soit forte et sporadique, des dépôts ponctuels de calcite en croûtes, nodules, voire de gypse lenticulaire, sont les effets les plus spectaculaires de l'accumulation de nappe.

1.2. Le lit majeur

En aval de Garoua, la disposition des alluvions est suffisamment régulière pour qu'un ordre dans les processus pédologiques puisse être extrait de l'examen comparé des sols. Là, le cours stabilisé et harmonieusement sinueux du lit mineur reflète l'équilibre entre charge et capacité de transport. Les inondations estivales, non canalisées, déposent leur matériel par débordement, par diminution des vitesses et filtration dans les herbes. Elles édifient, dans des méandres larges de 2 km et longs de 5 km, une succession bien suivie de formes le long desquelles, transversalement au cours, pentes, textures, durées d'inondation, végétation varient de concert. Du lit mineur vers la terrasse, on rencontre successivement : des

bourrelets de berge sableux sous végétation pionnière puis la levée limono-sableuse sous forêt, avec moins de 25 jours d'inondation ; ensuite le pied de levée à savane herbeuse en mosaïque avec moins de 50 jours d'inondation ; puis la plaine de débordement argilo-limoneuse sous haute savane et avec moins de 100 jours de crue ; viennent enfin les cuvettes de débordement, avec moins de 150 jours et les cuvettes de décantation marécageuses et argileuses avec plus de 200 jours d'inondation. La nappe sous-alluviale n'apparaît, en début de saison sèche, que vers le pied de levée à moins de 4 m de profondeur. Les pentes sont au plus de l'ordre de 0,6 % en moyenne sur la levée puis rapidement imperceptibles. Les dépôts, de plus en plus fins et de moins en moins lités et stratifiés vers le bas de pente, sont des mélanges en proportions continues (fig. 3) de sables quartzes fins (moins de 0,045 mm) contenant de petites quantités de feldspath, d'amphiboles, dans les parties les plus grossières, de micas altérés dans les parties les plus fines, de limons siliceux mêlés des mêmes micas, de corpuscules d'opale biologique (phytolites, spicules, diatomées), de granules de matière organique, d'argiles enfin qui sont une association de kaolinite et surtout de smectites ferrières et magnésiennes, d'hydroxydes de fer, le tout possédant une forte capacité d'échange (50-100 méq/100 g).

2. L'ANALYSE DES PROCESSUS PÉDOLOGIQUES

2.1. La toposéquence

En dépit de leur air de famille, les sols du lit majeur, jeunes et riches en argiles gonflantes, plus ou moins bruns, bien structurés, à ségrégations peu apparentes, ne s'en disposent pas moins en une suite compliquée mais régulièrement ordonnée de séries que la classification regroupe de la façon suivante : sur les premiers bourrelets de berge sont des sols minéraux bruts (indice 1a, fig. 2) puis des sols alluviaux bien drainés (2a), hydromorphes (3a), puis sur la levée des sols à pseudogley modéré molliques (4a1), passant par une transition à structures élargies (4a3) à des sols à pseudogley planiques et/ou faiblement lessivés et alcalinisés (4a4), ceux-là remplacés dans la plaine par des sols à pseudogley prononcé avec des structures assez fines (4b1) puis plus grossières (4b2), passant dans les cuvettes de débordement à des vertisols hydromorphes (12c) puis dans les cuvettes de

SOLS	Bourrelets			Levé		Pied de levée		Plaine de débordement		Cuvette de décantation	
	Alluviaux			Hydr. molliques		Hydromorphes planiques		Hydromorphes		Vertisols	Gley
SERIES	1a	2a	3a	4a1		4a3	4a4	4b1	4b2	12c	1, 5c, 3

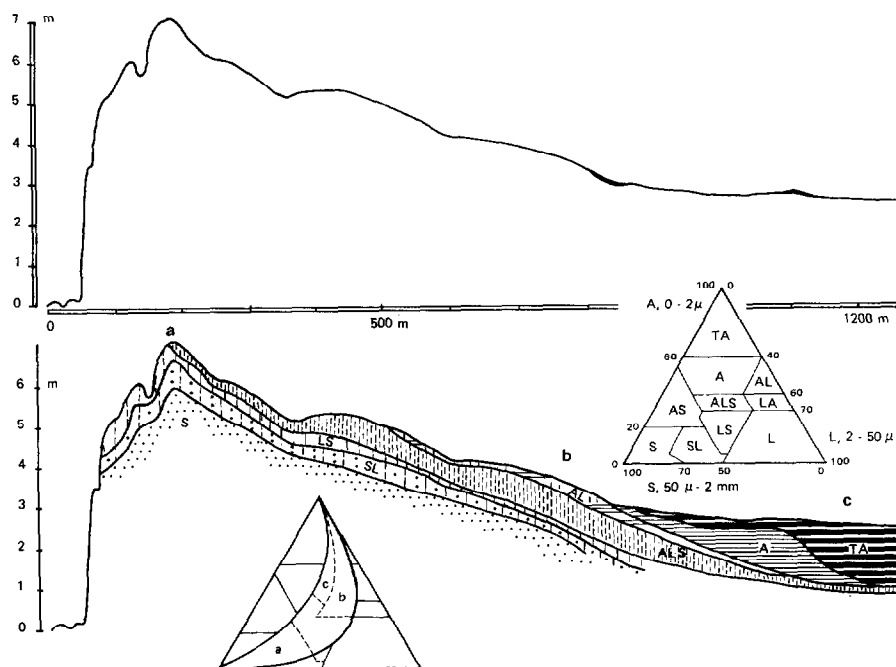


FIG. 2 (en haut). — La toposéquence

FIG. 3 (en bas). — Les textures

décantation à des gley noirs à anmoor et finalement à des gley bleus dans les marais permanents. A cette échelle il n'existe pas de migrations latérales. La disposition des textures, en particulier, est encore celle des strates (fig. 3). Il en est de même des sesquioxides

de fer lesquels pourraient migrer cependant sur de très faibles distances à l'intérieur d'une série (4b, voir Vizier, 1970). L'ordre de succession des sols et des processus est celui de la combinaison des facteurs que la position topographique suffit à déterminer.

