

Analyse structurale et cartographie en pédologie

II — Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques

René BOULET (1), François-Xavier HUMBEL (2), 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 Cedex*

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

RÉSUMÉ

Une méthode d'analyse de la structure tridimensionnelle de la couverture pédologique d'unités élémentaires de modelé, bassins versants ou interfluves, est présentée à l'aide de deux exemples guyanais. Le premier concerne l'étude de la couverture pédologique d'anciennes barres pré littorales sablo-argileuses caractérisée par le passage de sols ferrallitiques à des podzols de nappe. Le second correspond à un bassin versant élémentaire sur schiste et pegmatite, dont la couverture pédologique présente une dynamique de l'eau complexe. Une méthode générale, adaptée au milieu pédologique guyanais, est ensuite exposée avec indication de l'ordre de grandeur des délais d'exécution. On examine enfin l'intérêt et les objectifs de cette méthode.

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS AND SOIL MAPPING.

II — AN ANALYTICAL METHOD INCLUDING THE TRIDIMENSIONAL ORGANIZATION OF SOIL COVERS

A method for the analysis of the three-dimensional structure of the soil mantle of elementary landscape units is exposed through two examples from French Guiana.

The first one presents sandy-clay old pre-coastal bars, with ferrallitic soils changing to podzolic soils. The second one present an elementary catchment area on schist and pegmatite, whose soil mantle shows a complex water dynamics.

A general method, fitted to the Guianese area, is then exposed with, for guidance, time required for such studies.

I. Introduction

Dans la première partie de cette étude est apparue la nécessité de rechercher une approche qui permette d'acquérir rapidement une connaissance juste et à trois dimensions de l'organisation et, dans la mesure du possible, de la dynamique des couvertures pédologiques. En Guyane française, cette nécessité a été particulièrement ressentie après la découverte, suite à des mesures de ruissellement (BLANCANEAUX, *à paraître*), d'une grande diversité de régimes hydriques dans les sols ferrallitiques. Cette diversité n'avait pas été décelée par l'approche pédologique classique, or

ses implications sur la mise en valeur sont considérables. D'autre part, nombre de couvertures pédologiques guyanaises présentent des variations latérales si rapides et si importantes que leur découpage en surfaces que l'on puisse considérer comme homogènes, même à très grande échelle, pose des problèmes insolubles et ne rend absolument pas compte du comportement du couvert végétal naturel ou cultivé. Tel est le cas des couvertures pédologiques sur « barres pré littorales » de la plaine côtière ancienne et des collines sur schistes dits Bonidoro, que nous envisagerons ci-après. C'est pourquoi, pour guider la mise en valeur de ces régions, on a été amené à

rechercher une analyse à la fois plus fine et plus juste de l'organisation et du fonctionnement des dites couvertures pédologiques.

La méthode fut mise au point sur les systèmes pédologiques des « barres pré littorales » sableuses de la plaine côtière ancienne, qui sont actuellement l'objet d'une mise en valeur essentiellement tournée vers les cultures fourragères. Elle a été ensuite appliquée aux sols du socle, d'abord en région schisteuse (schistes Bonidoro, d'âge précambrien) dans le cadre d'une étude multidisciplinaire sur petits (1 ha) bassins versants. Elle est actuellement utilisée d'une part à la poursuite de l'inventaire des couvertures pédologiques de la Guyane française, d'autre part dans le cadre d'expérimentations agropédologiques.

Dans un premier temps, nous décrirons à titre d'exemple l'organisation, révélée par cette méthode, de la couverture pédologique de barres pré littorales, en donnant à cette occasion quelques détails pratiques sur les techniques de prospection utilisées. Puis on examinera le cas d'une couverture pédologique de région plus accidentée sur socle (schistes Bonidoro). Enfin, on complètera le mode opératoire dans le cadre de l'étude d'une région naturelle, en donnant un ordre de grandeur des délais d'exécution.

II. Étude de la couverture pédologique de barres pré littorales

Les sables fins marins de la plaine côtière ancienne ont été déposés en bancs allongés (barres pré littorales) parallèlement au rivage, puis exondés. Ce modelé initial a orienté l'installation du réseau hydrographique et s'est à peu près maintenu, si bien qu'actuellement ces formations sableuses se présentent sous la forme d'ondulations surbaissées (dénivelée inférieure à 10 m) à sommet aplati ou arrondi, plus ou moins anastomosées, séparées par des axes de drainage colmatés et marécageux. Ces barres pré littorales portent des couvertures pédologiques qui présentent souvent des variations morphologiques et pédoclimatiques importantes et rapides dont les termes extrêmes sont des sols ferrallitiques et des podzols de nappe. TURENNE (1975) a étudié de façon approfondie le passage latéral des sols ferrallitiques aux podzols et montré que les seconds résultent de la transformation des premiers, en insistant particulièrement sur le rôle de la matière organique dans cette évolution. Disposant de ces données fondamentales, c'est donc surtout l'organisation spatiale et la dynamique de l'eau de ces couvertures qui a retenu notre attention (fig. 1).

La coupe B nous montre un éventail complet des variations verticales et latérales de ce type de couverture pédologique. Ces variations s'organisent,

aux stades représentés sur la figure 1, à partir d'îlots de sol jaune-rouge de type ferrallitique répartis en bordure du replat sommital de la barre et délimités par la courbe 1. Elles diffèrent selon que l'on va vers le milieu de la barre (variation centripète) ou vers sa bordure (variation centrifuge). Nous décrirons donc successivement, le profil du sol jaune-rouge et, à partir de ce profil, les variations latérales centripètes puis centrifuges, les observations ayant été faites en saison des pluies.

PROFIL DU SOL JAUNE-ROUGE DE BORDURE

0-10 cm

Brun foncé (10 YR 3/3), matière organique régulièrement répartie et bien liée à la matière minérale. Sableux. Structure à tendance grumeleuse. Porosité forte, tubulaire et interagrégats.

10-50 cm

Brun plus clair et plus vif (10 YR 4/4) au sommet passant à jaune-rouge à la base (7,5 YR 5/7). Transition progressive de texture. Structure massive, porosité plus fine, bien développée.

50-100 cm

Jaune-rouge (7,5 YR 5/7). Sablo-argileux à argilo-sableux. Structure massive à débit plus irrégulier. Porosité tubulaire fine bien développée.

100-140 cm

Avec une transition progressive, passage à jaune (10 YR 5,5/8) à volumes plus rouges (5 YR 6/8) variablement indurés, de taille de l'ordre du centimètre. La texture est progressivement plus sableuse vers le bas. Structure massive, porosité fine bien développée.

140-200 cm

La teinte de fond s'éclaircit progressivement (10 YR 6/6), les volumes rouges s'auréolent d'ocre ou, plus rarement s'indurent en s'entourant d'un cortex brun. Sableux, massif, porosité fine bien développée. De plus en plus humide vers le bas (frange capillaire). La nappe est atteinte entre 220 et 250 cm.

VARIATIONS CENTRIPÈTES

Lorsqu'on s'éloigne du centre de l'îlot de sol jaune-rouge en allant vers le milieu de la barre, on constate d'abord un amincissement de l'horizon de teinte 7,5 YR, qui finit par disparaître. Cette dispa-

