



**ANÁLISE E MAPEAMENTO ESTRUTURAL EM PEDOLOGIA: 1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORGANIZAÇÃO BIDIMENSIONAL DA COBERTURA DO SOLO: ESTUDOS DE TOPOSEQUÊNCIAS E SUAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO DO SOLO**

**ANALYSE STRUCTURALE ET CARTOGRAPHIE EN PÉDOLOGIE: 1. PRISE EN COMPTE DE L'ORGANISATION BIDIMENSIONNELLE DE LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE: LES ÉTUDES DE TOPOSÉQUENCES ET LEURS PRINCIPAUX APPORTS À LA CONNAISSANCE DES SOLS**

**STRUCTURAL ANALYSIS AND MAPPING IN PEDOLOGY: 1. CONSIDERATION OF THE TWO-DIMENSIONAL ORGANIZATION OF SOIL COVER: TOPOSEQUENCE STUDIES AND THEIR MAIN CONTRIBUTIONS TO SOIL KNOWLEDGE**

**Leonardo José Cordeiro Santos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Professor-doutor do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná

E-mail: santos@ufpr.br



<https://orcid.org/0000-0003-1165-6382>

A influência da Pedologia francesa no Brasil remonta às décadas de 1980 e 1990. No Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (USP), encontrou um espaço fértil para o desenvolvimento e a difusão de um “novo olhar” sobre os solos. Essa aproximação se consolidou, sobretudo, pela atuação do Professor Doutor José Pereira de Queiroz Neto, cuja trajetória incluiu experiências prévias na França e uma constante inquietude científica voltada à compreensão das relações entre o solo e a paisagem.

Esse processo foi marcado pelo diálogo com uma corrente da pedológica francesa, cujas proposições sobre a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica<sup>1</sup> e o uso de topossequências<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> A abordagem estrutural da cobertura pedológica enfatiza a organização espacial contínua dos solos e sua relação com os processos geomorfológicos, considerando a integração lateral e vertical da cobertura pedológica. Ver: BOULET, Robert; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.-X.; LUCAS, Y. *Analyse structurale et cartographie en pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, v. 19, n. 4, p. 309-321, 1982; BAIZE, Denis. *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du Sol*, v. 24, n. 3, p. 227-243, 1986.

<sup>2</sup> O conceito de topossequência deriva da noção de *catena* proposta por Milne (1935), sendo posteriormente aprofundado pela escola francesa de análise estrutural da cobertura pedológica, especialmente nos trabalhos de Boulet et al (1982). Ver: MILNE, G. *Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Soil Research*, v. 4, p. 183-198, 1935. BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.-X.; LUCAS, Y. *Analyse structurale et cartographie en pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture*



influenciaram diretamente a formação de pesquisadores brasileiros. A partir dessa interlocução, consolidou-se neste grupo de pesquisa, uma abordagem que privilegia a compreensão integrada dos solos na paisagem, em contraposição à visão estritamente taxonômica.

No âmbito da Universidade de São Paulo, essa perspectiva foi fundamental para o desenvolvimento de estudos em pedogeomorfologia, configurando-se como um importante núcleo de produção e difusão científica. A partir desse centro, contudo, suas bases teórico-metodológicas se irradiaram para outras instituições e regiões do Brasil, influenciando diferentes grupos de pesquisa e contribuindo para a consolidação de uma tradição científica que valoriza a análise espacial e os processos de organização dos solos em múltiplas escalas.

A principal contribuição desses pesquisadores ocorreu no campo da gênese e evolução dos solos, a partir da análise de topossequências. Nessa perspectiva, os solos são compreendidos como um “corpo contínuo”, sujeito a transformações laterais ao longo da vertente, de montante em direção jusante.

Os estudos desenvolvidos pelos pedólogos franceses, com destaque para os trabalhos de Gérard Bocquier, Armand Chauvel e Rêne Boulet, sobretudo na África Central (Tchad, Senegal e Alto Volta, atualmente Burkina Fasso, respectivamente, possibilitaram uma rápida assimilação das propriedades e das características dos solos tropicais brasileiros.

Foram numerosas as Teses e artigos científicos produzidos principalmente a partir do início dos anos 1970, com o objetivo de apresentar resultados dessa nova abordagem pedológica, baseada na Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. Os procedimentos metodológicos que fundamentaram essas pesquisas tiveram como ponto de partida a série de três artigos publicados no *Cahier ORSTOM*<sup>3</sup> (Boulet et al., 1982a, b, c).

Esses artigos estão organizados como uma construção teórico-metodológica progressiva voltada à superação das limitações do paradigma pedológico clássico. O primeiro artigo estabelece uma revisão crítica dos avanços proporcionados pelos estudos de topossequências, evidenciando não apenas a identificação de novos mecanismos de formação das coberturas pedológicas<sup>4</sup>, mas também a necessidade de revisão do próprio conceito de solo, tradicionalmente centrado no perfil ou pédon. Ao demonstrar que os solos em vertentes se organizam como sistemas contínuos e interdependentes, esse trabalho desloca o foco analítico para uma perspectiva integrada da cobertura pedológica.

O segundo artigo aprofunda essa crítica ao explicitar as limitações operacionais das abordagens bidimensionais, destacando o alcance parcial das topossequências na compreensão da distribuição lateral dos solos na paisagem, aspecto fundamental para a compreensão de sua variabilidade espacial e para a transposição do conhecimento em bases cartográficas.

Por fim, o terceiro artigo propõe uma análise fundamentada em uma abordagem tridimensional que integra relações verticais e laterais, permitindo a definição de unidades estruturais mais condizentes com a realidade dos sistemas pedológicos.

Essa perspectiva apresenta forte convergência com os princípios da pedogeomorfologia, ao reconhecer a inseparabilidade entre formas de relevo e distribuição dos solos, e reforça a

---

*pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, v. 19, n. 4, p. 309-321, 1982.*

<sup>3</sup> Os *Cahiers ORSTOM* foram séries de publicações científicas do antigo ORSTOM, atual IRD – Institut de Recherche pour le Développement, voltadas às pesquisas em regiões tropicais. Na pedologia, destacaram-se os *Cahiers ORSTOM – Série Pédologie*, que publicaram estudos sobre gênese, evolução e distribuição dos solos tropicais, contribuindo para o desenvolvimento da pedologia e da geomorfologia tropical.

<sup>4</sup> Segundo Baize (1986), cobertura pedológica é o continuum de solos que recobre a paisagem, estruturado espacialmente e resultante da interação dinâmica entre processos pedogenéticos e geomorfológicos. Ver: BAIZE, Denis. *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du Sol*, v. 24, n. 3, p. 227-243, 1986.

importância da escala de observação como elemento determinante na interpretação dos padrões espaciais e na representação cartográfica dos solos.

O artigo “*Analyse structurale et cartographie en pédologie: 1. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols*”, foi selecionado para publicação como texto clássico na Revista Margarida Penteado por possibilitar aos leitores, entenderem a construção de uma proposta metodológica que integra a análise da evolução dos solos e do relevo em escala de detalhe.

Além disso, o artigo foi escolhido por apresentar a formulação inicial do método de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, constituindo uma referência fundamental para a compreensão de seus pressupostos teóricos e metodológicos, ao mesmo tempo em que instiga os leitores a acompanharem a sequência de artigos publicados nos *Cahiers ORSTOM*, conforme citado anteriormente, que consolidaram e aprofundaram essa abordagem na pedologia.

Essa concepção reconhece que os solos são produtos de múltiplos fatores inter-relacionados, relevo, clima, vegetação, material de origem e tempo e que sua organização espacial fornece informações essenciais sobre os processos geomorfológicos e pedológicos que atuam em determinada região.

A relevância do estudo reside na contribuição para a pedologia moderna, pois permite uma compreensão integrada dos padrões espaciais dos solos, fundamental para o planejamento territorial, manejo agrícola e conservação ambiental.

A metodologia central do estudo baseia-se no uso de topossequências, sequências de solos dispostas ao longo de gradientes topográficos, como vertentes. A análise dessas sequências possibilita compreender a variação lateral e vertical dos solos em função da posição topográfica, dos processos de transporte de sedimentos e da dinâmica hidrológica.