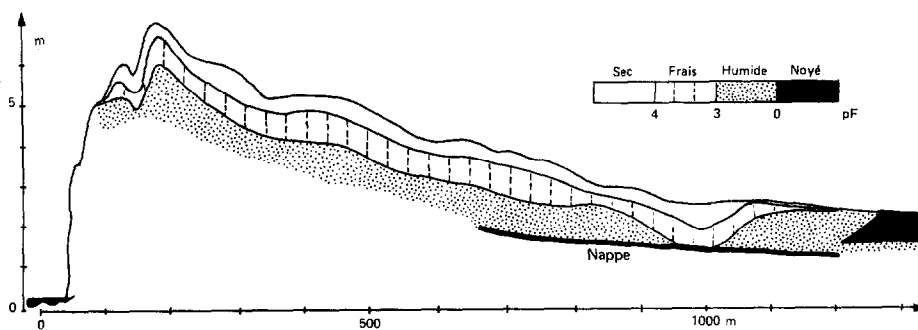


FIG. 4. — L'humidité en début de saison sèche

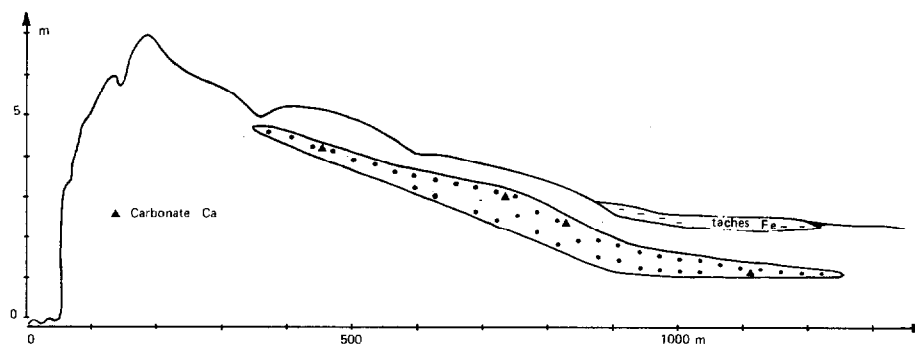


FIG. 5. — Les dépôts ferrugineux

A une échelle plus grande, celle du « polypédon », du « génon », on constate que, au moins dans certains segments de la toposéquence, les combinaisons des caractères, donc, admettons-le, celles des processus correspondants, tolèrent une part de variabilité aléatoire dans le nombre de leurs éléments. Par exemple dans un segment (génon) dont le pédon modal est à colonnettes, à horizon lessivé, à horizon alcalinisé, il existe des pédons ne présentant qu'un ou deux de ces caractères, combinés de toutes les façons possibles. On remarque également, à toutes les échelles cette fois, que nombre de caractères s'oblitérent mutuellement et dans un ordre invariable : les limites d'horizons recoupent celles des strates (textures) et celles de certains volumes à nodules ferru-

gineux, les caractères éluviaux oblitérent les caractères structuraux. L'ordre de recoupement est conservé dans les segments où les combinaisons sont plus constantes.

Une interprétation commune de ces deux observations est que les processus pédologiques apparaissent dans un ordre chronologique imposé par l'évolution du milieu alluvial puis, plus lâchement, par leurs relations réciproques, chaque caractère prédécesseur favorisant la formation d'un caractère successeur sans lui être strictement nécessaire. Du plus vieux au plus récent, les ensembles de propriétés et de traits pédologiques successivement acquis sont décrits dans les paragraphes suivants.

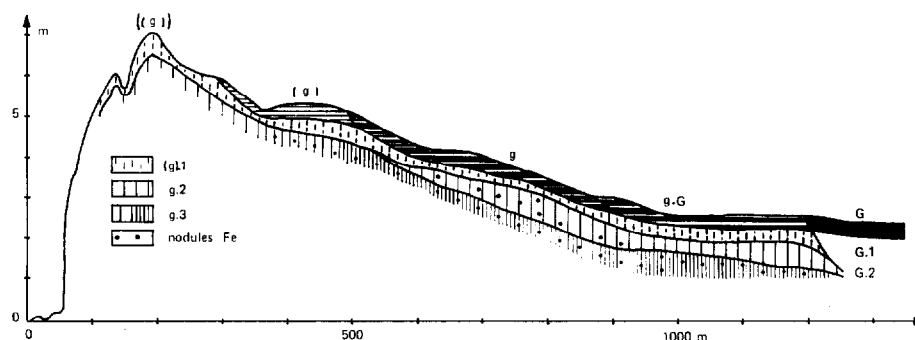


FIG. 6. — Pseudogley et gley

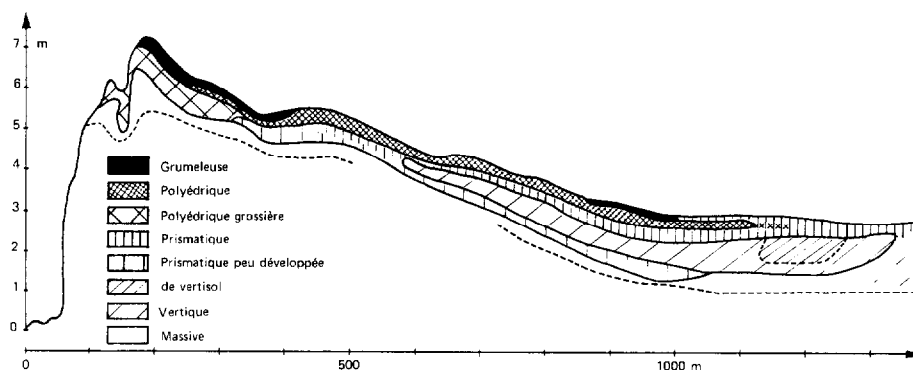


FIG. 7. — Les structures

2.2. Caractères sédimentologiques d'apparence pédologique

Ce sont des dépôts cutaniques argileux, argilo-ferrugineux, colorés, conformes au litage, souvent d'origine microphytique, des granules organiques, des pores tubulaires parfois très nombreux dus à des vers, le litage et la stratification enfin dans la mesure où ils guident quelques limites d'horizons, surtout celles des B.C des sols de levée. Plus généralement, les limites d'horizons oblitérent lits et strates selon une direction nettement oblique sur ces derniers (fig. 3 et 9).

2.3. Alcalinisation, carbonatation, nodules ferrugineux

Un volume riche en nodules ferrugineux (fig. 5) n'ayant pas de rapport avec les dessins actuels de la nappe phréatique et des limites d'humidité (fig. 4), les nodules eux-mêmes paraissant sans relations avec la matrice du solum, s'étend dans la partie moyenne de la toposéquence. Le maximum d'épaisseur et de densité en nodules se situe dans le pied de levée où il coïncide avec des volumes sporadiquement alcalinisés et carbonatés (nodules calcaires), localisables sur la figure 13 par les aires à pH supérieur à 8. Par analogie avec d'autres configurations sédimentologiques de la vallée, où cette accumulation paraît actuelle, l'ensemble est attribué à une concentration ancienne au toit atteint jadis par la nappe. Il existe de plus un second maximum en ce qui concerne cet effet, plus net pour l'alcalinisation que pour la formation de nodules, vers la base des

vertisols et des sols à gley dans la zone actuelle de battement de la nappe.