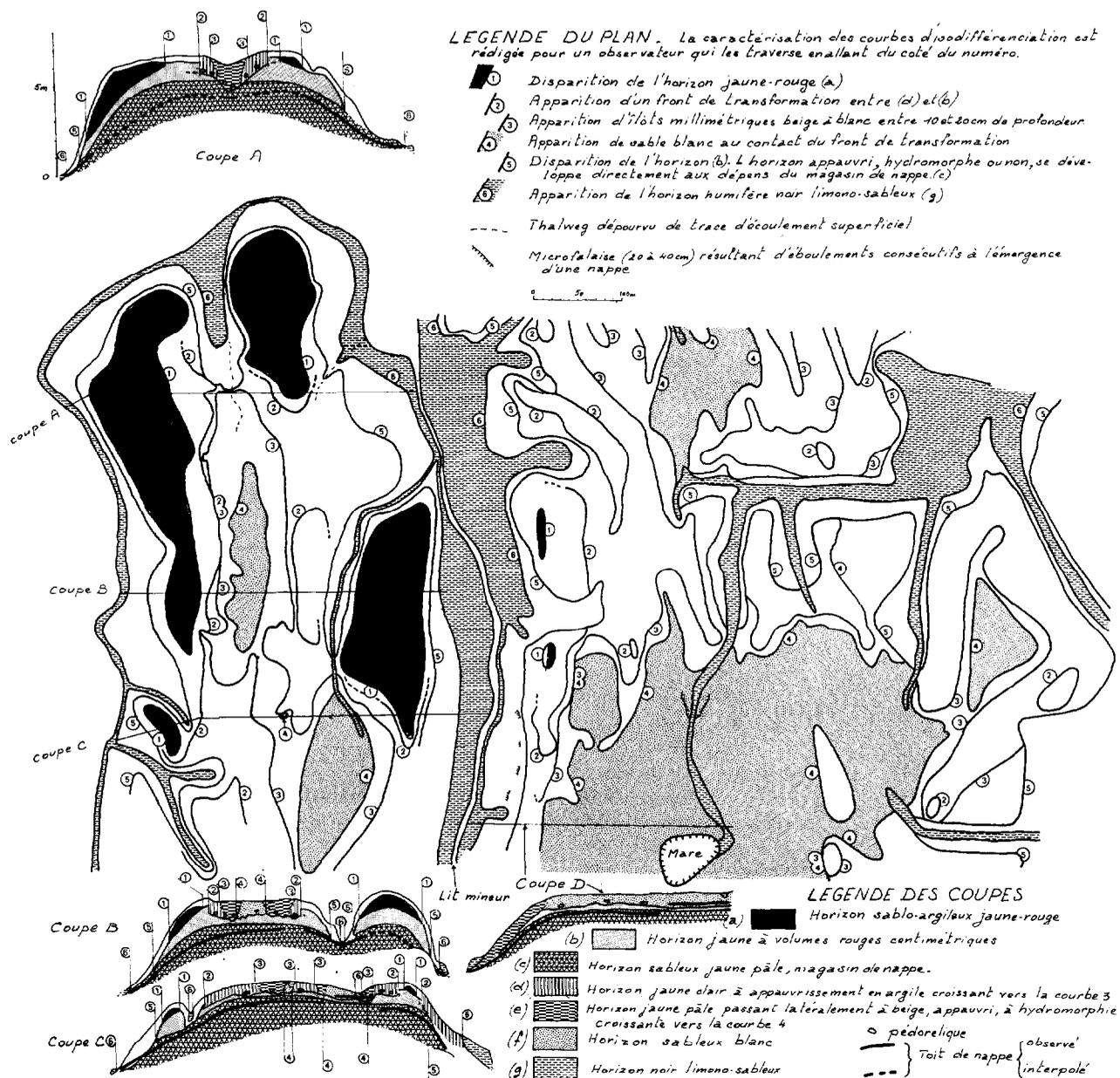


Fig. 1. — Représentation en coupes et plans de barres pré-littorales

rition a été recherchée sur des transects parallèles successifs ou, dans certains cas, par rayonnement à partir du centre de l'îlot de sol jaune-rouge. Les points obtenus sont reliés sur le plan horizontal par une ligne continue, que l'on appelle courbe d'isodifférenciation car elle joint des points d'égale différenciation latérale pour le caractère considéré. Ces courbes sont identifiées par un numéro, celle dont il est question ici porte le numéro 1. Le profil vertical

reste dans un premier temps sensiblement identique au précédent, mais l'horizon B est jaune (10 YR 5,5/6), tandis que l'horizon sous-jacent jaune à taches rouges apparaît à moindre profondeur (80 cm). Les variations texturales (fig. 2) et de couleur restent progressives. A partir de là, l'horizon humifère et l'horizon de transition deviennent de plus en plus pauvres en argile, en même temps que la variation verticale de texture devient de moins en moins

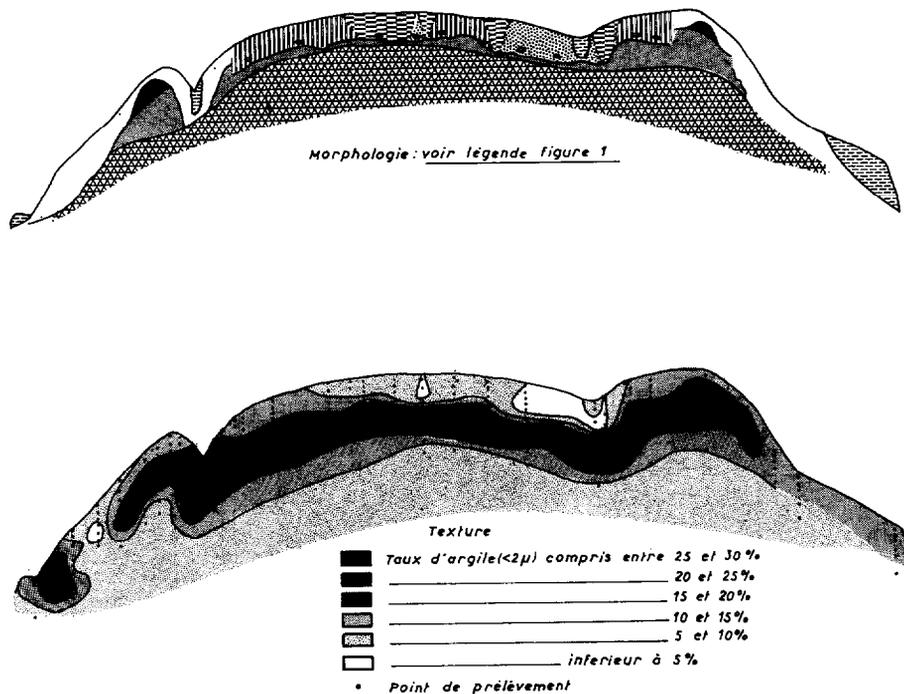


FIG. 2. — Variations texturales au sein du transect C de la figure 1

progressive, marquant un point d'inflexion vers 70 cm de profondeur (cf. fig. 2). Au-dessus de cette variation texturale apparaît un maximum d'humectation. Simultanément, les horizons sus-jacents s'éclaircissent, tendant vers un jaune de plus en plus pâle, le contraste textural s'accompagne donc d'un contraste de couleur. Cette évolution s'accroît jusqu'à ce que la limite entre l'horizon jaune pâle et l'horizon jaune prenne l'aspect d'un front. L'apparition de ce front est aisée à repérer à la tarière et permet de définir une *seconde courbe d'isodifférenciation*. En période pluvieuse, ce front est surmonté d'un maximum d'humectation allant jusqu'à la présence d'eau libre tandis que le matériau de l'horizon jaune sous-jacent est nettement moins humide. Sa dynamique de front de transformation progressant vers le bas est morphologiquement démontrée par le fait qu'il laisse au-dessus de lui des volumes reliques de l'horizon jaune, sous-jacent, qu'il transforme (pédoreliques).

Les variations latérales se poursuivent par un éclaircissement de l'horizon appauvri en argile, une répartition hétérogène de la coloration grise liée à la matière organique, une décoloration des sables qui se manifeste par l'apparition de volumes beige clair à blanc millimétriques, à la base et immédiatement au-dessous de l'horizon humifère. Ce dernier caractère est généralement associé à l'apparition de taches ocre

le long des pores dans l'horizon humifère. Toutefois, le caractère « présence de volumes millimétriques beige clair à la base de l'horizon humifère » s'étant montré plus constant et systématique sur les divers transects effectués, on a retenu son apparition comme critère de définition de la *troisième courbe d'isodifférenciation*.

Au-delà de cette courbe, l'éclaircissement et l'appauvrissement en argile s'accroissent (cf. fig. 2), des volumes blanchis centimétriques s'individualisent, mais c'est juste au-dessus du front de transformation qu'apparaît du sable blanc continu, en même temps que se développe un B_{HFe} mince (2-3 cm) et discontinu dont la limite supérieure coïncide avec le front. Ce B_{HFe} se forme aussi au sommet des îlots reliques d'horizon initial laissés derrière lui par le front de transformation. L'apparition de matériel sableux blanchi au-dessus du front de transformation caractérise la *quatrième courbe d'isodifférenciation*.

La limite supérieure du matériel blanchi remonte alors très rapidement et atteint la surface 2 à 3 mètres après l'apparition de ce dernier, le profil est alors celui d'un podzol. Parallèlement à cette évolution, on constate que le front de transformation s'enfonce à la fois par rapport à la surface topographique, mais de façon irrégulière (cf. coupes fig. 1), et par rapport à la séquence d'horizons du sol jaune-rouge, qu'il

recoupe. En effet, il transforme bientôt l'horizon jaune à volumes rouges plus ou moins indurés. Ces volumes subsistent, à l'état de reliques durcies, à cortex brun, au-dessus du front où ils ont tendance à se concentrer. En l'absence de toute manifestation de remaniement, cette concentration est relative et résulte d'un départ de matière auquel on peut également relier le léger affaissement de la surface topographique, bien visible sur la coupe B. Du seul point de vue morphologique, la discordance de l'horizon lessivé sur la séquence d'horizons du sol jaune-rouge a une signification chronologique, ce dernier constituant les restes d'une couverture antérieure que l'on appellera couverture initiale puisqu'on n'en a pas encore décelé de plus ancienne.