Entre os principais aspectos metodológicos, destacam-se o reconhecimento e a classificação dos perfis ao longo da vertente, distinguindo solos de topo, meia vertente e base, de modo a evidenciar as variações laterais dos solos ao longo da paisagem.

A caracterização morfológica e química, incluindo textura, cor, estrutura, profundidade e composição mineralógica; a integração com o relevo e a geomorfologia, associando os solos às formas de relevo e aos processos de erosão e deposição; e o mapeamento e a cartografia, possibilitando a representação espacial da distribuição dos solos com base na organização bidimensional da cobertura pedológica.

Essa abordagem combina levantamento de campo detalhado com procedimentos de análise da distribuição espacial dos solos e de suas relações com o relevo, fornecendo dados confiáveis para compreender a dinâmica da paisagem e os processos responsáveis pela formação e evolução dos solos, além de subsidiar aplicações práticas.

Entre as contribuições teóricas do artigo, destacam-se a demonstração da heterogeneidade espacial dos solos, evidenciando que a variação horizontal é tão importante quanto a vertical, desafiando métodos tradicionais baseados apenas em perfis pontuais; a análise da relação solo-relevo-clima, identificando como fatores geomórficos, declividade, forma, orientação e gradiente topográfico, além de fatores climáticos, influenciam o desenvolvimento e a distribuição dos solos. Destaca-se também a integração dos processos pedológicos, interpretando os solos como produtos de processos contínuos, como intemperismo, lixiviação, erosão, transporte e deposição.

Além disso, o trabalho forneceu bases importantes para a modelagem e previsão da dinâmica da paisagem, contribuindo para o desenvolvimento de modelos relacionados à suscetibilidade à erosão, à expansão agrícola e ao manejo de recursos hídricos.

A análise bidimensional das topossequências apresenta diversas aplicações práticas. No manejo agrícola e conservação do solo, permite identificar áreas mais vulneráveis à erosão e à degradação, viabilizando ações preventivas. No planejamento territorial e ambiental, auxilia na

definição de zonas de proteção, unidades de manejo e uso sustentável do solo. Na gestão de recursos hídricos, possibilita compreender como a posição topográfica influencia na infiltração e no escoamento superficial.

Além disso, a metodologia fornece subsídios para pesquisa científica, permitindo comparações regionais e desenvolvimento de teorias sobre a evolução da paisagem e processos pedogênicos. Sua aplicação é potencialmente ampla, podendo ser adaptada a diferentes biomas e contextos climáticos, viabilizando generalizações sobre padrões de solos e relevo.

Em comparação com outros estudos clássicos em pedologia e geomorfologia, que frequentemente subestimam a variação lateral dos solos, o artigo reforça conceitos já discutidos por autores como Jenny (1941), sobre fatores de formação do solo, e Buol et al. (2011), sobre pedologia moderna.

A análise bidimensional proposta melhora a precisão do mapeamento, facilita a identificação de compartimentos da paisagem, como zonas de acumulação de matéria orgânica, áreas de erosão ativa e locais de restrição hídrica, e permite integrar dados pedológicos com informações geofísicas, geocronológicas ou climáticas, ampliando a compreensão da paisagem.

Apesar de suas contribuições, a abordagem apresenta limitações, incluindo a intensidade de trabalho de campo necessária para a coleta detalhada de amostras; a complexidade analítica, que demanda domínio integrado de pedologia, geomorfologia e estatística espacial; e a limitada capacidade de generalização, uma vez que os padrões identificados tendem a ser fortemente condicionados por contextos morfodinâmicos específicos, dificultando sua extrapolação direta para outras regiões, litologias ou escalas de análise sem calibração prévia.

Nesse sentido, a transferência dos resultados requer a definição de critérios que permitam sua extrapolação para áreas com características ambientais semelhantes e consideradas representativas das condições analisadas. Essa representatividade está relacionada à presença de atributos comuns, como relevo, material de origem, drenagem, clima e organização da cobertura pedológica, permitindo que os padrões observados em uma área de estudo sejam utilizados para interpretar e compreender outras áreas com dinâmica semelhante.

Adicionalmente, no contexto do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, emergem desafios operacionais relevantes, uma vez que essa abordagem privilegia a identificação de organizações contínuas da cobertura pedológica, enquanto o sistema classificatório brasileiro está fundamentado em classes taxonômicas individualizadas, definidas a partir de atributos diagnósticos observados em perfis. Essa diferença de natureza — contínua versus categórica — pode dificultar a tradução direta dos resultados para classes taxonômicas, exigindo procedimentos de correlação e generalização que, por vezes, implicam perda de informação sobre a organização espacial dos solos.

Nas conclusões, o autor destaca que a organização bidimensional dos solos é essencial para o avanço da Pedologia moderna. Ao integrar análises topográficas, morfológicas e químicas, a metodologia de topossequências possibilita mapear solos com maior precisão, compreender os processos de formação e evolução, identificar áreas de vulnerabilidade ambiental, subsidiar estratégias de manejo sustentável e promover a integração entre pedologia, geomorfologia e ecologia do solo.

Embora apresente limitações, como a elevada demanda de trabalho de campo, a complexidade analítica e as restrições de generalização, tais aspectos não diminuem sua relevância; ao contrário, evidenciam o rigor e o nível de detalhamento que a abordagem é capaz de alcançar. Nesse sentido, a análise por topossequências permanece atual, sendo amplamente utilizada e constantemente aprimorada, sobretudo com o suporte de técnicas modernas como geoprocessamento, modelagem espacial e sensoriamento remoto.

Assim, o estudo oferece um referencial metodológico robusto e ainda pertinente, cuja aplicação continua a sustentar inúmeras pesquisas em diferentes contextos ambientais,



SANTOS, L. J. C

ANÁLISE E MAPEAMENTO ESTRUTURAL EM PEDOLOGIA: 1.  
CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORGANIZAÇÃO BIDIMENSIONAL DA  
COBERTURA DO SOLO: ESTUDOS DE TOPOSEQUÊNCIAS E SUAS  
PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO DO SOLO

consolidando a abordagem bidimensional como ferramenta relevante para a compreensão integrada dos solos e da paisagem.

## ANALYSE STRUCTURALE ET CARTOGRAPHIE EN PÉDOLOGIE

### PRISE EN COMPTE DE L'ORGANISATION BIDIMENSIONNELLE DE LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE : LES ÉTUDES DE TOPOSÉQUENCES ET LEURS PRINCIPAUX APPORTS À LA CONNAISSANCE DES SOLS

René BOULET (1), Armand CHAUVEL (2), François-Xavier HUMBEL (3), Yves LUCAS (1)

(1) Pédologues O.R.S.T.O.M., centre O.R.S.T.O.M. de Cayenne, B.P. 165, 97301 Cayenne Gedez

(2) Pédologue O.R.S.T.O.M., Geociencias USP CP 20899 CEP 05508, São Paulo, Brésil; dans le cadre de l'accord signé entre le CNPq et l'O.R.S.T.O.M.

(3) Pédologue O.R.S.T.O.M., Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)

#### RÉSUMÉ

Cette série de trois articles est destinée à présenter une approche pédologique nouvelle, relevant d'une analyse structurale de la couverture pédologique. La première partie retrace les progrès réalisés grâce aux études de toposéquences: mise en évidence de mécanismes nouveaux de formation des couvertures pédologiques, et surtout évolution du concept de sol lui-même. Ainsi, constate-t-on que la plupart des études globales de versants ont abouti à la mise en évidence de systèmes pédologiques qu'il n'est pas possible, sans les déformer gravement, de ramener à une juxtaposition de surfaces caractérisées par un profil ou un pèdon. Réciproquement, une étude qui vise a priori à découper ces versants en unités homogènes, aurait (et a, dans bien des cas, lors d'études antérieures) interdit d'en saisir l'organisation, la dynamique et la genèse réelles. Mais ces études de toposéquences ne sont elles-mêmes que bidimensionnelles et négligent l'organisation en plan dont la connaissance est nécessaire pour le passage à une cartographie systématique. On aboutit donc à la nécessité de rechercher des approches permettant d'accéder à la connaissance tridimensionnelle de la couverture pédologique tout en restant concurrentielle avec l'approche classique.