2.4. Maturation structurale

Elle est considérée comme seconde par rapport à l'effet précédent parce que celui-ci se manifeste aussi dans le matériel non structuré et que ses limites sont oblitérées à toutes les échelles par celle-là. Elle est due à plusieurs mécanismes. La microgranulation biologique prévaut dans les horizons molliques grumeleux, parfois grenus, des sols de haut de levée (3a, 4a1) et reste sensible sous la haute savane de la plaine (4b1, fig. 7). Elle est remplacée vers le bas de pente et vers la profondeur, jusqu'à 60 cm au plus, par une fissuration physique produisant des structures polyédriques fines et moyennes, sous l'effet des racines et plus encore des variations d'humidité à l'origine du pseudogley. Il existe une coïncidence de la localisation des maxima de cette fissuration et des néoferranes et des ferranes du pseudogley dans les horizons A.12 des sols de plaines (4b). Les structures relativement fines de surface, grumeleuses ou polyédriques, sont remplacées en profondeur par des structures de retrait plus grossières, prismatiques, qui présentent un premier maximum dans le même segment de pied de levée que les volumes alcalinisés, avec des aspects localement en colonnettes. Vers le bas de pente, les conditions du gley de surface produisent des structures prismatiques superficielles qui finissent par confluer avec les structures de retrait profondes après une étape intermédiaire où subsiste une sorte de biseau à structure polyédrique au niveau du

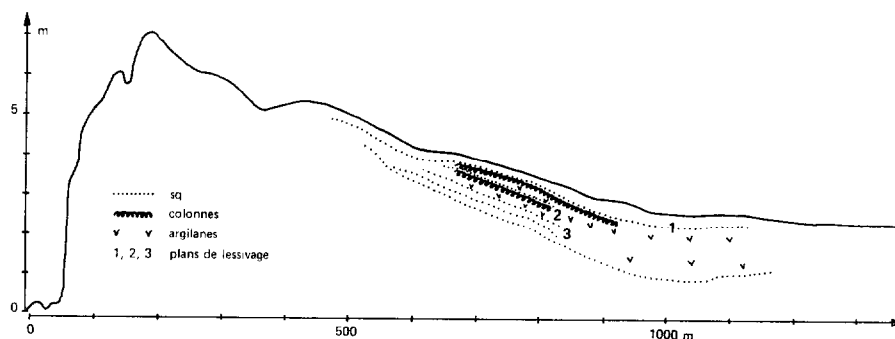


FIG. 8. — Eluviation, illuviation

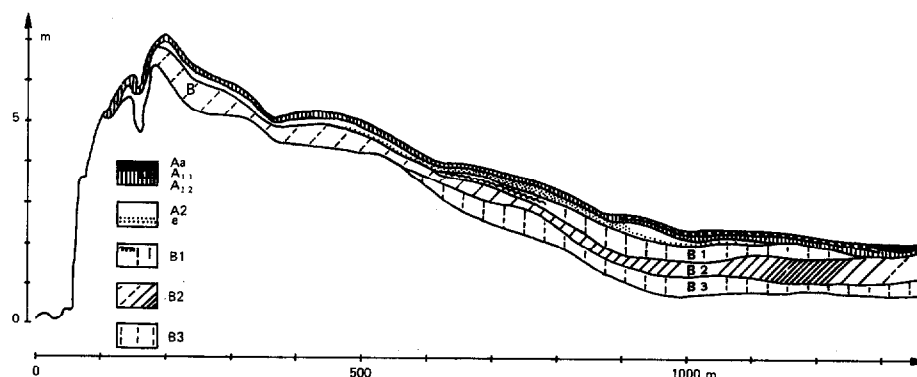


FIG. 9. — La séquence des horizons

contact A/B (4b2, 12c). Plus profondément encore et davantage vers le bas de pente, des structures de gonflement verticales s'accroissent progressivement jusqu'à donner les vertisols avant d'être effacées dans la pâte amorphe des gley permanents. Leur déterminisme est donc d'ordre textural et hydrique. A la base des « solum » réapparaît une division prismatique par des fentes fines souvent vêtues de sables fins et de limons lavés (quartzanes, siltanes), dans des couches qui sont alors généralement sablo-limoneuses. L'épaisseur de matériau affecté par la maturation structurale et définissant ici le solum est de 45 cm en moyenne sur la berge (2a), de 75 cm dans les sols peu évolués (3a), de 100 cm dans les sols molliques de levée (4a1), de 125 cm dans les sols planiques (4a4), de 170 cm dans les plaines d'inondation (4b1), de 150 à 200 cm dans les vertisols (12c) et peut atteindre 265 cm dans les sols à gley (5c).

2.5. Hydromorphose par redistribution des hydroxydes de fer

On la considère comme seconde par rapport à la maturation parce que le plus souvent, ses produits ferrugineux, argilo-ferrugineux, parfois faiblement manganésifères, en cutanes, nodules tendres, ceux-là distincts des nodules plus anciens mentionnés en 2.3., se « moulent » sur ou dans les éléments structuraux. Elle est la seule à varier uniformément le long de la toposéquence où, pour les besoins de la cartographie, l'hydromorphose de surface a été découpée en plusieurs stades, de plus en plus différenciés sous l'action croissante des eaux superficielles :

- ((g)), taches brunes peu visibles dans une structure micro-granulée (fig. 6) ;
- (g) et g, avec 5 % à 40 % de taches (néoferranes et ferranes) jaunes sur les faces de peds et des pores,