Des observations simples concernant la dynamique de l'eau peuvent être faites, en saison des pluies, en même temps que l'analyse morphologique. Ainsi, l'abondance de l'eau libre, décelée au-dessus du front à partir de la courbe 2, s'accroît latéralement, parallèlement à la différenciation décrite ci-dessus et se traduit bientôt par la présence d'une véritable nappe perchée, dont le toit se rapproche de la surface à mesure que l'on va vers le centre des îlots de podzol délimités par la courbe 4. Sous le plancher de la nappe, qui est constitué par le front de transformation, on observe des matériaux moins humectés, voire, en début de saison humide, secs au toucher, friables. Enfin, lorsqu'on construit la coupe topographique, on constate que le toit de ces nappes perchées est à une cote nettement plus élevée que celui de la nappe générale repéré juste avant que n'apparaisse la nappe perchée (cf. coupes B et C fig. 1). Cette dissociation d'une nappe perchée et d'une nappe générale s'estompe vers la fin de la saison des pluies, car les deux finissent par se confondre du fait de la remontée de la nappe générale. Lorsqu'on examine la répartition des nappes perchées, on constate qu'elles occupent le centre de bassins internes dont la surface est constituée par le front de transformation ; celui-ci sert en effet de plancher à une circulation latérale de l'eau vers le cœur du bassin. Leur extension est fonction de l'étendue du bassin donc du degré d'avancement de la transformation. Ainsi, lorsqu'à un moment donné cette extension est repérée à l'aide de courbes isobathes du toit de la nappe, on constate qu'elle est fonction de l'étendue du domaine limité par la courbe 2. Ainsi, pour une couverture encore peu transformée aura-t-on une petite nappe fugace au cœur du noyau podzolique, tandis que lorsque la transformation est presque complète (cas de la partie droite de la carte de la fig. 1), la nappe est beaucoup plus importante et affleure largement dans la zone podzolisée centrale.

VARIATIONS CENTRIFUGES

Lorsqu'on s'éloigne du centre de l'îlot de sol jaune-rouge en allant vers l'extérieur de la barre, les variations sont d'abord semblables aux variations centripètes : disparition du volume jaune-rouge (courbe 1), appauvrissement en argile des horizons supérieurs et apparition à leur base d'une variation texturale rapide aboutissant à la formation d'un plancher de nappe et d'un front de transformation (courbe 2). Mais simultanément se produit, à l'aval, une variation propre à la différenciation centrifuge, due à l'abaissement de la surface topographique vers l'axe de drainage périphérique à la barre pré littorale. La nappe générale se rapproche alors de la surface, et le sommet de son magasin vient recouper et effacer les transformations superficielles précédentes. La courbe 5 jalonne cette jonction du magasin de nappe et du front de transformation, qui disparaît. Tout à fait en bas de pente, on observe un horizon supérieur noir finement sablo-limono-organique, engorgé, dont la présence coïncide avec la stagnation ou l'écoulement d'eau de surface, et dont l'apparition est repérée par la courbe 6.

III. Étude de la couverture pédologique d'un bassin versant sur schiste bonidoro

Le second exemple (fig. 3) est tiré d'un ensemble de 10 cartes de bassins versants effectuées dans le cadre d'une opération multidisciplinaire (opération ÉCologie, Érosion, Expérimentation : ÉCÉREX) destinée à déterminer la composition et la dynamique de l'écosystème forestier guyanais, puis à étudier son évolution dans le cadre d'une exploitation papetière suivie de diverses utilisations des sols ainsi déboisés : recré naturel, sylviculture, arboriculture fruitière, pâturage, abattis traditionnel (BOULET *et al.*, 1979).

Le bassin J est présenté ici, l'organisation de sa couverture pédologique apparaît de façon explicite sur la figure 3 que le lecteur voudra bien examiner en détail en commençant par l'étude de la coupe de la limite aval du bassin. On se contentera de donner quelques informations complémentaires dans le texte.

La roche-mère est constituée par les schistes Bonidoro, que l'on ne connaît dans la région que par leur matériau d'altération d'aspect et de composition très constants. Celui-ci est rougeâtre, à grain fin, riche en séricite et oxydes de fer. Ces schistes sont traversés de filons de pegmatite qui introduisent une variation pétrographique importante, et qui couvrent environ le 1/5^e du bassin J. Des observations tactiles effectuées en saison des pluies, confirmées par des mesures hydriques (HUMBEL, 1978 ; GUEHL, 1981)

LÉGENDE DE LA FIGURE 3

Légende des coupes (abrégée)

- (a)  Horizon humifère brun foncé (10YR). Sablo-argileux. Porosité biologique forte
- (b)  Horizon humifère différent de (a) par la présence de volumes cm. gris à cerne ocre
- (c)  Horizon brun-jaune (10YR). Argilo-sableux. Poreux (micro-agrégats)
- (d)  Horizon brun légèrement rouge (7,5YR) au sommet, passant à rouge (5YR) à la base où apparaissent de grandes muscovites. Argilo-sableux à sable grossier. Poreux (micro-agrégats)
- (e)  Horizon rouge (5YR), sablo-argileux à sable grossier, grandes muscovites, porosité intersticielle assez bien développée.
- (f)  Horizon rouge (5YR) à volumes jaunes, sableux à sablo-argileux à sable grossier. Moyennement poreux. Grandes muscovites à abondance croissante vers le bas.
- (g)  Horizon jaune pâle devenant blanc vers le bas, à volumes rouges. Limono-sablo-argileux à sable grossier. Riche en grande muscovites. Porosité visible tubulaire faible.
- (h)  Horizon brun-jaune au sommet, devenant jaune pâle à la base. Sablo-argilo-limoneux à sable grossier. Richesse en grandes muscovites croissante vers le bas. Porosité moyenne.
- (i)  Horizon brun-jaune vif. Argilo-sableux à sable fin. Porosité moyenne.
- (j)  Horizon identique à (i) mais comportant des sables grossiers.
- (k)  Horizon de transition de couleur, texture et porosité entre (i) et (l)
- (l)  Horizon rouge (5YR) argileux, fraction sableuse fine. Porosité visible tubulaire faible. Comporte des volumes ferruginisés lithorelictuels durs au sommet, meubles à la base. Vers l'aval, seuls subsistent les volumes lithorelictuels meubles.
- (m)  Horizon de transition entre (i) et (l) ou (n), comportant un fin réseau rouge d'aspect compact, englobant des volumes jaunes, mm., associés aux pores
- (n)  Horizon rouge vif (2,5YR), argilo-limono-sableux à sable fin, riche en fine muscovite. Porosité visible tubulaire faible. Comporte des lithoreliques ferruginisées meubles
- (o)  Horizon faisant suite vers l'aval et vers le bas à (n), de même texture et porosité, mais à réseau rouge sur fond jaune devenant blanc en profondeur
- (p)  Horizon blanc à alignements lithorelictuels rouges plus ou moins indurés. Sablo-limono-argileux à sable fin. Porosité tubulaire peu à moyennement développée.
- (q)  Nodules ferrugineux lithorelictuels indurés
-  Enveloppe des matériaux secs au toucher.

Légende du plan

 Pegmatite

Légende des courbes d'isodifférenciation : la caractérisation de chaque courbe est redigée pour un observateur qui la traverse en allant du côté du numéro.

- 1  Disparition de l'horizon (d)
- 2  Apparition d'un matériau sec au toucher à moins d'un mètre de profondeur
- 3  Apparition de volumes gris à cerne ocre dans l'horizon humifère.
- 4  Disparition de l'horizon (e)
- 5  Apparition de l'horizon (m) à fin réseau rouge sur jaune
- 6  Disparition de l'horizon (n)
- 7  Disparition des sables grossiers dans l'horizon (j) : passage de (j) à (i)
- 8  Disparition des nodules en surface
- 9  Disparition des nodules
- 10  Disparition aval des matériaux secs au toucher
-  Point où a été repérée la courbe d'isodifférenciation