#### ABSTRACT

#### STRUCTURAL ANALYSIS AND SOIL MAPPING. I THE BIDIMENSIONAL ORGANIZATION OF THE SOIL COVER: THE STUDIES OF TOPOSEQUENCES AND THEIR MAIN CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF SOILS

In order to present a new pedological approach, based on a structural analysis of the soil mantle, this first part shows, through three examples, the strides due to toposequences studies: discovery of new soil evolution mechanism, and above all evolution of the soil concept itself. Thus, one notes that most of the detailed studies of soil mantle of entire slope have lead to the discovery of pedological systems, which cannot be reduced to a juxtaposition of areas characterized by a pedon or a profile without a serious distortion. Reciprocally, a study which a priori aims to cut up these slopes into homogeneous units risks to prevent the knowledge of their real organizations, dynamics and genesis. However, these toposequences studies are only two-dimensional analysis of the soil mantle, and prove insufficient for explaining and illustrating the real, three dimensional organization of the soil mantles. They cannot therefore be directly applied to mapping.

It is thus necessary to develop an approach which allows a three-dimensional knowledge of the soil mantle, and which is competitive with the traditional methods.

*Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. XIX, n° 4, 1982: 309-321.*

#### I. Introduction

Depuis plus d'une dizaine d'années, un certain nombre de travaux a été consacré à l'étude détaillée de couvertures pédologiques de versants entiers avec le souci non plus d'identifier des successions de profils verticaux susceptibles de caractériser des segments de pente juxtaposés, mais d'analyser l'organisation, aussi bien verticale que latérale, de couvertures meubles depuis la ligne de partage des eaux jusqu'au thalweg adjacent.

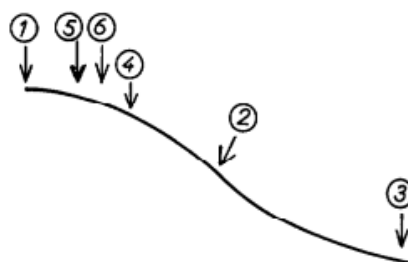
La méthode utilisée consiste à examiner d'abord, sur le transect choisi, trois fosses en haut, mi et bas de pente, puis à faire des observations intermédiaires d'autant plus nombreuses et rapprochées que les variations latérales s'avèrent rapides et importantes (fig. 1). Le but est de pouvoir relier latéralement les observations faites suivant ces verticales successives, en réduisant au maximum la part d'incertitude due aux interpolations (1) d'une verticale à l'autre.



Tout passage latéral rapide d'une organisation à une autre doit être observé dans une fosse, mais lorsque les transitions sont progressives ou fortement obliques, on se contente de jalonner la transformation jusqu'à pouvoir en analyser tous les stades. Les structures répétitives de dimensions très réduites vis-à-vis de l'organisation toposéquentielle sont mises en évidence également dans des fosses. L'opération est achevée lorsqu'on peut dessiner, sous la coupe topographique convenablement nivelée, la répartition des différentes organisations observées. L'étude des relations entre organisations ainsi que la détermination des points de prélèvement pour analyse se font en fonction de cette représentation qui fait intervenir le minimum d'interpolations facilement accessible (1). On soulignera qu'une étude basée sur l'observation de profils, même nombreux et alignés le long d'une pente, mais dont l'implantation n'aurait pas été faite en vue d'une analyse précise des passages latéraux, de leurs modalités et de leur géométrie, ne répondrait pas, sauf effet

① ≠ ② ⇒ implantation de ④  
④ ≠ ① ⇒ implantation de ⑤  
⑤ = ①    ⑤ ≠ ④ ⇒ implantation de ⑥

On procède de même entre ④ et ②  
et entre ② et ③



du hasard, aux exigences d'exactitude précitées.

FIG. 1 Mode d'implantation des sondages ou fosses dans une étude en toposéquence.

Les études réalisées suivant ces principes ont apporté des informations inattendues et essentielles sur l'évolution et la dynamique des couvertures pédologiques correspondantes. Dans une première partie sera donc passé en revue un certain nombre de couvertures pédologiques ayant fait l'objet d'une étude du type décrit ci-dessus. Les faits seront résumés, et on essaiera de montrer les progrès successifs que ces travaux ont apportés au mode de raisonnement en Pédologie.

Cette analyse amène à l'étude tridimensionnelle de la couverture pédologique. Nous montrerons alors, dans une deuxième partie, à travers deux exemples, comment on peut acquérir une connaissance juste et fidèle en trois dimensions de l'organisation d'une couverture pédologique, dans le cadre de la phase analytique d'une approche cartographique.

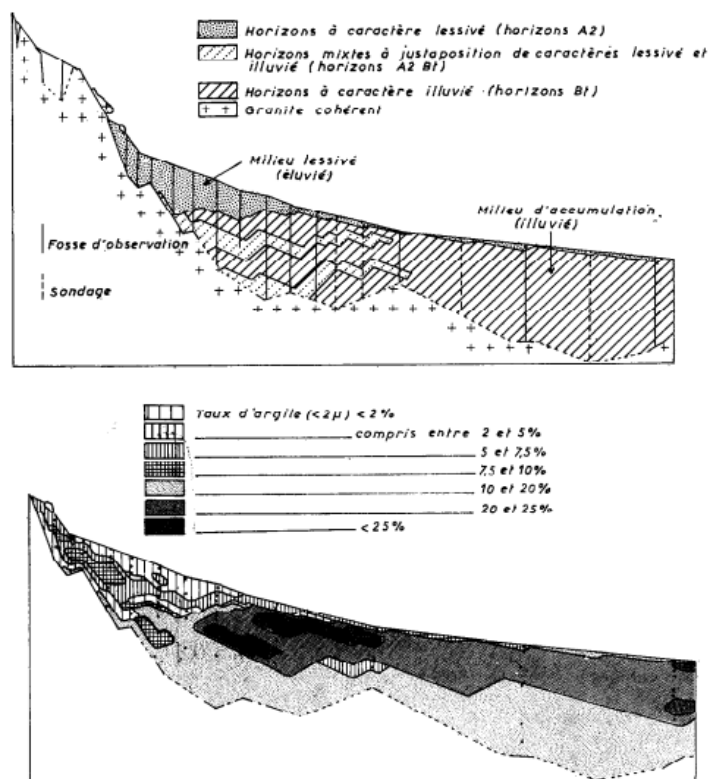
Enfin, une troisième partie permettra de montrer comment cette phase analytique permet de passer avec une perte minimum d'information à une cartographie synthétique à échelle quelconque.

II. Les séquences pédologiques du piedmont des inselbergs granitiques du Guera (toposéquences de Kosselili) et des alluvions quaternaires du Logone-Chari (toposéquence de Mindera) au Tchad (G. BOCQUIER, 1971)

## 1. ANALYSE

Les inselbergs granitiques du Guera au Tchad oriental sont situés sous climat soudano-sahélien (pluviosité 850 mm). Ils sont auréolés de glacis à pente faible (1%) reliés au versant rocheux par une zone de raccordement un peu plus inclinée. La figure 2 nous montre

l'organisation générale de la couverture pédologique correspondante (toposéquence de Kosselili): l'amont est occupé par un domaine sableux à caractères morphologiques et géochimiques lessivés. L'aval au contraire est constitué par un domaine argileux à caractères morphologiques et