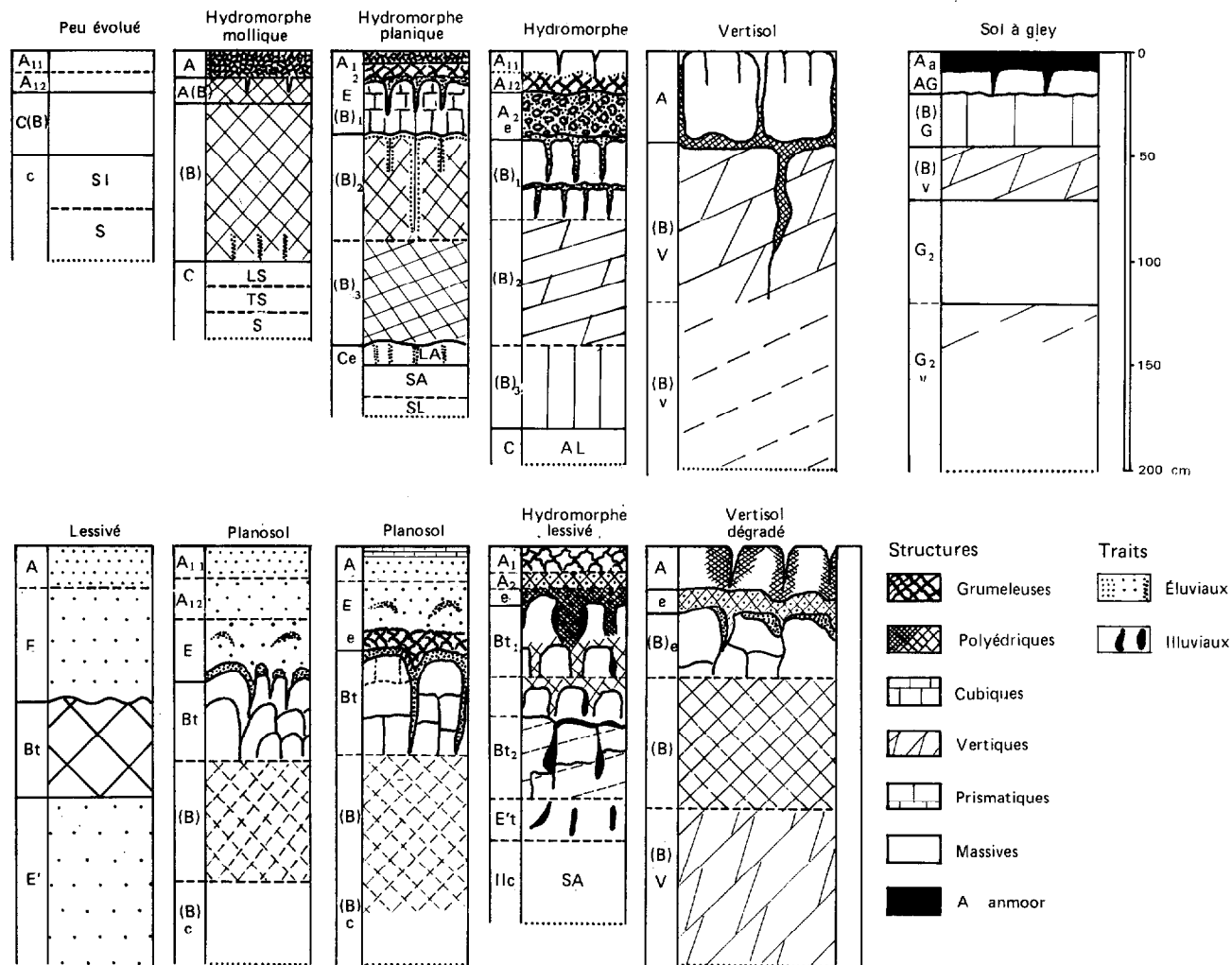


FIG. 10. — Les principaux profils dans les alluvions de la Bénoué. En haut : lit majeur - En bas : terrasse.

- traduisant la migration « centrifuge » des hydroxydes caractéristiques du pseudo-gley, ce dernier très apparent à plus de 70 jours d'inondation ;
- g.G, à ferranes jaunes et rouges très abondantes, concentrées à la base de l'horizon humifère (A.12), prismatique et un peu décoloré en surface ;
- G, gley de surface, affectant la totalité de l'horizon A, décoloré (chroma moins de 1, valeur moins de 3,5), en partie déferrifié (pour 50 à 60 % d'argile, de 2 à 2,5 % en Fe_2O_3 « libre » contre 2,5 à 3,5 % dans les pseudogley), grossièrement prismatique, bien caractérisé à plus de 180 jours d'inondation.

En profondeur l'hydromorphose se traduit généralement par une migration des hydroxydes centripète dans les agrégats à l'intérieur desquels se forment des « taches » rouges, jaunes, noires (nodules diffus tendres), plus abondantes vers la base du solum (g. 3, fig. 6), plus rares immédiatement au-dessous des horizons A (g. 1). En aval, tout est envahi par un gley ferreux d'origine double, superficielle par l'inondation (G. 1), profonde par la nappe alluviale (G. 2), ces deux niveaux étant nettement séparés en année déficitaire sèche par une

zone moins humide qui se situait, en décembre 1973, vers 80 cm de profondeur.

2.6. Lessivage, planosolisation

Cette dégradation affecte les éléments, peds et limites d'horizons, nés de la maturation structurale. Associée à des nappes perchées, elle est maximum dans le segment alcalinisé où elle est « précédée » par un élargissement et une imperméabilisation des structures prismatiques. Elle le dépasse ensuite dans la plaine. Ses relations avec l'hydromorphose ne sont pas univoques. Elle se localise préférentiellement sur les plans, limitant les horizons, où la porosité varie par sauts, entre les horizons A micro-fissurés et les horizons (B) prismatiques, entre ces derniers et les horizons plus profonds à structure plus grossière, entre le solum et le matériau massif.

Le plan de lessivage supérieur, A/(B), est le plus développé (fig. 8). On y observe à la fois, sur quelques centimètres :

- un départ périphérique des hydroxydes de fer, ou des hydroxydes de fer et de l'argile, ne laissant que le squelette, plus ou moins effondré, de la partie externe des agrégats, alors blanchis et friabilisés ;
- des horizons centimétriques éluviaux, blancs, de quartz presque pur, en couches ou en « coiffes » sur colonnes ;
- des argilanes et des siltanes illuviaux simples ou complexes et alors zonés.

Typiquement (4a4) une couche d'agrégats friabilisés, limitée à sa partie inférieure par une fissure

irrégulière, repose sur des « coiffes » blanches fortement adhérentes à des sommets de prismes arrondis, très durs et compacts, possédant encore quelques fissures vêtues d'argilanes bruns. Ces dernières, toutefois, à la différence des traits éluviaux, tendent à se répartir plus diffusément dans toute l'épaisseur du solum sous forme d'argilanes microscopiques de pores.

Le niveau médian de lessivage est plus localisé. Il est fait des mêmes éléments, avec des coiffes moins nettes et des cutanes zonées plus fréquentes, attribuées à un écoulement de nappe plus turbulent.