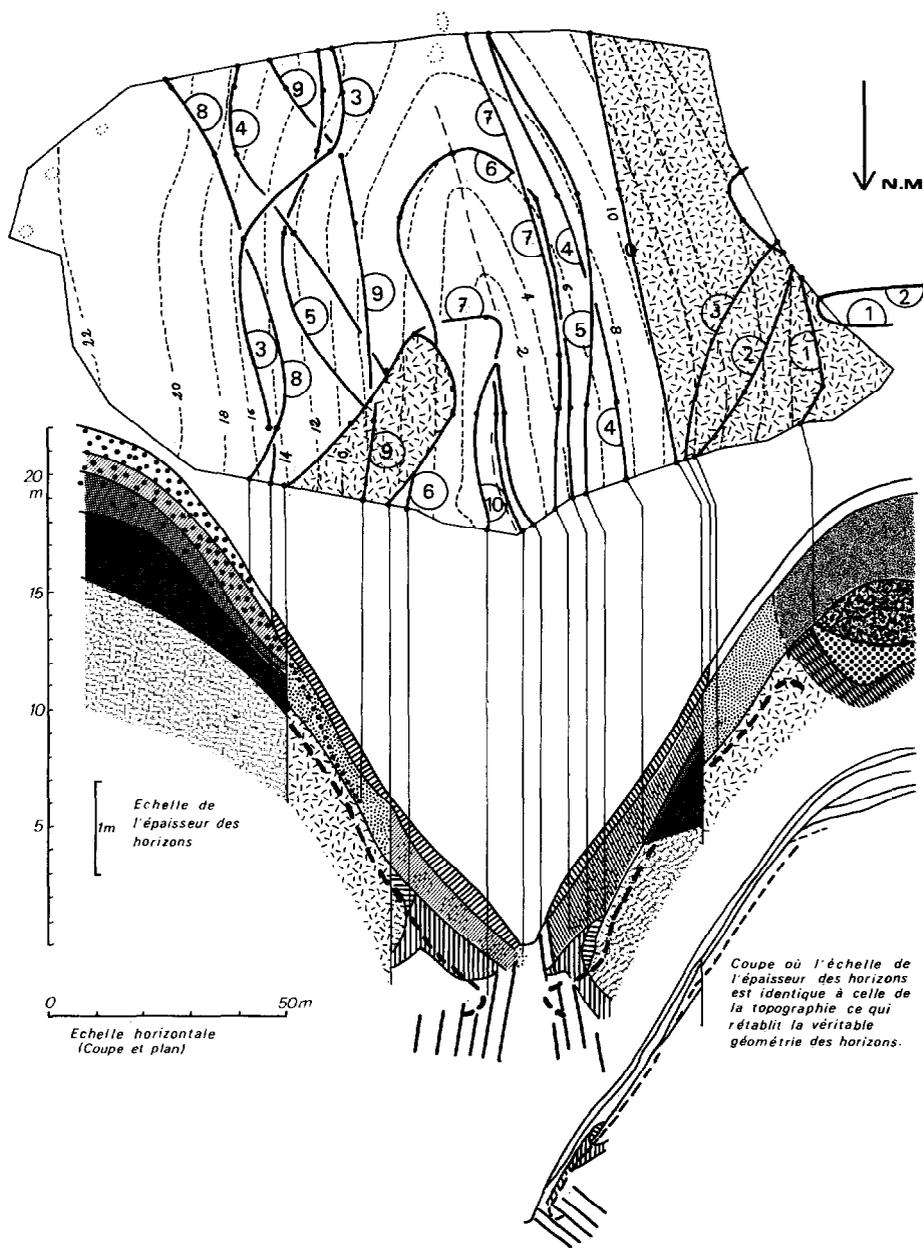


FIG. 3. — Représentation en coupes et plan du bassin ECEREX J (voir détail légende ci-contre)

ainsi que par des mesures sur parcelles élémentaires de ruissellement (SARRAILH, 1981) et des mesures hydrologiques (FRITSCH, 1981), montrent que, dans la partie amont du bassin délimitée par la courbe (1), le cheminement de l'eau est vertical et profond. Les études effectuées jusqu'à présent (HUMBEL, 1978 ; BOULET *et al.*, 1979) montrent que la présence sur socle de ce type de dynamique de l'eau est liée à la

réalisation simultanée de deux conditions : la première est l'existence en surface d'un ensemble d'horizons poreux et perméables (tels que les horizons à microagrégats (c) et (d) suffisamment épais, l'épaisseur minimum variant entre 1 et 1,5 m. On attribue à cet ensemble un rôle de tampon dans le régime hydrique des horizons sous-jacents. La seconde condition est que la transition entre l'ensemble

poreux superficiel et les éventuels horizons plus compacts ou à porosité plus fine sous-jacent soit progressive.

Lorsqu'on descend la pente, ces horizons à micro-agrégats s'amincissent jusqu'à ce que le matériau d'altération à volumes rouges (g) de la pegmatite, à porosité visible tubulaire faible, soit situé à une profondeur inférieure à 1,5 m. On constate alors l'apparition de matériaux secs au toucher dont la limite supérieure est repérée sur les coupes de la figure 3 par un trait discontinu épais. A cette impression tactile correspond, dans les horizons sus-jacents, l'apparition d'une nappe perchée lors des fortes pluies. On assiste là au basculement du drainage qui, de vertical et profond, devient superficiel et latéral avec une composante ruissellement importante et une composante circulation latérale interne au sein de l'horizon (h). Celle-ci, probablement moins importante quantitativement que le ruissellement, n'en joue pas moins un rôle géochimique et géomorphologique essentiel (BOULET, 1978 ; BOULET *et al.*, 1979). Cette dynamique superficielle et latérale est également confirmée par les mesures de ruissellement et les données hydrologiques précitées.

Le passage de la pegmatite au schiste fin est brutal. On constate une autochtonie totale des horizons à l'aplomb des schistes fins au-dessous de 60 cm de profondeur, attestée entre autres par l'absence totale de sables grossiers. Ceux-ci par contre polluent l'horizon (j) sur une distance qui varie de 20 à 27 m, leur transit étant très précisément limité à l'aval par la courbe (7). On notera en rive droite un phénomène analogue avec les nodules ferrugineux, qui ne se forment que sur schiste fin où ils sont lithorelictuels. Ils ont transité sur la pegmatite jusqu'à la courbe (9). Sur schiste fin, le cheminement de l'eau est également superficiel et latéral, les horizons à comportement imperméable étant successivement le (l), le (n), le (o) et, partiellement, le (p). On constate sur pegmatite une discordance entre l'aval de l'horizon (c), qui constitue une zone de passage diffus et progressif (marquée par un trait discontinu) à l'horizon (h) à dynamique latérale, et la séquence d'horizons de la couverture à drainage vertical de l'amont, qui apparaît donc comme une couverture initiale en voie de transformation.

Vers le bas du versant, on finit par atteindre la proximité d'une nappe phréatique générale, ce qui détermine la disparition des matériaux secs au toucher, le rebroussement de leur limite ayant été effectivement constaté sur le terrain.

Le déterminisme de cette organisation spatiale et des variations de drainage qui en découlent ne peut être élucidé qu'à l'examen des cartes des dix bassins

versants (BOULET, 1981). Il sera évoqué dans la troisième et dernière partie de cette étude.

On peut cependant constater dès maintenant que ces deux exemples, barres pré littorales sablo-argileuses et bassin versant sur schiste Bonidoro, montrent des couvertures pédologiques complexes, au sein desquelles les variations latérales de caractères *réellement observés* s'avèrent d'une importance primordiale pour leur compréhension pédogénétique et leur mise en valeur. Le déterminisme de ces variations, ou l'existence même de certains caractères essentiels, n'ayant pas été décelés par les approches antérieures, classiques, c'est bien le type d'analyse utilisé qui a permis la mise en évidence de la structure des couvertures étudiées. D'autre part, le mode de représentation, directement lié à cette analyse, permet un exposé correct de la grande quantité d'information acquise.

IV. Méthode générale

Lorsqu'on aborde une région nouvelle, il importe en premier lieu de faire un choix raisonné d'un certain nombre (le plus limité possible) d'unités de modelé (bassins versants ou interfluves selon leur commodité respective d'identification), qui paraissent représentatifs de la région aux plans orographique, géologique, hydrologique, botanique, etc., d'après les documents disponibles (cartes topographiques et photographies aériennes, cartes géologiques, etc.) et après vérification sur le terrain. Les reconnaissances effectuées sur le terrain pour vérifier ou collecter ces données non pédologiques, susceptibles d'influencer la différenciation des sols ou d'en être le reflet, permettent également de juger en première approximation de la représentativité au plan pédologique des unités de modelé choisies, ceci par des observations de surface et par quelques sondages. Les documents pédologiques existants seront également mis à profit après étude critique. Le choix des unités de modelé, ou des portions de paysage à étudier en détail sera corrigé ou complété à la lumière des phases ultérieures de la cartographie. Bien sûr, si des coupes naturelles ou artificielles sont disponibles dans la région considérée, il convient de les étudier au préalable soigneusement. En effet, des coupes permettent souvent de prendre rapidement connaissance des diverses organisations pédologiques présentes, et d'avoir une idée de la taille des systèmes pédologiques qu'elles constituent. L'analyse structurale est alors basée sur ces données pour plus d'efficacité. Dans le cas de systèmes épais et complexes, une telle approche préalable permet aussi, quand elle est possible, de limiter en connaissance de cause la phase analytique détaillée à la

partie supérieure des systèmes dont on étudiera la partie profonde par d'autres moyens (forages, etc.).