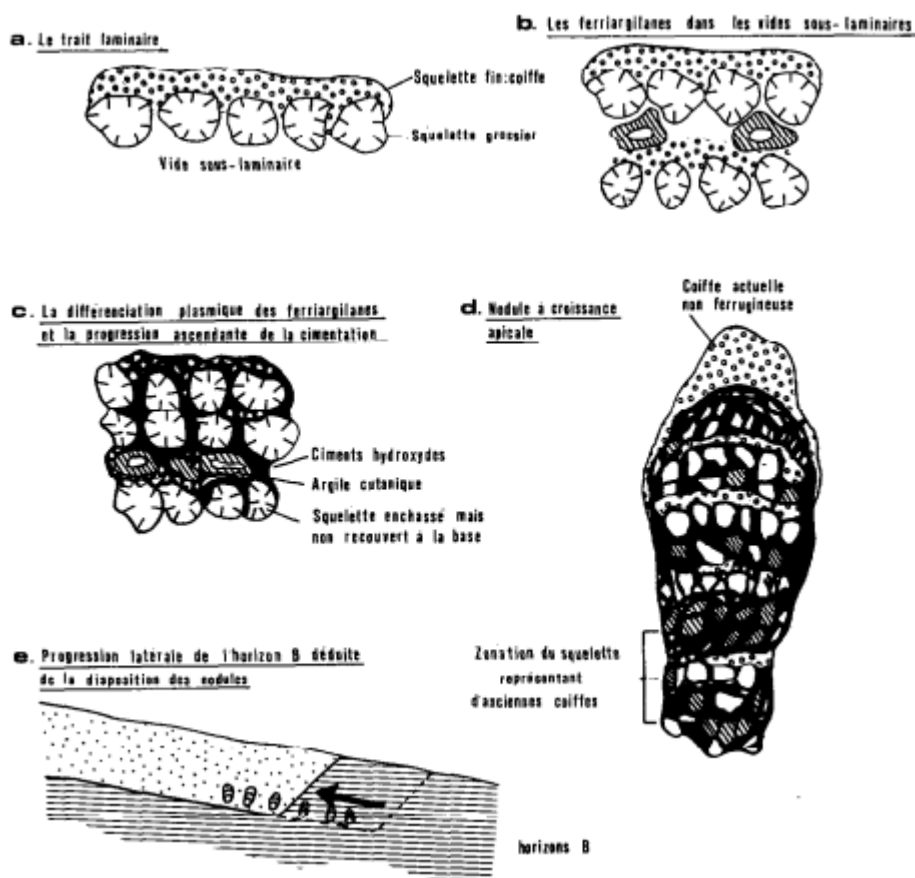


géochimiques illuviaux.

FIG. 2 - Toposéquence de Kosselili: Organisation simplifiée et variations du taux d'argile granulométrique. Tiré de G. BOCQUIER, 1971.

On constate que l'amont est dépourvu sur la moitié de son étendue d'horizon illuvial tandis que l'aval ne présente qu'un horizon lessivé superficiel pelliculaire. La limite entre les deux domaines est abrupte; elle dessine des ressauts successifs en marches d'escalier. Son enveloppe est subhorizontale mais oblique par rapport à la surface du sol, si bien qu'à partir de l'apparition de l'horizon illuvial au contact du granite sain, cet horizon s'épaissit lorsqu'on va vers l'aval et son sommet se rapproche de la surface. La distribution de l'argile (fig. 2) est en accord avec ces observations morphologiques.

L'étude des organisations élémentaires, entre autres, permet à BOCQUIER de démontrer que le domaine illuvial progresse latéralement en remontant vers l'amont. On peut résumer très sommairement la démonstration de BOCQUIER de la façon suivante : dans le domaine lessivé amont s'observent des traits laminaires où l'on identifie tous les intermédiaires entre des dépôts de squelette fin et de matière organique, appelés « coiffes », sur les sommets de sables grossiers juxtaposés, et des nodules ferrugineux qui fossilisent ces structures laminaires. La figure 3 tirée de BOCQUIER (1971) schématise ces divers stades.



**FIG. 3 - Toposéquence de Kosselili: Représentation schématique des différents stades de formation des nodules en domaine éluvial. Tiré de G. BOCQUIER, 1971.**

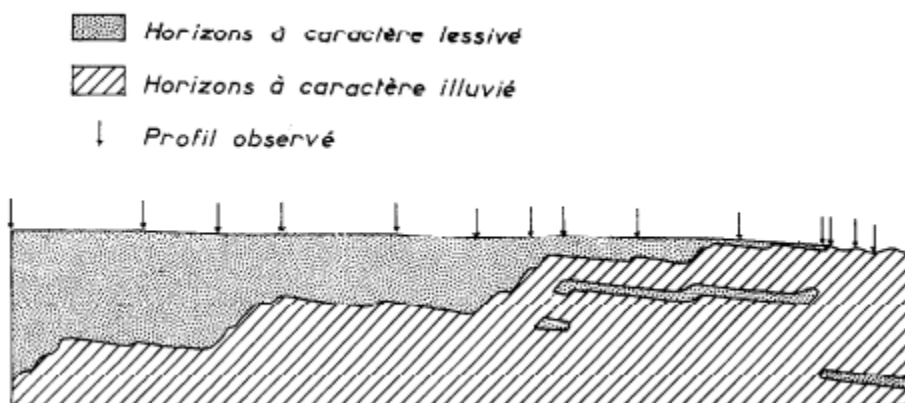
- Le trait laminaire
- Les ferriargilanes dans les vides sous-laminaires
- La différenciation plasmique des ferriargilanes et la progression ascendante de la cimentation
- Nodule à croissance apicale
- Progression latérale de l'horizon B déduite de la disposition des nodules.

En 3 a, la coiffe recouvre cinq grains de squelette grossier dont les interstices basaux restent ouverts formant un vide sous-laminaire. En 3 b, des ferri-argilanes se mettent en place dans les vides sous-laminaires. En 3 c, des ferriargilanes se différencient en ciment d'hydroxydes et argile cutanique, tandis que les coiffes se ferruginisent. En 3 d est représenté un nodule construit par formation de coiffes apicales et par ferruginisations successives.

Ce type de nodule traduit à la fois des migrations de particules aboutissant entre autres aux microsédimentations de squelette fin que sont les coiffes, et les conditions d'hydromorphie qui favorisent la différenciation ferrugineuse. Ces migrations de particules sableuses ne sont possibles que dans un milieu où domine un squelette laissant ouverts des vides communicants de taille largement supérieure à ceux des particules transportées et que traverse un flux liquide susceptible d'entraîner ces particules. Il s'agit là d'un milieu typiquement lessivé.

Or, ces nodules de domaine lessivé se retrouvent en domaine illuvié, dans l'horizon B adjacent, envoyés dans un plasma argileux à organisation cutanique (ferriargilanes) très développée. Ils ne peuvent s'être formés dans ce milieu argileux puisqu'on n'y

observe pas les organisations laminaires, non consolidées par le fer, dont ils dérivent (fig. 3). Ils sont donc les témoins d'un état lessivé antérieur de leur environnement immédiat. Ceci démontre que le domaine illuvial a envahi la partie du domaine lessivé située à son amont immédiat, selon le schéma de la figure 3 e.



A l'échelle des horizons, la persistance au sein du domaine illuvial d'horizons \$A\_2B\$ (cf. fig. 2), où dominent les caractères lessivés par rapport aux caractères illuviaux, apporte confirmations de ce que les horizons illuviaux adjacents ont appartenu au domaine lessivé.

FIG. 4 - Toposéquence de Mindera: Organisation d'ensemble. Tiré de G. BOCQUIER, 1971.

Cette invasion remontante (BOCQUIER et al., 1970) du domaine lessivé amont par le domaine illuvial aval, fait intervenir successivement une accumulation d'argile essentiellement kaolinique, une concentration ionique qui entraîne des néoformations argileuses (montmorillonite), une alcalisation localisée, la formation de nodules calcaires, etc.

Sur les alluvions sablo-argileuses quaternaires du Logone-Chari se développent des systèmes semblables au précédent à ceci près qu'ils ne sont pas dominés par un inselberg. Le climat est soudano-sahélien, la pluviosité de 975 mm. La figure 4 (toposéquence de Mindera) en montre l'organisation générale. La limite entre domaine lessivé amont et domaine illuvié aval présente, comme à Kosselili, une forme en escalier, dont l'enveloppe est, cette fois, oblique par rapport à l'horizontale. On retrouve ici la même organisation latérale et les mêmes successions géochimiques. La démonstration de l'invasion remontante du domaine lessivé amont par l'horizon d'accumulation peut être faite grâce aux mêmes nodules.

Ce type de couverture pédologique existe au Tchad sur de vastes étendues avec la même organisation d'ensemble, mais il présente des variations latitudinales caractérisées par l'importance relative prise par les deux domaines amont et aval. Au nord, en zone aride, le domaine illuvial montmorillonitique et calcique s'hypertrophie aux dépens du domaine lessivé amont. Au sud au contraire, en zone plus humide, c'est ce dernier domaine qui prédomine.