Le niveau profond est au contraire très étendu, souvent subdivisé en plusieurs plans, mais est le moins différencié, comportant essentiellement des granotubules et des squelettanes de sables fins lavés.

Vers le haut de pente, cette dégradation ne se manifeste d'abord que sur les plans supérieurs et inférieurs, puis sur l'ensemble de ces niveaux. Vers le bas de pente, dans les plaines, elle ne persiste, sur le plan supérieur, que sous forme d'une couche d'agrégats friabilisés, jusqu'à ce que le gley efface totalement ce processus, alors remplacé par un transport non sélectif de la masse du sol dans de gros pores, concrétisé par des cutanes grossièrement zonés (gleyanes de Brammer, 1971).

2.7. Variations de quelques paramètres

Les taux de matière organique (fig. 11) sont plus importants sur la levée (jusqu'à 6 %) et dans l'anmoor des gleys « noirs » (jusqu'à 9 %) que dans les plaines et dans les cuvettes à vertisols où

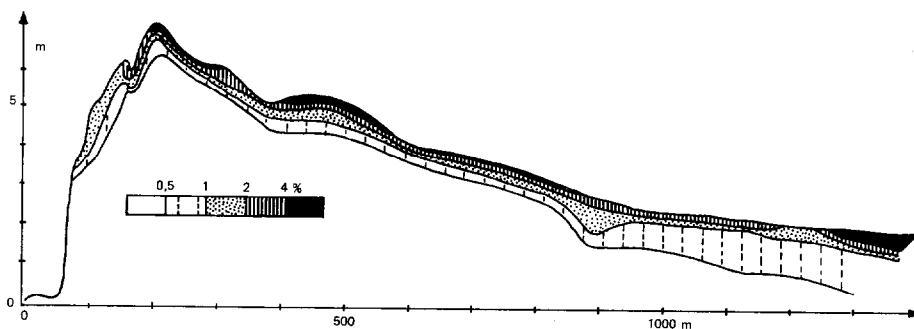


FIG. 11. — Matière organique

la pénétration organique est cependant plus profonde : cote moyenne du taux de 0,5 % à 125-150 cm contre 40-80 cm ailleurs. Les paramètres d'évolution opposent surtout la matière organique des gleys au reste. Elle est moins humifiée (% C humifié de 20-30 contre 30-50), plus acide (% fulvique/humique de 50-60 contre 30-40), caractères conformes à une mobilité plus grande (cutanes orga-

niques noirs en sommet de (B)), à un aspect micro-morphologique de « mullicol » (colloïde organique diffusément réparti dans l'argile) alors qu'il tend vers celui d' « humiskel » (grains organiques séparés) dans les sols mieux drainés (Barrat, 1969). Le C/N permet de séparer les horizons micro-granulés (14-16, fig. 12), des horizons micro-fissurés (10-14).

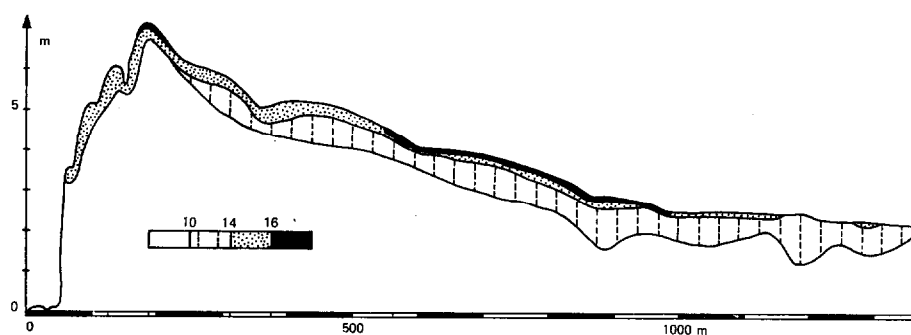


FIG. 12. — C/N

Les courbes iso-valeurs du pH (fig. 13) indiquent une acidification graduelle des horizons de surface, en même temps que l'hydromorphie croît vers le bas de pente, et une alcalinisation vers la profondeur, avec deux maxima aux pieds de la levée et dans les cuvettes à vertisols, variations reproduites, avec moins de précision, par le coefficient de saturation

(fig. 14). Inférieur à 0,04 le plus souvent, le rapport Na éch./T varie entre 0,12 et 0,22 dans les volumes alcalinisés précités, uniquement dans les horizons (B) et C.

Les taux de sesquioxydes de fer sont peu différenciés à l'échelle des horizons car ils restent, en

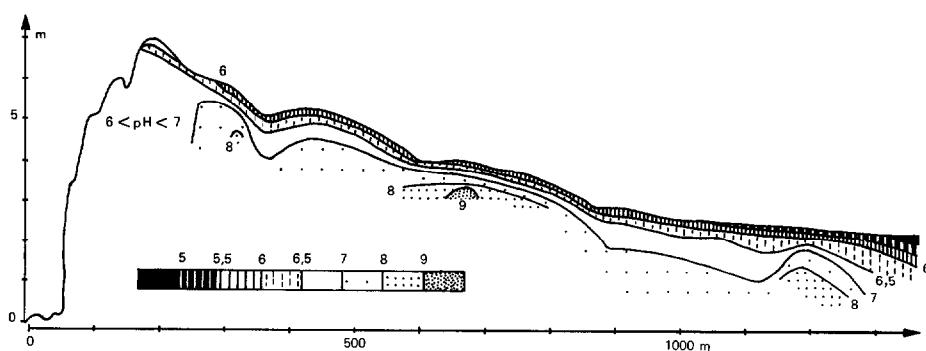


FIG. 13. — pH

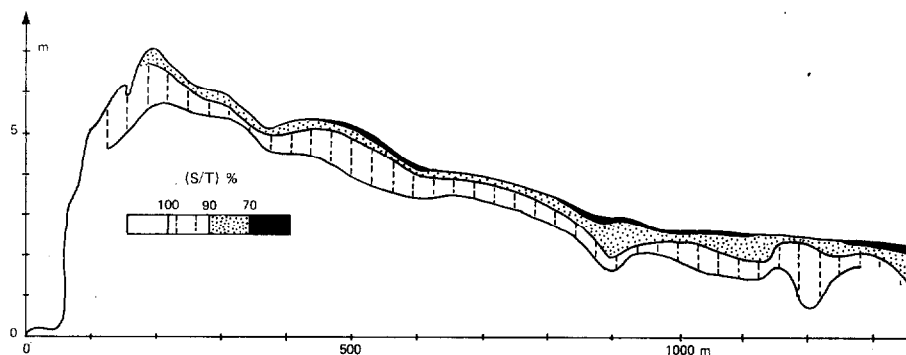


FIG. 14. — Saturation

gros, proportionnels aux taux d'argile granulométrique :

Fe_2O_3 « total » % compris entre $(0,08 A + 3,7)$ et $(0,04 A + 3,2)$,

A étant le taux d'argile.