On entreprend ensuite la cartographie de chaque unité de modelé en réalisant les opérations successives suivantes :

1. Étude d'un certain nombre de transects orientés selon la ligne de plus grande pente par la méthode des toposéquences (cf. 1^{re} partie, § I, BOULET *et al.*, 1982) en utilisant le plus possible des sondages à la tarière. Pour ce travail, on utilise un comparateur qui consiste en une boîte plate, en bois, de 50×55×7 cm, avec couvercle et poignée de transport, contenant des boîtes plastiques de 6×4,5×5 cm, soit 8 colonnes de 12 boîtes. Des échantillons caractéristiques de chaque sondage sont placés dans une colonne. Il est dès lors possible de comparer très finement deux sondages successifs. S'ils sont différents, on les sépare par une colonne de boîtes vides, par permutation, de façon à placer entre eux les échantillons du sondage intermédiaire. On voit ainsi se révéler la toposéquence. La comparaison directe des échantillons permet de diminuer la subjectivité qui risque de s'introduire si, pour cette comparaison, l'on utilise seulement la description et la mémoire. Le levé topographique de chaque transect est réalisé simultanément, à l'aide de la boussole, du mesureur à fil perdu, du clisimètre (1). La précision de ces levés est suffisante pour le report des données pédologiques et le temps nécessaire à leur réalisation est inférieur au 1/10^e de celui consacré aux observations pédologiques. A titre d'exemple, pour un bassin de 1 à 2 ha (fig. 4 et 5) on étudie en moyenne, le premier jour, les deux transects qui limitent à l'aval le bassin versant (AB et BC) ainsi que la ligne de crête qui raccorde les sommets des deux transects aval. Dans le cas des barres pré littorales, on a effectué 2 à 3 transects par jour. Puis on construit les coupes topographiques sur lesquelles on porte les différents volumes pédologiques rencontrés dans les sondages et dont on établit simultanément l'inventaire en utilisant des termes descriptifs élémentaires (couleur, texture, porosité, appréciation tactile de l'humidité...). On doit alors disposer de toutes les informations concernant les relations spatiales entre ces volumes. En cas d'incertitude, lors de la construction de la coupe, de nouveaux sondages doivent être exécutés sur ces transects. On acquiert toutefois rapidement l'habitude de construire mentalement la coupe à mesure que l'on effectue les sondages, si bien qu'il est rare d'avoir à revenir sur un transect.

Dès ce moment, on a une idée assez précise de l'organisation de la couverture pédologique, qu'il faut toutefois compléter par deux ou trois nouveaux transects (transect GH et LM fig. 4 (2) par exemple) le second jour. On procède également au levé du réseau de drainage.

2. On dispose alors de 4 à 5 coupes à travers la couverture pédologique, coupes sur lesquelles on détermine les variations latérales susceptibles d'être repérées de façon fiable sur le terrain. Ce sont principalement l'apparition ou la disparition des volumes pédologiques ou seulement de caractères pédologiques. Dans ce premier catalogue il faut retenir le maximum

de variations latérales, parmi lesquelles on peut inclure des caractères de surface (présence de blocs, micromodelé, etc.). Notons que la plupart des faits intéressant le géomorphologue sont repérables de cette façon. Selon les centres d'intérêts et les compétences de l'observateur, on peut y ajouter les variations de la végétation. Grâce au levé topographique, on dispose d'un plan du bassin ainsi que d'un certain nombre de cotes rapportées à l'exutoire du bassin.

3. On procède ensuite au repérage des variations latérales retenues précédemment le long de transects complets (FE, DE..., fig. 4) ou partiels (TU, RS...) orientés encore selon la grande pente, ou obliquement vers les collecteurs inscrits dans le versant, ou selon tout autre axe de différenciation possible (par exemple chablis, variation de roche-mère, etc.). L'opération est beaucoup plus rapide que l'analyse des transects car la profondeur des observations n'est fonction que du caractère recherché. Le comparateur décrit ci-dessus est là encore très utile. Les variations repérées sont portées au fur et à mesure sur le plan et jointes par des courbes d'isodifférenciation. Ces points de repérage figurent sur la carte (3) et donnent de ce fait une information sur la précision du tracé de ces courbes, précision que l'on peut augmenter ou réduire en fonction du temps disponible.

Il arrive que, lors de cette opération, des variations retenues sur les transects analysés s'avèrent difficiles à repérer en d'autres points du bassin, soit parce que les critères d'identification y sont masqués, soit parce que cette variation s'effectue à une échelle trop grande (variations par exemple trop répétitives et nombreuses) pour être repérée dans des délais raisonnables. Tel est le cas par exemple de variations liées à une hétérogénéité métrique de la roche-mère. On abandonne alors à cet endroit le tracé de la courbe correspondante mais on recherche à l'aide de fosses la cause de cette variabilité.

Le levé topographique de ces transects secondaires est effectué simultanément aux opérations de repérage pédologique. Cela permet en outre de tracer les courbes de niveau de la zone prospectée (cf. fig. 3). Au total, l'ensemble du travail jusqu'à ce stade demande au moins 3 jours.

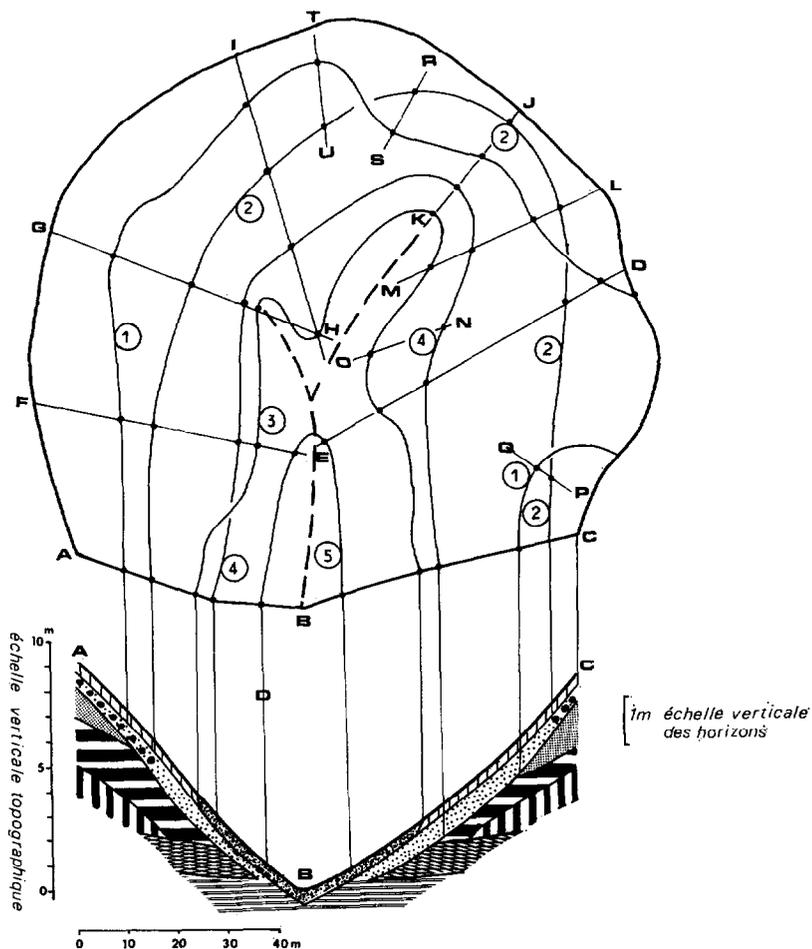
4. Une fois cette opération terminée, on place, en fonction de l'organisation de la couverture pédologique, des fosses qui permettent de caractériser plus finement et d'échantillonner les divers volumes pédologiques rencontrés. Il est parfois (rarement) nécessaire de faire creuser des fosses au cours de la cartographie pour préciser certaines relations que les seuls sondages ne permettent pas d'élucider pleinement.

La représentation finale de la couverture pédologique comporte (fig. 1, 3) un plan où sont portées les courbes d'isodifférenciation et le minimum de transects pédologiques nécessaire pour expliciter l'organisation de la couverture pédologique. Des lignes de rappel sont tracées entre les courbes d'isodifférenciation du plan et les variations correspondantes sur les coupes. Il est dès lors possible de construire de façon relative n'importe quelle coupe pédologique à travers cette couverture, d'une façon voisine de la manière dont est construite une coupe à partir d'une carte géologique. On dispose donc bien d'une représentation à trois dimensions de la cou-

(1) Le clisimètre est utilisé comme niveau avec pour mire un double mètre tenu verticalement par un opérateur.

(2) La figure 4 correspond à un cas réel très simplifié de façon à pouvoir le représenter en bloc diagramme : fig. 5.

(3) Ils ne sont pas portés sur la carte de la figure 1 car ils en diminueraient la lisibilité.