## 2. CONCLUSIONS

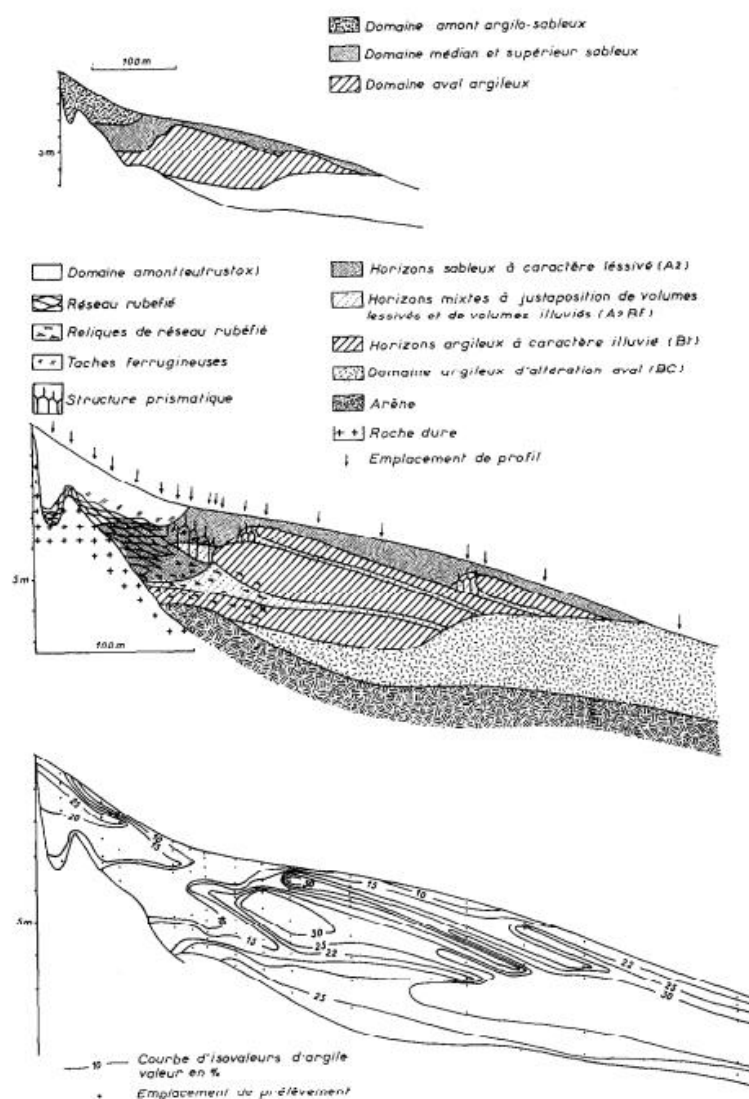
Lors de sa parution, cette analyse a constitué, dans son esprit et dans sa méthode, une innovation importante qui a modifié considérablement la vision que l'on avait du sol. Elle apportait, en effet, des éléments fondamentaux, d'une part pour la connaissance de l'organisation, de la genèse et de la dynamique d'une couverture pédologique, d'autre part pour les méthodes d'analyse et de représentation.

En un point donné de la couverture, la succession verticale des horizons pédologiques qui constituent le profil peut, dans le temps, se transformer en un profil très différent. Ainsi

BOCQUIER montre qu'en un même point de la couverture qu'il étudie, le sol est passé ou passera successivement par les stades sol lessivé (Haplastalf), sol lessivé hydromorphe (Aqualf), planosol (Albaqualf), solonetz solodisé (Natraqualf) puis vertisol.

Cette transformation, si elle peut être traduite, comme on vient de le faire, en termes de profils, ne peut être appréhendée ni expliquée dans ces mêmes termes. Elle s'effectue en effet, dans l'exemple décrit selon des limites obliques et de formes variées dont la géométrie, d'une importance prépondérante pour la compréhension de la pédogenèse, ne peut être exprimée par une simple énumération, même ordonnée, de profils.

Il peut y avoir, entre les volumes qui se succèdent sur les versants, des relations génétiques du même type que celles que l'on reconnaît classiquement entre les horizons d'un profil vertical. On a un véritable système à l'échelle du versant; le sens des transformations peut être déterminé lors de l'analyse bidimensionnelle (toposéquence).



De tels systèmes transformants peuvent évoluer à facteurs externes constants: ils induisent en effet eux-mêmes les modifications des facteurs internes (régime phréatique, régime de percolation, dynamique géochimique, etc.) nécessaires à leur évolution.

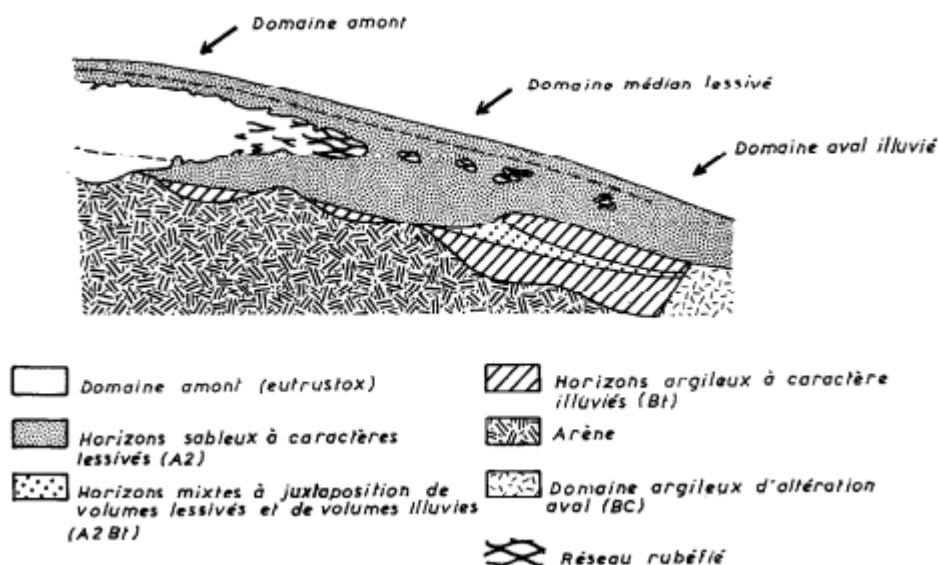
FIG. 5 - Toposéquence de Garango: Organisation et variation du taux d'argile granulométrique.

III. Les toposéquences sur granite porphyroïde et de piedmont d'inselberg de Haute-Volta (R. BOULET, 1974)

## 1. ANALYSE

En Haute-Volta méridionale (climat soudano-sahélien, pluviosité 900 mm), on observe soit sur granite porphyroïde leucocrate (toposéquence de Diébiga), soit au pied d'inselbergs migmatitiques (toposéquence de Garango) des couvertures pédologiques qui présentent certaines analogies avec celles étudiées par BOCQUIER au Tchad.

Les figures 5 et 6 montrent l'organisation générale de ces couvertures pédologiques où l'on distingue :



Un **domaine amont** constitué d'un sol ferrallitique (Eustrustox) à Garango, d'un sol ferrugineux (Haploxeralf) se carapaçant vers l'aval (Durixeralf) à Diébiga. L'étude microscopique montre que le plasma argileux de ces sols est directement issu de l'altération des minéraux primaires de la roche mère avec une faible redistribution dans le profil. Nous parlerons alors de couverture pédologique d'altération.

FIG. 6 – Toposéquence de Diébiga: Coupe synthétique.