Fe_2O_3 « libre » % entre $(0,05 A + 1,5)$ et $(0,025 A + 0,75)$.

Les horizons à gley sont vers la limite inférieure de ces valeurs (fer libre), les horizons riches en cutanes et nodules diffus ferrugineux dépassent les maxima précités de 10 à 30 % (fer libre et total).

3. LA SYNTHÈSE DES MACRO-ORGANISATIONS ET DES PHASES D'ÉVOLUTION

3.1. Les horizons le long de la toposéquence

Il est plus facile de décrire la toposéquence comme un ensemble d'horizons variant latéralement que comme une suite de profils verticaux, autre aspect de la relative indépendance de processus topographiquement contrôlés (cf. 2.1.).

L'horizon A.1 unique, microgranulé de l'amont, est subdivisé par le pseudogley en horizons A.11 et A.12 (fig. 9), le premier plus massif et décoloré, le second plus divisé et riche en néoferranes et ferranes, puis derechef homogénéisé par le gley. La base des horizons organiques, l'horizon A.2, est le siège des redistributions plasmiques, perceptibles dès le sommet de la levée par quelques argilanes ou

squelettanes (horizon noté A(B) sur la figure) ; il se transforme en horizon lessivé (E) au pied de la levée et se prolonge à la base des horizons microdivisés jusque dans les premières cuvettes. C'est le domaine des nappes secondaires perchées. L'horizon structural prismatique (B1) apparaît dès que la texture est suffisamment argileuse (ALS) ; il prend des aspects élargis et colonnaires au niveau des volumes alcalins. La partie moyenne des B, l'horizon (B)2, est surtout marquée par des structures de gonflement lorsque la texture s'y prête et que l'engorgement n'est pas trop long. Son sommet est localement dégradé. La partie profonde, (B)3, fait transition vers les structures du matériau et montre une fissuration prismatique portant quelques traces de lessivage. Elle est aussi le siège du gley de nappe (G.2) dans les cuvettes, celui du maximum de nodulation ferrugineuse diffuse (iwatokas), alors que le volume où se sont formés les nodules « anciens » est recoupé par l'ensemble des horizons (B).

3.2. Les unités verticales

La séquence peut être découpée en « segments » topographiques (Beaudou et Chatelin, 1976) successifs individualisables par des critères physiologiques et pédologiques liés. Ces segments sont présumés, intuitivement, équivalents du point de vue de leur valeur comme unités naturelles et de celui de leur rang taxonomique. Ils correspondent, objectivement, à des groupes de processus combinés et exprimés de façon définie. En général, cette constance de combinaisons n'est vraie qu'à l'échelle du segment ; elle peut être incomplète à l'échelle de la fosse (pédon) ou à celle de l'horizon, comme dans l'exem-

ple du paragraphe 2.1. Si, ce qui a été tenté, on essaie de définir à l'intérieur des segments des unités plus « élémentaires » par une succession verticale d'horizons (profil) constante on ne parvient qu'à multiplier indéfiniment les séries sans pouvoir les délimiter sur le terrain. L'unité pédologique vraie, celle dont la variabilité interne paraît entièrement aléatoire en fonction de ce que l'on connaît de la pédogenèse, correspond donc au segment. Les volumes pédologiques se rapportant à ce dernier sont, selon la terminologie de Boulaïne (1969), un « génon » et la séquence, à direction d'organisation commune oblique mais sans échanges latéraux, un « séquen » (Gavaud, 1976). Selon la stabilité d'organisation du profil, les unités pédologiques élémentaires peuvent être réparties entre des génons à profil constant et des génons à profil variable.

Les génons à profil constant sont (fig. 10) :

- le sol hydromorphe mollique de levée (4a1), à horizon unique A1 grumeleux, à horizon A(B) à traces de lessivage, à horizon (B) unique grossièrement polyédrique ;
- le sol hydromorphe planique de pied de levée (4a4), à horizons A1g, A2 très fragmenté, E en coiffes, (B)1 colonnaire à argilanes, (B)2 plus massif à sommet dégradé, (B)3 ;
- le sol hydromorphe brun de plaine (4b2), à horizons A.11 prismatique et décoloré, A.12 très fragmenté et riche en ferranes, A2e à agrégats friabilisés, (B)1 prismatique, (B)2 vertique, (B)3 plus massif ;
- le vertisol hydromorphe (12c) ;
- le sol à gley à anmoor, à horizons Aa, AG, (B)G prismatique à base faiblement vertique, G2 profond (5c).

Les génons à profil variable sont caractérisés par des horizons profonds où apparaissent et disparaissent aléatoirement les caractéristiques correspondant à certains processus alors que les horizons A qui varient plus continûment du fait de l'hydromorphose prennent des aspects intermédiaires entre ceux des génons à profil constant limitrophes. Ils ne possèdent pas de volume minimum d'échantillonnage de taille maniable, comparable au pédon. Leur aspect de surface, leur végétation peuvent être soit spécifiques soit intermédiaires. Citons :

- les sols hydromorphes à structures élargies situés entre les sols molliques et les sols planiques (4a3) ; sous une savane qui leur est propre, ils manifestent l'apparition en ordre dispersé de l'alcalinisation, de l'élargissement structural, du lessivage, avec une physiologies spécifiques ;

- les sols hydromorphes des plaines situés entre les sols planiques et les sols 4b2 précités (4b1) ; sous une savane également spéciale, ils combinent variablement les effets du pseudogley (division, néoferranes) et du lessivage ;
- les sols situés entre les sols de plaine et les vertisols, entre ceux-là et les gley, qui ressemblent davantage à des unités intermédiaires.

3.3. Les phases d'évolution

Si l'ordre de superposition des caractères est la conséquence d'un ordre chronologique des processus, ces derniers apparaissent alors en phases successives qui sont analogues à celles que Kovda (1973) décrit pour des situations sédimentaires très générales (fig. 15) :

— La phase d'« orthogley » est la phase d'accumulation à flux ascendant capillaire au-dessus de la nappe alluviale ; elle a produit l'alcalinisation, la carbonatation, la nodulation ferrugineuse anciennes ; elle se poursuit encore dans les cuvettes.