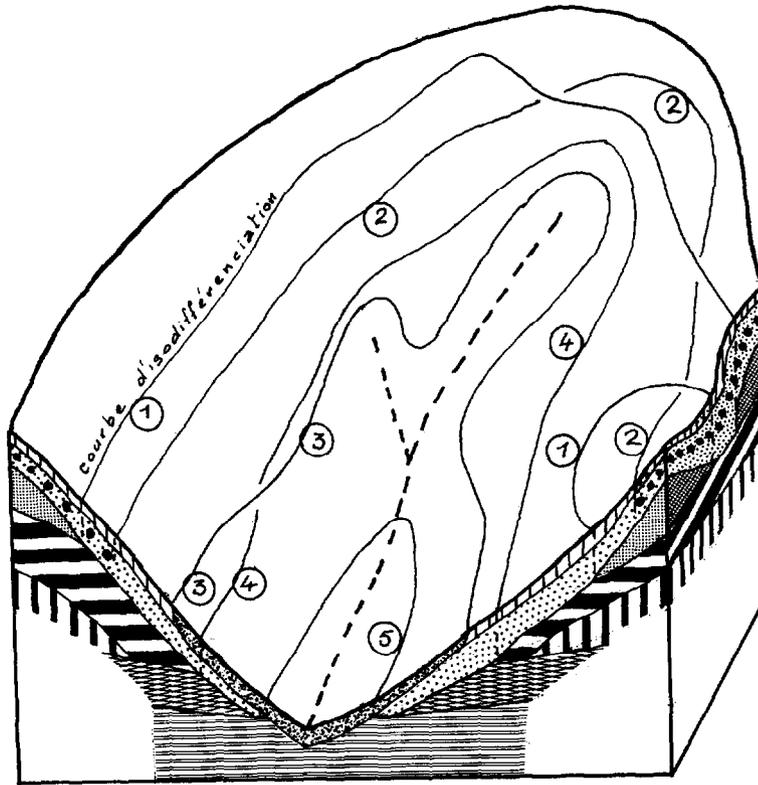


Légende des courbes d'isodifférenciation.

N.B. La caractérisation de chaque courbe est rédigée pour un observateur qui traverse cette courbe en allant du côté du n°

- ① Disparition de l'horizon "rouge compact" (d)
 - ② Disparition des nodules (c)
 - ③ Apparition de caractères d'hydromorphie dans l'horizon humifère (g)
 - ④ Disparition de l'horizon sericiteux rouge violacé (e)
 - ⑤ L'horizon blanc (i) atteint la base de l'horizon humifère
- f Emplacement où a été repérée la courbe d'isodifférenciation

FIG. 4. — Phase analytique : représentation en coupes et plan



Legende des coupes

- a Horizon humifère gris-brun foncé, sablo-argileux. Structure grumeleuse. Porosité biologique forte. Matière organique répartie de façon homogène.
- b Horizon brun jaune, homogène, devenant légèrement plus clair à l'aval. Argilo-sableux. Porosité bien développée, tubulaire et d'assemblage d'agrégats. Structure polyédrique, localement grumeleuse.
- c Concentration de nodules ferrugineux lithorelictuels.
- d Horizon rouge, argileux, à structure polyédrique. Porosité visible tubulaire faible (aspect compact). Comporte des lithoreliques ferruginisées à induration croissante vers le haut.
- e Horizon rouge violacé, sériciteux, argilo-limoneux. Structure massive à débit polyédrique. Porosité visible tubulaire faible (aspect compact). Comporte des lithoreliques meubles.
- f Horizon d'altération où dominent les volumes à structure conservée (schiste) riches en muscovite et de couleur brune. Limono-argileux. Struct. massive. Porosité tubulaire faible.
- g Horizon humifère à répartition hétérogène de la matière organique, présentant des volumes réduits gris à cerneocre. Sablo-argileux. Struct. à tendance grumeleuse. Porosité biologique forte.
- h Horizon à réseau rouge sur fond jaune. Les volumes jaunes augmentent en profondeur en même temps qu'ils pâlisent. Limono-argileux. Structure massive à débit polyédrique. Porosité tubulaire faible.
- i Horizon blanc, sablo-limono-argileux. Toucher onctueux en humide. Porosité tubulaire plus développée que ci-dessus. Magasin d'eau en saison des pluies.

FIG. 5. — Phase analytique : bloc diagramme explicatif

verture pédologique. L'échelle de cette représentation ne peut être décidée *a priori*, elle est fonction de la dimension des volumes qui constituent la couverture pédologique. Ainsi a-t-on utilisé jusqu'à maintenant des échelles variant du 1/1 000 au 1/50 000. Étant donné que cette opération vise à l'analyse aussi fine que possible de l'organisation de la couverture pédologique, nous la nommerons « phase analytique ».

Arrivé à ce niveau de connaissance de l'organisation de la couverture pédologique, il importe d'abord de préciser l'organisation des divers volumes et horizons rencontrés, à l'aide de fosses que l'on placera très précisément grâce à la représentation en coupes et plan. Des prélèvements micromorphologiques effectués à cette occasion permettent d'accéder aux organisations élémentaires en les replaçant très précisément dans l'organisation d'ensemble de la couverture pédologique.

On peut également faire dans ces fosses les prélèvements pour analyses de laboratoire, mais on préfère dans la mesure du possible effectuer des prélèvements à la tarière sur un certain nombre de transects caractéristiques. Ces prélèvements sont régulièrement espacés en profondeur et latéralement de façon que leur répartition soit indépendante de l'analyse morphologique. Les résultats de l'analyse physico-chimique permettent alors de préciser, voire de critiquer celle-ci.

Ce procédé permet, par le tracé de courbes d'isovaleurs, de préciser la répartition spatiale des constituants et des caractères physico-chimiques que l'on peut comparer fructueusement à celle des organisations : il s'est également avéré que ces courbes d'isovaleurs peuvent mettre en évidence des variations qui avaient échappé à l'analyse morphologique.

Enfin, il est utile d'effectuer des mesures pour préciser la dynamique de la couverture pédologique dont le principal agent est l'eau. Il faut souligner qu'au cours de l'étude précédente, un certain nombre d'observations a pu déjà nous éclairer directement ou indirectement sur la dynamique de l'eau. Ainsi a-t-on noté l'état d'humectation des divers volumes pédologiques et sa variation verticale et latérale, des écoulements d'eau libre à divers niveaux ont pu être décelés (nappes perchées, nappe générale) ou au contraire des matériaux « secs au toucher » surmontés par — ou surmontant — des matériaux mouillés. Ces informations directes, pour être complètes, doivent être collectées à différentes périodes du cycle saisonnier qui commande les variations d'humectation, et il faut obligatoirement procéder à des observations en saison des pluies, malgré les inconvénients pratiques que cela présente. Des informations indirectes nous sont fournies par l'examen de la porosité et de ses variations qualitatives et quantitatives. Mais l'analyse des relations spatiales entre

les volumes pédologiques et en particulier les relations de discordance, sont également très instructives et permettent souvent de conclure quant à la mise hors circuit de certains horizons par rapport à la dynamique saisonnière actuelle, ou du moins d'une atténuation de leur participation à celle-ci. Cependant, il est toujours souhaitable d'effectuer des mesures physiques et hydriques aux points clé de la couverture pédologique étudiée, mesures plus ou moins sophistiquées selon les moyens et le temps disponibles. En Guyane, ces mesures ont principalement consisté en des déterminations de teneurs pondérales en eau (converties en valeurs volumiques après détermination des densités) en saison sèche et saison humide par prélèvement à la tarière, en infiltrations forcées suivies de profils hydriques périodiques (HUMBEL, 1978), en test d'infiltration fournissant une caractérisation relative et statistique de la perméabilité de surface (HUMBEL, 1976-1978). D'autres mesures ont été effectuées, concernant l'abondance des racines de la forêt primaire entre 0 et 2 m (HUMBEL, 1978) : la remarquable adaptation de l'enracinement aux divers types de régime hydrique permet de considérer aussi les caractéristiques (qualitatives et quantitatives) de l'enracinement comme révélatrices du régime hydrique. Enfin, une étude très détaillée par tensiométrie et mesures neutroniques a été réalisée sur une zone de basculement du drainage sur pegmatite prolongeant celle du bassin J (fig. 3) par J. M. GUEHL (1981).