Un **domaine médian sableux**, à caractères morphologiques et géochimiques lessivés. Il est séparé du domaine amont par un front abrupt. Il apparaît en coin, au contact du matériau originel, à la base du domaine amont, qu'il recoupe obliquement pour rejoindre, 50 à 100 m plus à l'aval, l'horizon lessivé supérieur. Ici, les relations spatiales entre les volumes pédologiques, confirmées par la distribution des taux d'argile (fig. 5), permettent à elles seules et de plusieurs façons, de démontrer que le domaine lessivé médian progresse latéralement aux dépens du domaine amont qui apparaît ainsi comme une couverture pédologique initiale en cours de transformation. En effet, les domaines amont présentent, dans les deux cas, des volumes caractérisés par une certaine organisation ferrugineuse (réseau rubéfié à Garango, carapacé à Diébiga). Ces volumes se maintiennent dans le domaine médian sur une courte distance sous forme d'îlots décimétriques qui s'amenuisent puis disparaissent vers l'aval (cf. fig. 6). Ce type de transition suggère que les volumes en îlots sont des reliques qui témoignent de la présence antérieure, à la place de l'actuel domaine médian, du domaine amont dans lequel on voit apparaître ces volumes à structures ferrugineuses. Or, l'obliquité du front qui sépare les deux domaines résulte de ce que, lorsqu'on se déplace de l'amont vers l'aval, le domaine lessivé apparaît à la base du sol puis envahit ce dernier de bas en haut. Ceci implique que le front de lessivage progresse de bas en haut et de l'aval vers l'amont.

Le lessivage transforme ainsi la couverture initiale sablo-argileuse en un matériel sableux. Au microscope on constate que cette transformation s'effectue par une exportation presque complète du plasma argilo-ferrugineux qui laisse sur place le squelette sableux et, provisoirement, les organisations ferrugineuses. Le squelette se réorganise et acquiert des traits laminaires analogues à ceux décrits par BOCQUIER au Tchad: coiffes et vides sous-laminaires à argilanes. Cette réorganisation ne va toutefois pas jusqu'à la formation de nodules.

Un **domaine aval argileux** à caractères morphologiques et géochimiques illuviaux. Il se décompose en un horizon inférieur qui tapisse le plancher de l'horizon lessivé (ou seulement ses dépressions: Diébiga amont) et en un (Diébiga) ou plusieurs (Garango) horizons en langue qui s'empilent les uns sur les autres, séparés par des horizons \$A\_2B\$ à caractères morphologiques lessivés relictuels. L'étude microscopique, de même que les données granulométriques et la géochimie des nappes qui fluctuent dans le système montrent que l'horizon illuvial inférieur résulte d'une décantation, au sein d'une nappe, de particules argileuses associées en faible proportion à des limons et sables fins, tandis que les horizons en langue sont alimentés par une migration latérale de particules fines au sommet de la même nappe et dont le dépôt, à l'aval, est commandé par les fluctuations de celle-ci au rythme des séquences pluviales. Dans ce domaine aval, comme au Tchad, se succèdent illuviation argileuse, accumulation ionique, néoformation argileuse (montmorillonite). Il est dès lors possible de reconstituer l'évolution d'un tel sol, évolution que l'on a schématisée sur la figure 7.

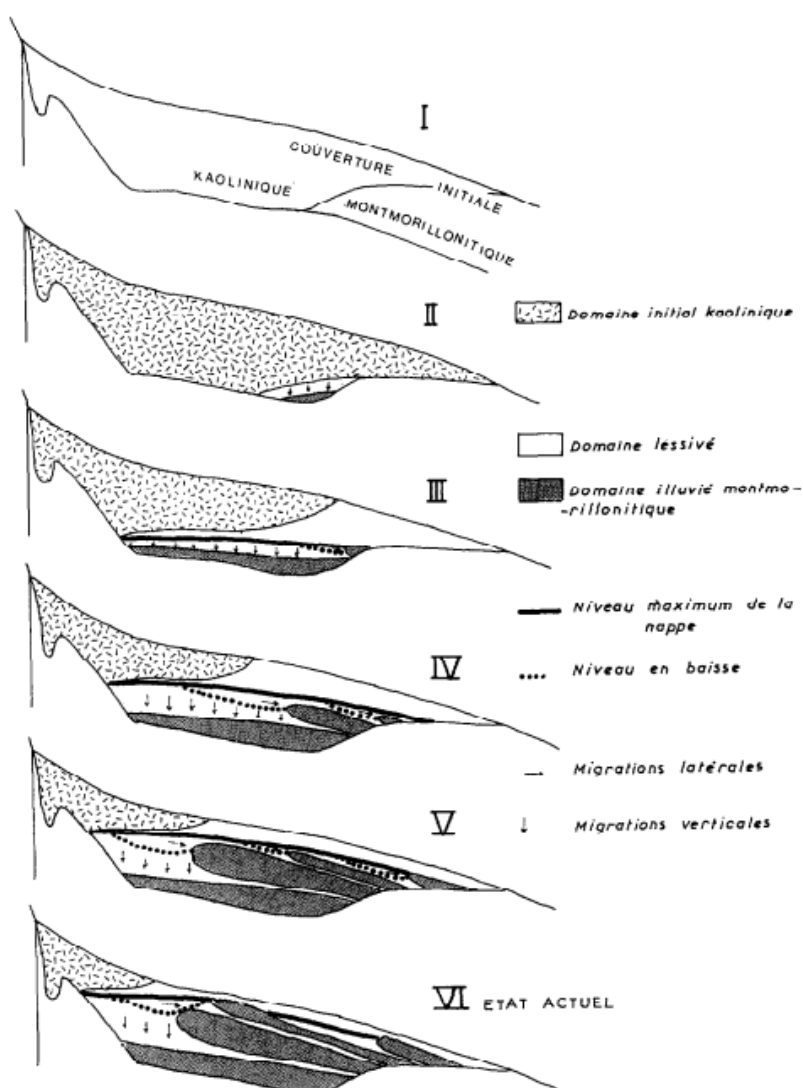
FIG. 7 - Stades d'évolution de la couverture pédologique de Garango, reconstitués à partir de l'organisation et de la dynamique actuelles (États I à VI).

Grâce à des observations s'étalant du nord au sud de la Haute-Volta, on a montré que cette transformation de couvertures kaoliniques en couvertures montmorillonitiques par redistributions latérales internes résulte d'une mise en déséquilibre des premières, qui se trouvent placées dans des conditions de régime hydrique trop contrastées et dont les organisations élémentaires deviennent instables et se transforment.

## 2. CONCLUSIONS

Cette analyse, qui a poursuivi la voie ouverte par BOCQUIER, apporte des éléments nouveaux qui viennent modifier un peu plus nos conceptions sur le sol.

Comme dans l'exemple du Tchad on observe des transformations latérales de volumes pédologiques. Mais il est montré ici, grâce à des modèles naturels plus complets, que cette



évolution correspond à la transformation d'une couverture initiale en une couverture morphologiquement et minéralogiquement très différente et que cette transformation résulte d'une mise en déséquilibre de la couverture initiale, consécutive à une modification des facteurs externes. Ces facteurs externes, encore incomplètement recensés peuvent être très

divers (climatiques, tectoniques: BOULET et al., 1979). Cependant, une fois la transformation déclenchée, celle-ci peut se poursuivre, comme au Tchad, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir de nouvelles modifications des facteurs externes pour l'expliquer.

En ce qui concerne les méthodes et les raisonnements on constate d'une part que l'analyse macroscopique des relations spatiales entre les volumes observés peut à elle seule, dans bien des cas, orienter et étayer le raisonnement. Ainsi la discordance entre le domaine initial et le domaine lessivé qui recoupe les horizons du premier, nous renseigne, compte tenu du contexte du système concerné, sur la chronologie, le sens et le mode de progression de la transformation.

Enfin, des mesures en rapport avec la dynamique du système, calées sur son organisation, apportent des résultats fondamentaux pour la compréhension des mécanismes.

IV. Relations entre les sols rouges ferrallitiques et les sols beiges ferrugineux en Afrique de l'Ouest (A. CHAUVEL, 1977)

## 1. ANALYSE

CHAUVEL a étudié sur le terrain et au laboratoire les sols rouges ferrallitiques (Oxisols) de Casamance (pluviosité 900-1 200 mm) et leurs relations avec les sols beiges ferrugineux (Aqualfs), auxquels ils sont associés dans cette région située entre le domaine « ferrallitique » au sud et le domaine « ferrugineux » au nord. Après une analyse très approfondie de l'organisation, aussi bien à l'échelle de l'interfluve qu'à celle de la lame mince, et du comportement des matériaux pédologiques à divers traitements de laboratoire, il montre que les sols rouges sont séparés des sols beiges par une zone de transition large de quelques centaines de mètres où s'observe une succession ordonnée de variations latérales de la morphologie des sols représentée schématiquement sur la figure 8.