— La phase de maturation structurale est l'effet des variations de régime hydrique le long de la séquence et des facteurs qu'il régit directement : végétation, micro-faune. Elle est modulée par les textures et le chimisme légué par l'orthogley.

— La phase « néoéluviale » et de pseudogley est l'effet des eaux superficielles et des nappes perchées localisées sur les contacts structuraux. Elle produit une redistribution des hydroxydes en néocutanes (surface), en cutanes et nodules (profondeur), un lessivage et une accumulation pelliculaires du plasma (argile, hydroxydes, partie la plus fine des minéraux résiduels), une « fonte » des structures pré-existantes, une accentuation de l'imperméabilisation des contacts affectés, une redistribution beaucoup plus diffuse de l'argile et des hydroxydes dans tout le solum.

4. COMPARAISON AVEC LES SOLS DE LA TERRASSE

Les conditions hydrologiques de dépôt des matériaux de la terrasse diffèrent des conditions existant actuellement dans le lit majeur : trois séries granulométriques au lieu d'une seule, une topographie plus floue, sans axes bien nets, avec des plaines d'argiles sableuses creusées de dépressions

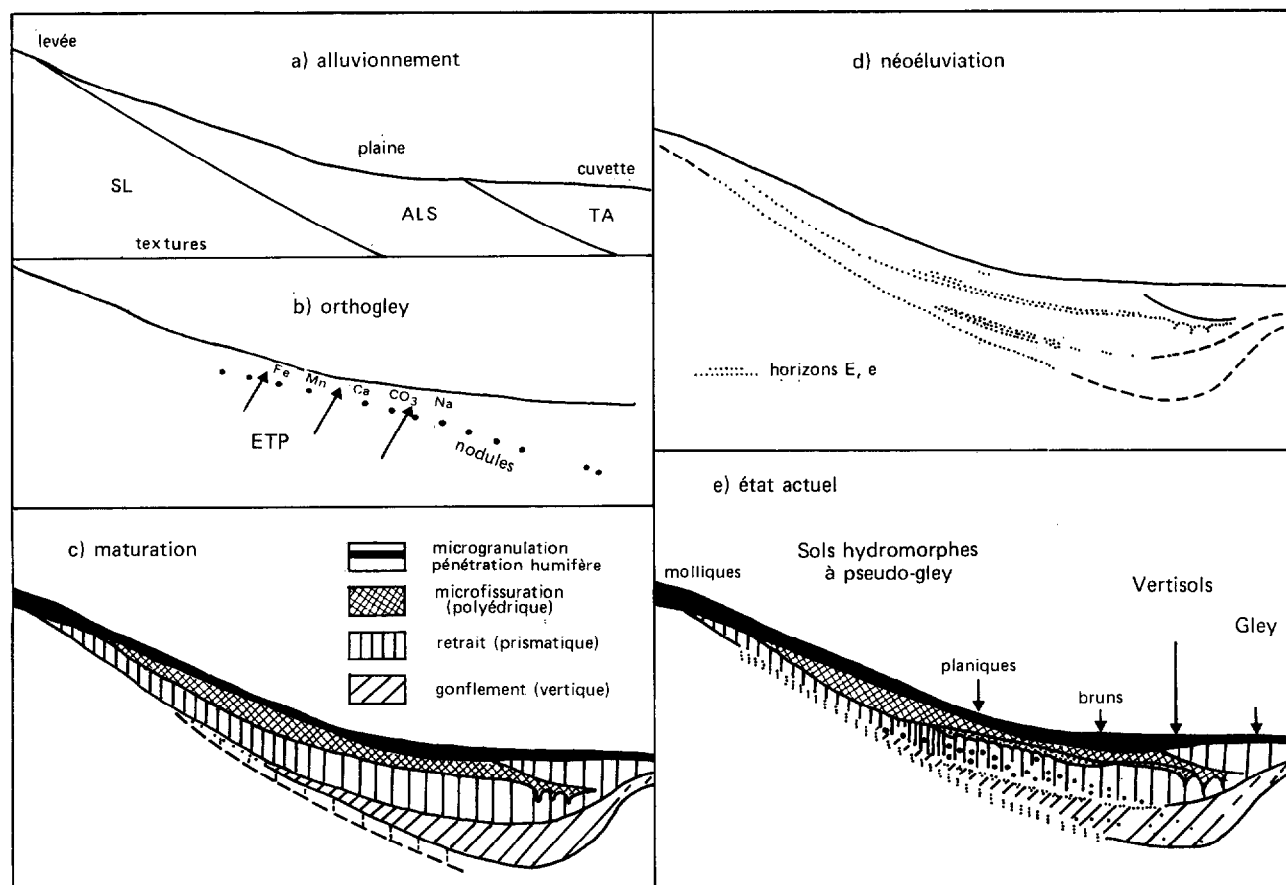


FIG. 15. — Schéma d'interprétation

argileuses surmontées de bourrelets linéaires sableux et limoneux ressemblant à des bourrelets de défluent. Le régime hydrique a évolué vers l'engorgement actuel, essentiellement pluvial et d'origine édaphique. Une comparaison pédologique limitée reste néanmoins possible à cause de l'identité minéralogique et d'une disposition topographique des textures grossièrement semblable, avec des sables sur les hauteurs et des argiles dans les fonds.

La phase d'orthogley a été spectaculaire dans ses effets sur la série moyenne argileuse. Elle a été verdie, chargée de nodules calcaires et parfois de gypse lenticulaire. On y constate de plus que la formation des structures en coin à faces lissées, ici géantes, ne s'accompagne pas de pédoturbation « vertique » au sens strict puisque les lits, repérables par des tests de mollusques, n'ont pas bougé. La

formation d'« argile noire » apparaît également comme un processus distinct et n'affecte que la partie sommitale de la formation, en gros le 1/3 supérieur. Il existe également des accumulations inactuelles de calcaire dans les limons de la série supérieure, nodules et croûtes, actuellement hors d'atteinte de toute nappe à cause de leur degré prononcé d'incision. Les nodules calcaires de la série inférieure ne sauraient être attribués à une phase précise, en général, car la présence de nappes encore actuelles, quoique non observées lors de la prospection, y reste plausible.

La phase de maturation structurale n'est visible que dans les argiles. La phase de néoéluviation a transformé trop profondément les autres matériaux pour que les structures « primitives » soient encore visibles. En réduisant la perméabilité de la surface

des sols, qui tend partout vers un type sableux, massif, compact, en accentuant et en généralisant les contacts planiques, elle a induit un régime omniprésent de nappes perchées qui ne peut qu'accélérer cette transformation.