V. Intérêt et possibilités de la phase analytique

En plus d'une analyse et d'une représentation à trois dimensions des couvertures pédologiques, fidèle à la réalité sinon exhaustive, la méthode présentée ici apporte des informations complémentaires qui permettent de préciser les faiblesses des concepts classiques servant à structurer nos connaissances sur le sol. Ces connaissances sont, en effet, habituellement regroupées autour d'orthotypes (classifications morphogénétiques) ou dans des intervalles aux limites définies avec précision (Soil Taxonomy). Un orthotype ou une catégorie est alors défini par un ensemble d'horizons et/ou de caractères qui doivent être présents simultanément. Or, les exemples exposés ici montrent que pour passer à la connaissance en trois dimensions d'une couverture pédologique, il a fallu considérer les caractères ou les organisations indépendamment les uns des autres. Ils ont été alors repérés par des courbes d'isodifférenciation, dont le tracé n'est assorti d'aucune contrainte conceptuelle.

L'analyse du tracé de telles courbes peut faire ressortir l'indépendance de certains caractères, les

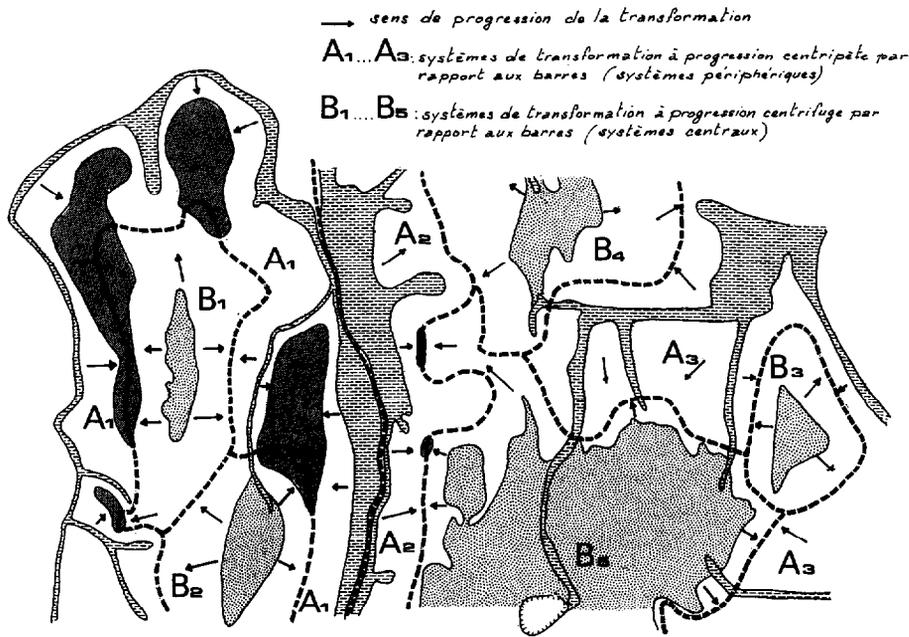


FIG. 6. — Délimitation des systèmes de transformations sur la carte de la figure 1

courbes correspondantes se recoupant (la rive droite du bassin représenté figure 3 en montre plusieurs exemples). Cependant, le plus souvent, une succession ordonnée systématique de courbes le long d'un versant fait apparaître une dissociation ordonnée des caractères correspondants, riche en significations sur la chronologie et la nature des transformations pédogénétiques, la nature et les relations mutuelles des diverses séquences d'organisations, la dynamique des systèmes, voire, comme nous en donnerons un exemple par la suite, les facteurs d'évolution des paysages.

La couverture pédologique représentée figure 1 nous donne un exemple démonstratif d'une dissociation ordonnée de caractères. Le regroupement de tels caractères au sein d'unités taxonomiques traditionnelles, celant leur dissociation éventuelle, empêche souvent d'appréhender l'organisation et la dynamique réelle des couvertures pédologiques. De même, les difficultés du pédologue qui cherche à placer un profil dans une unité de classification s'expliquent par cette dissociation des caractères.

Les courbes d'isodifférenciation révèlent donc des structures internes qui permettent dans certains cas d'identifier et de délimiter des systèmes pédologiques indépendants qui apparaissent alors comme de véritables individus-sol en ce sens qu'ils présentent une évolution autonome. A titre d'exemple nous examinerons les relations spatiales entre les structures des systèmes hydrodynamiques mises en évidence

par les courbes d'isodifférenciation de la figure 1 et représentées figure 6, et les axes de drainage. On peut y délimiter un certain nombre de systèmes pédohydrodynamiques à fonctionnement et progression presque indépendants, si ce n'est qu'ils sont susceptibles de se réunir ou de s'absorber les uns les autres. Certains (A) progressent vers l'intérieur des barres, d'autres correspondent à un système de transformation centrifuge.

Lorsqu'on classe ces derniers par degré d'évolution croissant on constate qu'ils n'ont d'abord pas d'exutoire (B_1) puis un exutoire bien incisé (B_2), encore plus développé dans le système B_5 . Il y a donc là un premier lien de cause à effet entre le développement du système, l'apparition d'un exutoire et la formation d'une dépression longitudinale. Par ailleurs, l'exutoire et sa dépression recoupent la structure concentrique du système, révélée par les courbes 2, 3 et 4. Cette discordance laisse supposer la postériorité de l'exutoire par rapport à cette structure. On vérifie effectivement que l'exutoire canalise le débordement de la nappe perchée piégée dans le bassin interne. Le creusement de l'axe de drainage entraîne ensuite un rapprochement relatif de la surface topographique et de la nappe phréatique générale dont la zone de battement vient interférer avec les transformations superficielles, interférence marquée par la courbe 5. Celle-ci débute évidemment au contact de l'axe de drainage (discordance) au point où l'enfoncement de celui-ci est suffisant pour

LÉGENDE DE LA FIGURE 7

LÉGENDE PEDOLOGIQUE (résumée)

Légende des coupes

Limites d'horizon: ---- progressive — rapide — planique (plancher de nappe perchée)

- (a) horizon humifère, S. — (b) brun vif S. à S.A. — (c) jaune-rouge S.A.
 (d) brun vif S. à S.A. — (e) brun vif + volumes cm. rouges, argile ↘ vers le bas
 (f) jaune clair + volumes cm. rouges, S., magasin de nappe — (g) brun jaune foncé S. à S.A.
 (h) brun-jaune à pénétration profonde de matière organique; la profondeur de pénétration de la matière organique et l'appauvrissement en argile ↑ de la courbe 1 vers la courbe 7
 (i) brun-jaune vif S. à S.A. — (j) jaune à volumes rouges ± indurés S. à S.A.
 (k) transition entre (h) et (j) par interpénétration et volumes reliques (doit dans h)
 (l) brun-jaune foncé, pâlisant progressivement en profondeur, S.
 (m) gris clair à blanc, S. — (n) ocre, trainées organiques brun-noir, S.A.
 (o) ∴ volumes pédoreliques rouges ± indurés — (p) %° pédoreliques meubles
 (q) * volumes organiques gris — (r) r v taches ocres le long des pores

Légende des courbes d'isodifférenciation

- Différenciation centrifuge

- 1 passage de 7,5YR à 10YR en 18-20 cm (b) → (h) — 2 disparition de (b)
 3 apparition de pédoreliques (o) — 4 apparition de taches ocres en 18-25 cm.

- Différenciation centripète

- 1 2 idem ci-dessus — 3 apparition de pédoreliques (p) à la base de (h)
 4 apparition de volumes organiques (q) — 5 apparition d'un limite planique
 6 apparition de sable blanc (m) — 7 disparition du matériel brun-jaune (m)
 8 amincissement de l'ensemble appauvri (h) (40 cm), les caractères apparus avec les courbes 5 et 6 disparaissent. ↑ point où a été repérée la courbe d'isodifférenciation

EXPERIMENTATION AGRONOMIQUE (Ph. GODON I.R.A.T)

- Manioc { F: collection (42 variétés) — G: essai fertilisation — H: essai herbicide
 I: essai de comportement (5 variétés)
 J: essai de comportement (6^e variété)
- Soja { L: essai variétal (5 variétés, 6 répétitions)
 K: essai de comportement avec et sans billons, avec et sans chaux
 M: essai de comportement, un seul traitement