FIG. 8 - Relations entre les sols rouges ferrallitiques et les sols beiges ferrugineux dans la toposéquence.

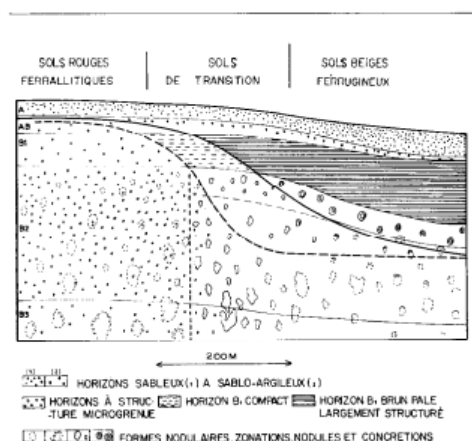
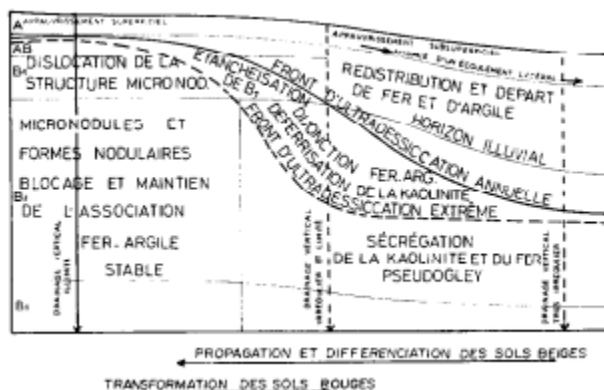


FIG. 9 - Mécanismes de la transformation des sols rouges en sols beiges.



Au départ, le sol rouge présente la succession d'horizons suivante :

**Un ensemble d'horizons A et AB** épais d'une quarantaine de centimètres, teinté par la matière organique, à texture sableuse en surface, devenant progressivement argileuse vers le bas.

**Un horizon SB\_1S**, épais d'une quarantaine de centimètres rouge, argileux, à structure massive à sous-structure microgrenue, passant localement à polyédrique grossière.

**Un horizon SB\_2S**, épais de deux mètres environ, rouge, argileux, à structure microgrenue généralisée. Ces microagrégats qui présentent une résistance mécanique à l'écrasement et qui ne se dispersent complètement lors de l'analyse mécanique qu'après avoir subi un traitement déferifiant, sont appelés micronodules par CHAUVEL. Ils sont assemblés de façon à constituer une charpente continue et délimitent de nombreux vides intermicronodulaires communicants qui confèrent à l'horizon une forte porosité et perméabilité. Des formes nodulaires, à peine cimentées, légèrement plus violacées que leur emballage apparaissent dans cet horizon et augmentent en taille et nombre vers le bas.

**Un horizon SB\_3S**, épais de plus de deux mètres, argileux, également rouge mais à zonations blanchâtres qui soulignent les formes nodulaires devenues plus nombreuses et cohérentes.

Le passage aux sols beiges tel qu'il est représenté, résulte de transformations structurales, dues principalement aux mécanismes indiqués sur la figure 9:

1. **Étanchéisation de l'horizon SB\_1S** par effondrement de la microstructure sous effet d'une dessiccation très poussée (ultra-dessiccation) lors des années les plus sèches (1).

Cette dessiccation, provoquant l'évacuation de l'eau fixée à des pF élevés dans les interstices entre les particules de kaolinite des micronodules, favorise l'effondrement de la charpente de ces derniers. Lors des réhumectations suivantes, les particules d'argile se réorientent, ce qui se manifeste morphologiquement par l'apparition de ferriargilanes. Il s'ensuit une augmentation de la continuité du milieu solide et donc de sa conductivité hydraulique pour l'eau non saturante, d'où une propagation verticale et latérale, au contact du volume compacté, de l'ultra-dessiccation, et un autodéveloppement du phénomène. Simultanément, cette compaction provoque la formation de légères dépressions en surface.

2. **Mobilisation du fer** fixé sur la kaolinite sous l'effet d'une forte baisse de pH, elle aussi induite par l'ultradessiccation qui provoque une forte polarisation de l'eau et un taux de dissociation élevé. La kaolinite, libérée, se redistribue dans le profil. Il s'ensuit un allègement de la texture des horizons A et AB et la différenciation d'un horizon illuvial responsable d'une hydromorphie secondaire. La ségrégation de la kaolinite et du fer gagne vers le bas, provoque une décoloration du plasma, la formation de nodules à partir des volumes nodulaires du sol rouge, puis de concrétions.

On aboutit ainsi à la formation du sol beige qui présente les horizons suivants:

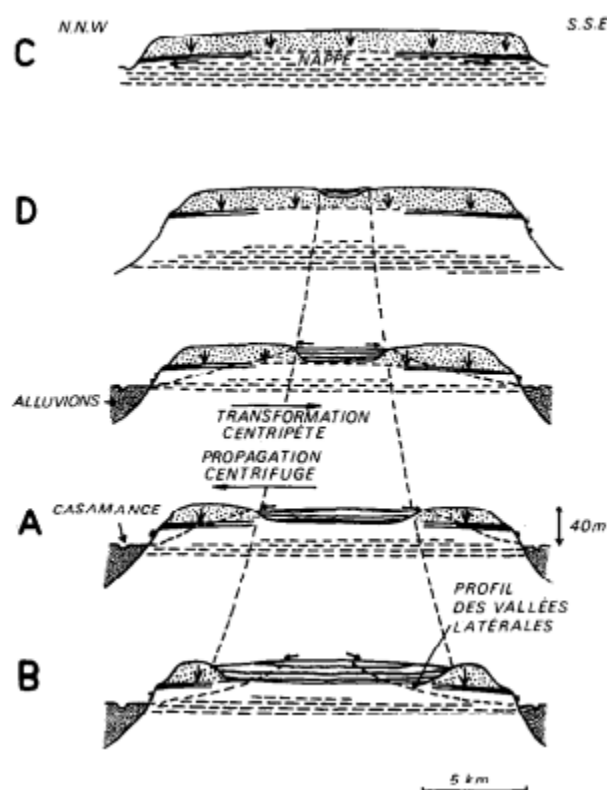
**Un ensemble A et AB** humifère, brun-gris, sableux, à structure massive à particulaire.

**Un horizon \$B\_1\$**, brun pâle, argilo-sableux à argileux, largement structuré, pénétré de fentes de retrait.

**Un horizon \$B\_2\$**, brun jaune, un peu moins argileux, comportant, dans sa partie supérieure, des nodules et concrétions ferrugineux qui passent plus bas à des volumes nodulaires rougeâtres tandis que l'emballage s'éclaircit. En profondeur, le pseudogley se généralise.

(1) *Le défrichement provoque le démarrage d'une évolution analogue en quelques dizaines d'années.*

**FIG. 10** - Étapes successives supposées de l'évolution d'un plateau de moyenne Casamance (C, D, A, B).



Grâce à la dimension kilométrique à déca-kilométrique du système qu'il étudie, CHAUVEL retrouve sur les cartes pédologiques existantes (échelle du 1/200 000), les composantes majeures de ce système. Il a pu ainsi en reconnaître l'organisation en plan à l'échelle du plateau et analyser les variations latitudinales à l'échelle de toute une région naturelle, la moyenne Casamance.