Sur la figure 10 on a disposé les profils de terrasse au-dessous des profils de lit majeur ayant une position topographique analogue :

— Les sols de buttes, les plus sableux, sont profondément lessivés, avec un profil polysérié A-E-Bt-E'..., des horizons éluviaux épais de 75-105 cm, des pH neutres, pas de sodium.

— Il n'y a plus de sols molliques ; les sols hydromorphes de ce type et les sols planiques des pentes sont remplacés par des planosols très caractérisés, tous sur argiles sableuses. Le profil est de type A-Esq-Bt,pl-B(ca)... (Gavaud, Muller, Rieffel, 1976) outre des horizons lessivés profonds très variables. Le contact planique (pl) se situe vers 60 cm de profondeur au-dessus de belles colonnes à coiffes. Le profil est neutre, parfois un peu alcalin (pH 8,3). Il ne paraît pas qu'il y ait une dégradation minéralogique des argiles importante alors qu'il existe des évidences de terrain de migration latérale de ces dernières.

— Aux sols hydromorphes des plaines du lit majeur correspondent des sols hydromorphes à engorgement pluvial lessivés qui leur ressemblent passablement, ce qui justifie l'ensemble de cette comparaison. Le profil est de type A1(g)-A2e-Bt-E'... avec un lessivage très visiblement localisé à des horizons ou des volumes fortement divisés.

— Les vertisols (argiles noires) sont eux-mêmes fortement dégradés en surface, à la fois au niveau de l'horizon divisé situé immédiatement au-dessous des prismes de surface et tout au sommet à la suite d'un brassage sélectif dû aux vers. Le calcium, le magnésium, l'argile, les hydroxydes de fer sont en partie éliminés des cinquante premiers centimètres.

Ainsi, lorsque pour des causes externes et internes le régime hydrique des alluvions de la Bénoué évolue vers celui de nappes perchées d'origine pluviale, la néoéluviation tend à devenir le processus pédogénétique dominant. Elle se caractérise surtout par un lessivage du plasma en milieu neutre. Elle généralise les aspects éluviés et surtout planiques. Elle s'accélère d'elle-même et, faute sans doute d'un degré de différenciation suffisant, le mécanisme régulateur inverse, découvert par Bocquier (1973), l'accu-

mulation remontante d'argiles gonflantes dans les volumes aval, n'apparaît pas vraiment encore, en dépit de quelques signes de migrations latérales. Les conséquences sur l'utilisation des terres sont désastreuses car les mauvaises propriétés physiques des planosols ne sont généralement pas surmontables dans les conditions moyennes de la pratique agromatique.

5. CONCLUSIONS

Dans les sols encore jeunes des alluvions du lit majeur de la Bénoué, l'évolution est le fait de nombreux mécanismes. Tous opèrent à un moment ou à un autre en présence d'un excès d'eau mais seulement une partie d'entre eux est spécifique de l'hydromorphie : redistribution de produits solubles, redistribution des hydroxydes de fer, en cutanes ou en nodules, centrifuge ou centripète, élaboration de matières organiques particulières. La maturation structurale par division ou par compaction, la redistribution du plasma par lessivage et illuviation sont plus générales. Les processus interviennent dans un ordre précis : phase d'orthogley, phase de maturation, phase néoluviale et de pseudogley. Cette succession est déterminée en partie par des causes externes, en partie par des causes internes. La néoéluviation est favorisée par des discontinuités d'ordre sédimentaire et structural et, susceptible d'autoaccélération, finit par être prédominante dans les alluvions plus anciennes de la terrasse dont, simultanément, le régime hydrique est passé du régime de crue au régime de nappes perchées. A partir d'un tronc commun de sols alluviaux relativement homogènes, finement structurés, à peu près neutres, deux filières d'évolution sont possibles, l'une menant vers des sols à gley à acidification organique appréciable, l'autre vers des sols très lessivés neutres, après une étape par des sols d'accumulation plus ou moins sporadiques. La deuxième filière finit par s'imposer de par l'évolution des facteurs externes et par son dynamisme propre.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 5 janvier 1977

BIBLIOGRAPHIE

- BARRAT (B.C.), 1969. — A revised classification and nomenclature of microscopic soil materials with particular reference to organic components. *Geoderma*, (2), 4 : 257-271.
- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), 1976. — Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques. Typologie et cartographie en milieu ferrallitique. ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire. *multigr.*, 19 p.
- BOCQUIER (G.), 1973. — Genèse et Evolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse, *Mém. ORSTOM*, n° 62.
- BOULAIN (J.), 1969. — Sol, Pédon, Génon, Concepts et définitions. Bull. A.F.E.S. (Versailles), mars-avril 1969, 2 : 31-40.
- BRAMMER (H.), 1971. — Coatings in seasonally flooded soils. *Geoderma*, (6), 1 : 5-16.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. Wiley, New York, 470 p.
- GAVAUD (M.), 1977. — Essai sur la classification génétique des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 1 : sous-presses.
- GAVAUD (M.), RIEFFEL (J.M.), MULLER (J.P.), 1975. — Les sols de la vallée de la Bénoué, de Lagdo au confluent du Faro. *Multigr.*, 690 p., trois tomes, 54 tabl., 93 fig., 75 fiches profils, 4 cartes sols quadricrom. à 1/25 000, 4 cartes utilisation à 1/25 000, cartes végétation et familles à 1/100 000, tableau utilisation.
- GAVAUD (M.), MULLER (J.M.), RIEFFEL (J.M.), 1976. — Règles de nomenclature des horizons de sols et des traits pédologiques macroscopiques, Une première approximation adoptée pour la cartographie des sols de la vallée de la Bénoué au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2 : 169-173.
- HERVIEU (J.), 1969. — Le Quaternaire du Nord-Cameroun. Schéma d'évolution géomorphologique et relations avec la pédogenèse. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, 3 : 295-320.
- KOVDA (V.A.), 1973. — Hydromorphic Soils of Mediterranean and Tropical areas. Pseudogley and Gley, Verlag. Chimie : 379-382.
- MULLER (J.P.), GAVAUD (M.), 1976. — Conception et réalisation d'une carte d'aptitudes culturales, à propos de la cartographie des sols de la vallée de la Bénoué au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2 : 137-159.
- VIZIER (J.F.), 1970. — Etude des phénomènes d'hydromorphie et de leur déterminisme dans quelques types de sols du Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, n° 1 : 33-48.