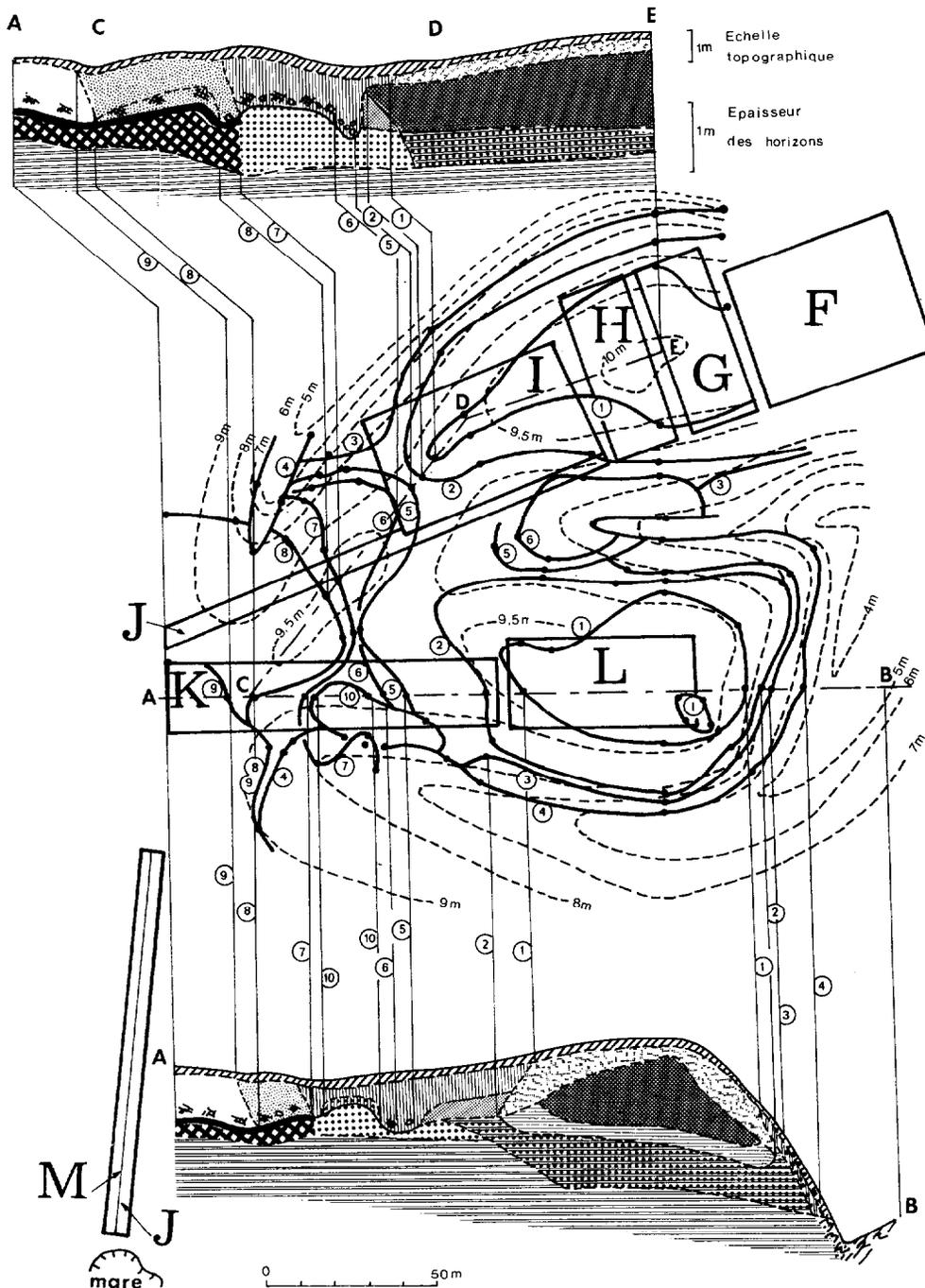


FIG. 7. — Exemple d'expérimentation agropédologique sur barre pré littorale

qu'apparaisse l'interférence ci-dessus. Plus en aval, elle suit l'axe de drainage (concordance locale) ce qui indique une relation de subordination de la courbe 5 par rapport à cet axe.

Les axes de drainage situés à la périphérie des barres sont au contraire totalement concordants aux structures pédologiques. Ils leur sont effectivement antérieurs, étant hérités du modelé en barres du dépôt marin lui-même. Au total, l'évolution des systèmes pédo-hydrodynamiques provoque un morcellement des barres pré littorales initiales qui, conjugué à l'exportation de matière qu'impliquent les transformations successives de la couverture initiale, concourt à l'aplanissement voire à la disparition des barres.

La phase analytique permet ainsi, grâce à l'étude des relations spatiales entre les organisations pédologiques macroscopiques, ou entre celles-ci et le modelé ou la végétation, d'effectuer des raisonnements logiques analogues à ceux que permet l'étude des relations spatiales entre organisations élémentaires en micromorphologie.

Enfin, cette phase analytique apporte aux disciplines utilisant les données pédologiques une analyse structurale de chaque site d'étude qui leur permet de déceler avec plus de finesse les relations entre la différenciation pédologique et le comportement de leur objet d'étude. C'est évidemment avec l'agronomie que ce type de relation est le plus systématique. Un certain nombre d'expérimentations agropédologiques basées sur ce principe sont en cours en Guyane. Elles consistent à caler une expérimentation agronomique sur un site caractéristique d'une catégorie de couverture pédologique, et réunissant le maximum de variations latérales, de façon à étudier le comportement des cultures envisagées en fonction de ces variations. Ce comportement, de même que l'effet des techniques mises au point pour l'améliorer, est repéré par rapport aux courbes d'isodifférenciation, soit que les variations de ce comportement et de l'effet des techniques coïncident avec l'une ou l'autre courbe, soit, plus généralement que ces variations soient encadrées par les deux courbes. Il est dès lors possible d'extrapoler les résultats de l'expérimentation à l'ensemble des couvertures pédologiques concernées. La figure 7 fournit un exemple de ces expérimentations agropédologiques. Il s'agit d'étudier le comportement, les rendements, la fumure, les techniques, etc., pour la

culture du manioc et du soja sur barre pré littorale. Le dispositif agronomique, conçu et réalisé par Ph. GODOIN, agronome IRAT, tient compte au plus près de la structure de la couverture pédologique. Il comporte, sur les parties les moins variables du site des expérimentations classiques en blocs, tandis que la différenciation latérale est balisée par des essais de comportement.

VI. Conclusions

Nous avons présenté ici la méthode utilisée pour étudier l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques de Guyane française. En plus d'une analyse plus juste de la réalité, cette méthode constitue un moyen d'investigation nouveau permettant de progresser dans la connaissance de la genèse et de la dynamique de ces couvertures. Son rôle apparaît pour le moment quadruple :

1. Étudier l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques et son implication sur leur genèse et leur dynamique.
2. Établir un inventaire des types de couverture pédologique présents dans la région concernée.
3. Faire ressortir les relations génétiques qui lient entre eux les divers ensembles de couvertures.
4. Fournir aux disciplines utilisatrices de la pédologie une image aussi juste que possible du milieu sol, et sur laquelle elles pourront caler le comportement de leur objet d'étude.

Mais là ne se limite pas notre objectif. En effet, il n'est pas envisageable de généraliser à toute une région, et encore moins à tout un pays, une méthode cartographique qui implique de travailler aussi finement à d'aussi grandes échelles.

Dans une troisième et dernière partie, nous montrerons, toujours en nous appuyant sur l'exemple guyanais, comment un nombre limité de documents analytiques a permis de mettre en évidence un classement génétique naturel des couvertures pédologiques d'une région, classement qui pourra alors servir de base à une cartographie générale dont on pourra choisir librement l'échelle en fonction des besoins.

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

BIBLIOGRAPHIE

- BOULET (R.), 1978. — Existence de systèmes à forte différenciation latérale en milieu ferrallitique guyanais. Un nouvel exemple de couverture pédologique en déséquilibre. *Sci. du Sol*, 2 : 83-93.
- 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*, 1 : 3-18.
- BOULET (R.), 1981. — Étude pédologique des bassins versants ÉCÉREX. Bilan de la cartographie. L'écosystème forestier guyanais. *Bull. de liaison groupe de travail ÉCÉREX*, n° 4 : 4-21.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.-X.), LUCAS (Y.), 1982. — 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. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4 : 309-320.
- FRITSCH (J.-M.), 1981. — Écoulement et érosion sur les bassins versants ÉCÉREX en 1979. L'écosystème forestier guyanais. *Bull. de liaison groupe de travail ÉCÉREX*, n° 4 : 23-44.
- GUEHL (J.-M.), 1981. — Étude *in situ* de la dynamique de l'eau dans le sol sous forêt primaire. Influence de la couverture pédologique sur quelques caractéristiques du drainage vertical. L'écosystème forestier guyanais. *Bull. de liaison groupe de travail ÉCÉREX*, n° 4 : 52-60.
- HUMBEL (F.-X.), 1976. — L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Thèse doct. Sci., Paris et *Trav. et Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 54, 306 p.
- HUMBEL (F.-X.), 1978. — Caractérisation, par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, de sols de Guyane française à dynamique de l'eau superficielle et latérale. *Sci. du Sol*, 2 : 83-94.
- SARRAILH (J.-M.), 1981. — Parcelles élémentaires d'étude du ruissellement et de l'érosion. Analyse des résultats obtenus durant les deux premières campagnes de mesure. L'écosystème forestier Guyanais. *Bull. de liaison groupe de travail ÉCÉREX*, n° 4 : 45-51.
- TURENNE (J.-F.), 1975. — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse doct. Sci., Nancy, et *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 84, Paris, 1977, 173 p.