A l'aide de l'ensemble de ces données, CHAUVEL reconstitue comme suit l'évolution de la couverture pédologique et celle concomitante du modelé (fig. 10) :

- A l'origine (**coupe C**) se développe, sous un climat humide, à partir d'une épaisse frange d'altération et sur toute la surface de l'interfluve, un sol rouge ferrallitique profond. Un drainage vertical alimente alors une nappe en équilibre à 15-20 m de profondeur. Cette nappe s'écoule latéralement et le sommet de son magasin tend à s'indurer.
- Intervient alors une phase aride en même temps qu'un abaissement du niveau marin (**coupe D**). L'alternance de fortes dessiccations et humectations, dues aux conditions climatiques,

provoque alors la formation de sol beige à partir du centre de l'interfluve où les possibilités de drainage externe sont les plus réduites et où se développe une hydromorphie sur des surfaces légèrement déprimées. L'évacuation de l'eau libre s'effectue dès lors latéralement selon des discontinuités correspondant à des failles et crée de petits thalwegs à écoulement sporadique (vallées latérales). L'abaissement du niveau de la mer provoque le creusement des vallées principales qui transforme l'interfluve en plateau dont les versants voient se développer des sols beiges de pente, en accord avec les conditions arides du moment. Les cuirasses de bordure se démantèlent partiellement.

- La situation actuelle (**coupes A et B**) résulte à la fois :
  - de l'autodéveloppement des sols beiges de plateau qui continuent à se propager aux dépens des sols rouges;
  - du creusement des vallées latérales, d'autant mieux alimentées en eau que le colmatage tend à se généraliser;
  - de la remontée du niveau marin et donc de l'alluvionnement dans les vallées principales.

## 2. CONCLUSIONS

Là encore, on a un système de transformation initié par un événement pédoclimatique particulier : un état de sécheresse exceptionnel entraînant une ultra-dessiccation. Cependant, alors que dans les deux exemples précédents, la transformation est liée à des transferts de matière (éluviation ou illuviation d'éléments fins), elle est ici dans un premier temps uniquement liée à une modification structurale, induite par l'intervention de fortes dessiccations au sein des volumes considérés. D'autre part, à ce stade, la transformation n'est pas remontante le long d'un versant, mais est centrifuge à partir du cœur des plateaux.

A propos des méthodes, on remarque que les principaux types de sol ont été au début de l'étude, caractérisés par des profils types, décrits par horizon, et repérés sur une coupe topographique. Mais la suite montre que c'est l'observation des transitions entre différents volumes qui va permettre la compréhension du système et de sa structure. L'observation ne se limite pas, alors, à la description d'horizons isolés, mais considère certains traits pédologiques (par exemple, état des formes nodulaires) dont les variations observées, recoupant les horizons éventuels, permettent d'établir des séquences d'organisation.

Enfin, on a ici un premier exemple d'analyse structurale essentiellement bidimensionnelle, mais reliée directement à une cartographie pédologique. Il apparaît alors que cette introduction de la troisième dimension apporte des informations importantes sur la genèse et l'évolution du système de transformation.

## V. Conclusions

Les trois exemples cités constituent des jalons dans une évolution récente qui a des implications essentielles sur le concept même de sol. Le premier de ces trois exemples a été à l'origine de cette évolution, les deux suivants ont été choisis parmi d'autres travaux qui aboutissent à des conclusions similaires. Cependant, ces trois exemples suffisent à montrer qu'une analyse globale, à l'échelle du versant, de l'organisation et de la dynamique de couvertures pédologiques peut révéler des organismes complexes insoupçonnés auparavant, dans lesquels on ne peut privilégier a priori un gradient vertical de différenciation.

Ainsi, il est aisé de vérifier sur les transects présentés dans les pages précédentes que le profil n'y représente qu'une coupe verticale qui, isolée, ne permet pas plus de comprendre la structure de la couverture pédologique qu'une coupe transversale d'une tige de végétal ne permet de connaître la plante complète. Dans ces exemples, le profil apparaît comme un niveau

d'observations imposé par le caractère masqué de l'objet d'étude, mais non comme un niveau d'organisation. Ainsi, privilégier l'organisation verticale du sol en choisissant le pédon comme un volume élémentaire d'étude, de caractérisation et de classification de la couverture pédologique en se contentant d'interpoler entre deux pédons différents risque, dans les cas cités, de masquer ou de déformer l'organisation réelle du sol. Les exemples cités constituent-ils donc des exceptions en pédologie, ou bien faut-il, à leur lumière, reconsidérer les approches pédologiques existantes?

Les travaux effectués dans le même esprit que ceux que l'on a cités sont maintenant suffisamment nombreux et dispersés dans le monde intertropical pour que l'on puisse apporter un début de réponse à cette question. Ainsi, au Cameroun septentrional, BRABANT (non publié) analyse des couvertures dont la dynamique et l'évolution présentent une parenté assez étroite avec celles étudiées en Haute-Volta. LEPRUN (1977, 1979) montre en divers points d'Afrique Occidentale que les versants cuirassés sur socle se transforment selon des mécanismes internes de lessivage et de transfert proches de ceux mis en évidence à Garango et Diébaga. En Guyane française, TURENNE (1975) montre que la transformation des sols ferrallitiques en podzols de nappe s'effectue également selon un gradient strictement latéral. Dans cette même région, les transformations à progression latérale sont pratiquement la règle dans les couvertures ferrallitiques sur socle (BOULET, BRUGIÈRE, HUMBEL, 1979). Et cette liste n'est pas complète.

On constate donc que, très souvent, lorsqu'une étude globale a été menée, des faits, des mécanismes, des dynamiques nouveaux sont apparus qui n'avaient pas été décelés par les approches classiques fréquemment appliquées antérieurement sur les mêmes couvertures pédologiques.

Cependant, d'un point de vue pratique, les objections à la généralisation des études globales du type de celles que nous avons citées sont nombreuses et justifiées.

Les plus fréquentes sont dictées par le réalisme économique. De telles études, dont nul ne nie l'intérêt, sont longues et coûteuses, au moins en temps. Il n'est pas pensable de les appliquer telles quelles à toutes les couvertures pédologiques ni d'en attendre les résultats pour poursuivre la cartographie. D'autre part, ainsi que le souligne HUGGET (1975), le sol est un objet à trois dimensions et il ne peut être étudié qu'en considérant une portion de couverture dont les limites sont définies de façon fonctionnelle. Or les travaux dont on a fait état ne prennent en compte que l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique. De fait, on s'aperçoit, lorsqu'on veut utiliser la toposéquence comme unité de cartographie, que les toposéquences, même rapprochées de quelques dizaines de mètres, montrent souvent des analogies de fond mais aussi des différences suffisantes pour que l'on soit confronté rapidement à une complexité impossible à maîtriser dans le cadre de la cartographie systématique.

Il est donc important, et même primordial, de rechercher des approches qui permettent d'acquérir rapidement une connaissance juste et fidèle en trois dimensions de l'organisation et si possible de la dynamique des couvertures pédologiques d'une région, sans que l'on doive atteindre immédiatement le niveau de connaissance obtenu dans les études précédemment citées. C'est une tentative de ce genre qui est proposée dans une seconde partie.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M. le 2 juillet 1982*

## BIBLIOGRAPHIE

**BOCQUIER (G.), 1971.** Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. *Thèse Sci. Strasbourg et Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 62, 1973, 350 p.

**BOCQUIER (G.), PAQUET (H.), MILLOT (G.), 1970.** Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques: l'invasion remontante de la montmorillonite. *C. R. Acad.*

*Sci.*, Paris, 270 D: 460-463.

**BOULET (R.), 1974.** Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Équilibre et déséquilibre pédobioclimatique. *Thèse Sci. Strasbourg et Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 85, 1978, 272 p.

**BOULET (R.), BRUGIÈRE (J.-M.), HUMBEL (F.-X.), 1979.** Relations entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane française septentrionale: Conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. *Sci. du Sol. Bull. AFES*, n° 1, 1979: 3-18.

**CHAUVEL (A.), 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *Thèse Sci. Strasbourg et Trav. et Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 62, 532 p.

**CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), 1978.** Genèse de sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal). Modalités de leur propagation. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 3: 231-249.

**HUGGET (R. J.), 1975.** Soil landscape systems: a model of soil genesis. *Geoderma*, vol. 13, n° 1: 1-22.

**LEPRUN (J.-C.), 1977.** Géochimie de la surface et forme du relief. IV- La dégradation des cuirasses ferrugineuses. Étude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l'Ouest. *Sci. Géol. Bull.* 30, 4: 265-273.

**LEPRUN (J.-C.), 1979.** Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse. Transformation. Dégradation. *Thèse Sci. Strasbourg*.

**TURENNE (J.-F.), 1975.** Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4, 1982: 309-321.